Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen

Eine evidenzbasierte Untersuchung der ökologischen, wirtschaftlichen, politischen und sozialen Auswirkungen bei Fortsetzung der heutigen Emissions- und Wirtschaftsweise – mit eigenen Simulationen und Handlungsempfehlungen für die Welt, die Industriestaaten und die Schweiz

Aaron Veider

Inhaltsverzeichnis

Angaben zur Studie

2 Zusammenfassung für Entscheidungsträger

- Worum es geht
- Zehn Kernaussagen
- Zeitliche Entwicklung
- Risiken nach Belegstufe
- Europa und Schweiz
- Empfehlung
- Was diese Studie nicht kann

3 Forschungsfrage und Zielsetzung

- 3.1 Ausgangslage
- 3.2 Leitfrage
- 3.3 Begriffe
- 3.4 Die drei Szenarien
- 3.5 Untersuchungsgrenzen
- 3.6 Ergebnisoffenheit

4 Methodik und Quellenlage

- 4.1 Aufbau der Untersuchung
- 4.2 Sechs Aussagetypen
- 4.3 Quellen: Auswahl, Rangfolge, Prüfung
- 4.4 Eigene Simulationen: Wahl der Methode
- 4.5 Was die Simulation leisten kann und was nicht
- 4.6 Validierung und Robustheit
- 4.7 Grenzen der Studie insgesamt

5 Grundlagen des Klimawandels

- 5.1 Der Mechanismus
- 5.2 Die menschliche Ursache
- 5.3 Der Kohlenstoffkreislauf und das CO_2-Budget
- 5.4 Klimasensitivität: die zentrale physikalische Unsicherheit
- 5.5 Kurzlebige und langlebige Treibhausgase
- 5.6 Was «unumkehrbar» bedeutet

6 Aktueller wissenschaftlicher Kenntnisstand

- 6.1 Temperatur
- 6.2 Treibhausgase und Emissionen
- 6.3 Ozean
- 6.4 Eis und Schnee
- 6.5 Extremereignisse
- 6.6 Bereits eingetretene Folgen für Natur und Menschen
- 6.7 Konsens und offene Fragen

7 Zukunftsszenarien

- 7.1 Zwei Arten von Szenarien
- 7.2 Szenario A: Fortsetzung der gegenwärtigen Politik
- 7.3 Szenario B: Umsetzung angekündigter Klimaziele
- 7.4 Szenario C: Konsequenter Klimaschutz

7.5 Die Szenarien im Überblick
7.6 Was die Szenarien nicht erfassen

8 Globale ökologische Auswirkungen
8.1 Hitze
8.2 Wasser: Dürre, Starkregen, Überschwemmungen
8.3 Waldbrände
8.4 Eis: Gletscher, Permafrost, Eisschilde
8.5 Ozean
8.6 Biodiversität und Ökosysteme
8.7 Kipppunkte
8.8 Vergleich der Szenarien

9 Wirtschaftliche Auswirkungen
9.1 Wirkungskanäle
9.2 Was bereits beobachtet wird
9.3 Gesamtwirtschaftliche Schadensschätzungen
9.4 Sektoren
9.5 Kosten des Klimaschutzes im Verhältnis zu den Schäden
9.6 Verteilung
9.7 Vergleich der Szenarien

10 Gesellschaftliche Auswirkungen
10.1 Leitgedanke: Risiko entsteht aus drei Faktoren
10.2 Gesundheit
10.3 Ernährung und Wasser
10.4 Wohnen und Lebensbedingungen
10.5 Arbeit
10.6 Soziale Ungleichheit: Verstärkt der Klimawandel sie?
10.7 Besonders betroffene Gruppen
10.8 Gesellschaftliche Anpassungsfähigkeit
10.9 Vergleich der Szenarien

11 Migration, Konflikte und internationale Beziehungen
11.1 Begriffe
11.2 Was beobachtet wird
11.3 Was erwartet wird
11.4 Klima und Konflikt
11.5 Besonders gefährdete Staaten
11.6 Handel und Geopolitik
11.7 Internationale Zusammenarbeit
11.8 Sicherheitsrisiken
11.9 Vergleich der Szenarien

12 Politik und Demokratie
12.1 Warum Klimapolitik politisch schwierig ist
12.2 Gesellschaftliche Akzeptanz
12.3 Wirtschaftliche Interessen
12.4 Internationale Verträge
12.5 Staatliche Handlungsfähigkeit
12.6 Ungleichheit zwischen Ländern
12.7 Vertrauen, Polarisierung, Radikalisierung
12.8 Setzt der Klimawandel Demokratien unter Druck?

12.9 Folgerungen für die Gestaltung von Klimapolitik

13 Technologie und Anpassung

13.1 Ausgangspunkt
13.2 Erneuerbare Energien
13.3 Energiespeicherung und Flexibilität
13.4 Elektrifizierung
13.5 Energieeffizienz und Nachfrage
13.6 Kernenergie
13.7 CO_2-Abscheidung und -Entnahme
13.8 Landwirtschaft und Landnutzung
13.9 Gebäude
13.10 Anpassung: Hitze, Hochwasser, Stadtplanung
13.11 Anpassung in besonders gefährdeten Regionen
13.12 Zusammenfassende Beurteilung

14 Vertiefung Europa

14.1 Europa im Überblick
14.2 Hitzebelastung in Städten
14.3 Wasserknappheit und Dürren
14.4 Landwirtschaft und Ernährungssicherheit
14.5 Waldbrände
14.6 Küstenregionen
14.7 Wirtschaftliche Auswirkungen
14.8 Energieversorgung
14.9 Unterschiede zwischen Nord-, Süd-, Ost- und Westeuropa
14.10 Migration innerhalb und nach Europa
14.11 Ein besonderes Risiko: die atlantische Umwälzzirkulation
14.12 Vergleich der Szenarien für Europa

15 Vertiefung Schweiz

15.1 Ausgangslage
15.2 Gletscher und Veränderungen im Alpenraum
15.3 Permafrost und Naturgefahren
15.4 Wasserhaushalt
15.5 Hitzewellen und Gesundheit
15.6 Landwirtschaft und Wald
15.7 Wasserkraft und Stromversorgung
15.8 Wintertourismus und Schneesicherheit
15.9 Infrastruktur und Siedlungsgebiete
15.10 Hochwasser und Trockenperioden
15.11 Wirtschaftliche Folgen nach Branchen
15.12 Abhängigkeit vom Ausland
15.13 Stand der Klimapolitik
15.14 Wie sich das Leben in der Schweiz verändert
15.15 Zwischenfazit

16 Zeitliche Entwicklung bis 2030, 2050 und 2100

16.1 Warum die Zeitachse entscheidet
16.2 Bis 2030: weitgehend festgelegt
16.3 Bis 2050: die Pfade trennen sich, das Klima noch kaum
16.4 Bis 2100: zwei verschiedene Welten
16.5 Nach 2100

16.6 Was ist noch vermeidbar, was nicht mehr?
16.7 Zusammenfassung

17 Eigene Computersimulationen und Modellversuche
17.1 Was die Simulationen leisten sollen
17.2 Validierung des Klimamoduls
17.3 Versuch 1: Weiter wie bisher
17.4 Versuch 2: Konsequenter Klimaschutz
17.5 Versuch 3: Verzögerter Klimaschutz
17.6 Versuch 4: Wirtschaftliche Belastbarkeit der Staatshaushalte
17.7 Versuch 5: Soziale Ungleichheit
17.8 Versuch 6: Politische Reaktionsfähigkeit
17.9 Versuch 7: Stresstest zu Rückkopplungen und Kipppunkten
17.10 Versuch 8: Verlängerung der Rechnung bis 2200
17.11 Robustheit und Sensitivität
17.12 Antwort auf die Leitfrage dieses Kapitels
17.13 Neue Hypothesen und offene Fragen

18 Systematische Risikobewertung
18.1 Vorgehen
18.2 Die Risiken im Einzelnen
18.3 Risikomatrix
18.4 Ordnung nach Umkehrbarkeit und Beeinflussbarkeit
18.5 Verkettung von Risiken
18.6 Sonderfall Kipppunkte
18.7 Risiken des Handelns
18.8 Gesamtbild

19 Vergleich möglicher Handlungsmöglichkeiten
19.1 Vorgehen
19.2 Was aus den bisherigen Kapiteln in den Vergleich eingeht
19.3 Politikinstrumente
19.4 Handlungsfelder
19.5 Strategien im Vergleich
19.6 Wie die Gewichtung der Kriterien die Rangfolge bestimmt
19.7 Zielkonflikte
19.8 Zwischenergebnis

20 Handlungsempfehlungen
20.1 Die Entscheidungsregel
20.2 Der empfohlene Ansatz im Überblick
20.3 Globale Ebene
20.4 Industriestaaten
20.5 Schweiz
20.6 Zielkonflikte und wie die Empfehlungen damit umgehen
20.7 Was die Empfehlungen voraussetzen und was sie gefährdet
20.8 Die Empfehlungen in Kürze

21 Fazit
21.1 Antwort auf die Leitfrage
21.2 Die neun Teilfragen
21.3 Was die Studie nicht bestätigt hat
21.4 Grenzen dieser Studie

21.5 Weiterer Forschungsbedarf
21.6 Schlussgedanke

22 Literaturverzeichnis
22.1 Hinweise
22.2 Im Text zitierte Quellen
22.3 Zitierte Quellen ohne vollständige Prüfung am Original
22.4 Gesichtete, im Text nicht zitierte Quellen

23 Technischer Anhang: Modell, Simulationscode und Parameter
23.1 Überblick
23.2 Eingangsdaten
23.3 Emissionsmodul
23.4 Klimamodul
23.5 Kalibrierung und Abgleich mit Messdaten
23.6 Wirtschaftsmodul
23.7 Staatshaushalt (V4)
23.8 Agentenbasierte Modelle
23.9 Durchläufe
23.10 Automatische Prüfungen
23.11 Grenzen des Modells
23.12 Reproduktion

Angaben zur Studie

Art der Arbeit: Unabhängige Forschungsstudie mit eigenen, reproduzierbaren Modellrechnungen

Autor und Herausgeber: Aaron Veider

Stand: 11. November 2026 – nicht fachlich begutachtet

Ort: Schweiz

Gegenstand. Die Studie vergleicht drei politische Pfade – geltende Politik, angekündigte Ziele, konsequenter Klimaschutz – in ihren Folgen bis 2030, 2050 und 2100, mit einem Ausblick bis 2200.

Grundlagen. 48 zitierte Quellen, überwiegend Sachstandsberichte, Behördenberichte und begutachtete Fachartikel; Messdaten 1750–2025; ein eigenes Simulationsmodell (KLIMGES) mit acht Versuchen, 3112 Ensemble-Läufen je Szenario, 22 automatischen Prüfungen, 20 Ergebnistabellen und 12 Abbildungen.

Aufbau.

Teil	Kapitel
Einführung	1 Titelblatt · 2 Zusammenfassung für Entscheidungsträger · 3 Forschungsfrage und Zielsetzung · 4 Methodik und Quellenlage
Grundlagen	5 Grundlagen des Klimawandels · 6 Aktueller Kenntnisstand · 7 Zukunftsszenarien
Auswirkungen	8 Ökologie · 9 Wirtschaft · 10 Gesellschaft · 11 Migration, Konflikte, internationale Beziehungen · 12 Politik und Demokratie · 13 Technologie und Anpassung
Vertiefungen	14 Europa · 15 Schweiz
Synthese	16 Zeitliche Entwicklung · 17 Eigene Simulationen · 18 Risikobewertung · 19 Vergleich der Handlungsmöglichkeiten
Schluss	20 Handlungsempfehlungen · 21 Fazit · 22 Literaturverzeichnis · 23 Technischer Anhang

Lesehinweise.

- Aussagen sind als Beobachtung, Projektion, Kausalzusammenhang, Szenario, Simulation oder Wertung gekennzeichnet (Kap. 4.2).
- Quellen werden in der Form [Q06, B.5.3] zitiert: Nummer im Literaturverzeichnis, dann Fundstelle.
- Temperaturangaben beziehen sich auf die globale Erwärmung gegenüber 1850–1900, soweit nichts anderes steht.
- Spannen in Klammern geben den Bereich von 5 bis 95 % der Simulationsläufe an.

Reproduzierbarkeit. Programmcode, Parameter, Eingangsdaten und Ergebnisse liegen der Studie bei. Ein Gesamtlauf erzeugt alle Tabellen und Abbildungen neu (Kap. 23.12).

Vorbehalt. Die Studie ersetzt keine Fachbegutachtung. Nicht am Original geprüfte Angaben sind im Text gekennzeichnet.

2 Zusammenfassung für Entscheidungsträger

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Jede Aussage ist in den genannten Kapiteln belegt. Kennzeichnung: **[B]** Beobachtung · **[P]** Projektion aus der Literatur · **[S]** eigene Simulation · **[W]** Wertung dieser Studie.

Worum es geht

Die Studie untersucht, wie der menschengemachte Klimawandel Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik verändert, wenn die heutige Emissions- und Wirtschaftsweise weitgehend fortgesetzt wird, und was daraus für heutige Entscheidungen folgt. Sie vergleicht drei Pfade:

Szenario	Bedeutung	Erwärmung 2100 [S]
A – Geltende Politik	heutige Massnahmen laufen weiter	2,6 °C (2,2–3,1), weiter steigend
B – Angekündigte Ziele	alle Zusagen werden erfüllt	1,9 °C (1,6–2,4), annähernd stabil
C – Konsequenter Klimaschutz	rasche Minderung mit verfügbaren Mitteln	1,6 °C (1,3–2,0), stabil

Grundlage sind Berichte von IPCC, UNEP, WMO, IEA, Weltbank und Schweizer Bundesstellen, begutachtete Fachliteratur sowie ein eigenes Simulationsmodell mit acht Versuchen.

Zehn Kernaussagen

1. Der Klimawandel ist gemessen, menschengemacht und schwächt sich nicht ab. Die Erwärmung beträgt 1,37 °C und nimmt um 0,27 °C pro Jahrzehnt zu; die Emissionen liegen auf einem Höchststand. Die 1,5-°C-Marke wird um 2030 überschritten. **[B]** (Kap. 5, 6)

2. «Weiter wie bisher» führt auf rund 2,6 °C bis 2100 – nicht auf 4 bis 5 °C, aber ohne Stillstand. Die Erwärmung hält 2100 an; in der Fortschreibung erreicht sie bis 2200 3,4 bis 3,8 °C. **[P, S]** (Kap. 7, 17)

3. Bis 2050 ist das Klima weitgehend festgelegt. Die Pfade unterscheiden sich 2050 um 0,14 °C, 2100 um 1,0 °C, 2200 um 2,0 °C. Was heute entschieden wird, zeigt sich im Klima erst in der zweiten Jahrhunderthälfte; die Kosten fallen sofort an. Das ist die Kernschwierigkeit der Klimapolitik. **[S]** (Kap. 16, 17)

4. Die schwersten gut belegten Folgen sind bereits sichtbar: Hitze, Dürre, Starkniederschläge, steigender Meeresspiegel, Artenverlust, Ernährungsunsicherheit, Vertreibung. Mehrere sind unumkehrbar. **[B, P]** (Kap. 8, 10, 11, 18)

5. Die Folgen treffen ungleich. Arme Länder und Haushalte verlieren relativ am meisten und können sich am wenigsten anpassen. In der Simulation verliert das ärmste Fünftel relativ 2,4-mal so viel wie das reichste; gezielte Hilfe senkt das auf 1,5. **[P, S]** (Kap. 10, 17)

6. Wie hoch die wirtschaftlichen Schäden sind, ist nicht bekannt. Die Schätzansätze ergeben für Szenario A im Jahr 2100 zwischen 2 und 27 % der Wirtschaftsleistung – ein Faktor elf. **[P, S]** (Kap. 9, 17)

7. Ob sich konsequenter Klimaschutz rechnerisch auszahlt, hängt an drei Annahmen: der Schadensschätzung, dem Zeithorizont und dem Diskontsatz. Bis 2100 nur bei hohen Schadensannahmen; bis 2200 auch bei mittleren; bei tiefen bleibt die geltende Politik rechnerisch im Vorteil. Eine eindeutige Kosten-Nutzen-Antwort gibt es nicht. **[S]** (Kap. 17)

8. Die beiden möglichen Irrtümer sind ungleich. Wer zu viel Klimaschutz betreibt, hat 1 bis 2 Prozentpunkte der Wirtschaftsleistung zu viel ausgegeben und kann nachsteuern. Wer zu wenig betreibt, kann die Erwärmung nicht zurücknehmen. Rückkopplungen verschlechtern zudem den Pfad mit hoher Erwärmung weit stärker als den mit tiefer. **[S, W]** (Kap. 17, 18, 20)

9. Die Technik für den grösseren Teil der Minderung ist vorhanden und günstig. Engpässe sind Netze, Kapital, Verwaltung und Zustimmung. Jedes Jahrfünft Verzögerung erhöht die Spitzenerwärmung um knapp 0,1 °C. Auf künftige CO_2-Entnahme zu bauen ist riskant: Die heutige Kapazität liegt rund zwei Grössenordnungen unter dem Bedarf. **[P, S]** (Kap. 13, 17)

10. Klimapolitik scheitert eher an der Verteilung als an der Technik. Massnahmen, die als ungerecht empfunden werden, werden zurückgenommen. In der Simulation ist die sichtbare Rückverteilung von Einnahmen die wirksamste Stellgrösse. **[S, W]** (Kap. 12, 17, 19)

Zeitliche Entwicklung

	Bis 2030	Bis 2050	Bis 2100
Erwärmung	rund 1,5 °C in allen Pfaden	1,7 °C (C) bis 1,8 °C (A)	1,6 °C stabil (C) bis 2,6 °C steigend (A)
Prägend	wiederkehrende Hitzesommer, steigende Schäden, Gletscherschwund	mehr Extreme, Wasserknappheit, Binnenmigration; Kosten des Umbaus oder zunehmende Schäden	zwei verschiedene Welten: stabilisiert oder weiter im Wandel
Was wirkt	nur Anpassung und Vorsorge	Anpassung; Weichenstellung bei Infrastruktur	die Emissionen der nächsten zwei bis drei Jahrzehnte

Risiken nach Belegstufe

Gut belegt	Plausibel	Spekulativ
Hitze, Dürre, Hochwasser · Meeresspiegel bis 2100 · Gletscherverlust · Artenverlust · Hitzetote · Ernährungsunsicherheit · wachsende Ungleichheit · Vertreibung durch Katastrophen	tiefe wirtschaftliche Verluste · Schwellen der Eisschilde · Überforderung von Staatshaushalten · gleichzeitige Ernteausfälle · verschärfte innerstaatliche Konflikte · Scheitern der CO_2-Entnahme	Zusammenbruch der atlantischen Umwälzzirkulation vor 2100 · Kaskaden von Kipppunkten · Massenmigration über Kontinente · zwischenstaatliche Ressourcenkriege · Zerfall demokratischer Ordnungen

Die Studie vergibt keine Zahlenwahrscheinlichkeiten und stützt keine Empfehlung auf spekulative Risiken. (Kap. 18)

Europa und Schweiz

Europa erwärmt sich am schnellsten von allen Kontinenten. Im Sommer 2022 starben rund 60 000 Menschen hitzebedingt – trotz der nach 2003 eingeführten Hitzeschutzpläne. Der Süden ist Brennpunkt mehrerer Risiken zugleich. **[B]** (Kap. 14)

Die Schweiz hat sich um 2,9 °C erwärmt, rund doppelt so stark wie die Welt. Hitze ist das grösste Risiko. Die Gletscher haben in fünf Jahren fast ein Fünftel ihres Volumens verloren; bis 2100 bleiben mit Klimaschutz rund 37 %, ohne rund 5 %. Sommerabflüsse sinken, Winterabflüsse steigen. Das eigene Klima kann die Schweiz nicht bestimmen: Ihre Inlandemissionen machen weniger als ein Tausendstel der weltweiten aus, und der grössere Teil ihres Fussabdrucks und ihrer Risiken liegt im Ausland. **[B, P]** (Kap. 15)

Empfehlung

Entscheidungsregel [W]. Weil die Kosten-Nutzen-Rechnung keine eindeutige Antwort gibt, folgt die Studie dem Vorsorgeprinzip: Zu wählen ist der Pfad, dessen Irrtum korrigierbar bleibt. Das ist eine Wertentscheidung. Die Gegenposition – mehr Gewicht auf Anpassung und Entwicklung, weniger auf rasche Minderung – ist begründbar, setzt aber voraus, dass die Schäden tief bleiben, keine Schwellen überschritten werden und die Zeit nach 2100 wenig zählt.

Ziel [W]. Erwärmung deutlich unter 2 °C, ohne sich auf grossflächige CO_2-Entnahme zu verlassen.

Vier Grundsätze [W].

1. Zuerst, was sich in jedem Fall lohnt – Massnahmen mit eigenem Nutzen.
2. Früh statt später – verfügbare, günstige Minderung jetzt.
3. Verteilung von Anfang an gestalten.
4. Minderung und Anpassung zugleich; sie ersetzen einander nicht.

Massnahmen.

	Kurzfristig wirksam	Langfristig strukturell	Ergänzend
Welt	Solar- und Windenergie mit Netzen; Methan mindern; Entwaldung stoppen; keine neuen Kohlekraftwerke; Frühwarnung und Hitzeschutz	tiefere Kapitalkosten für ärmere Länder; Anpassungsfinanzierung; Entwicklung und Anpassung verbinden; Abbau fossiler Subventionen; CO_2-Preis mit Rückverteilung	Abkommen unter Willigen; Forschung; CO_2-Entnahme nur für Restemissionen
Industriestaaten	Netze und Bewilligungen beschleunigen; Heizungen und Verkehr elektrifizieren; Hitzeaktionspläne; Effizienzstandards	CO_2-Preis mit Rückgabe pro Kopf; gesetzliche Ziele mit Überprüfung; Gebäudesanierung; angepasste Raumplanung; Zusagen zur Finanzierung einhalten	Weiterbetrieb sicherer Kernkraftwerke; breitere Lieferketten; Versicherbarkeit erhalten; Beteiligung

	Kurzfristig wirksam	Langfristig strukturell	Ergänzend
Schweiz	Hitzeschutz; Verkehr; Heizungsersatz; Überwachung von Naturgefahren; Wasserbewirtschaftung	Winterstrom sichern; Mehrzweckspeicher; Lenkungsabgabe mit Rückverteilung; Fussabdruck im Ausland und Finanzplatz; internationale Finanzierung; Raumplanung; Wald und Landwirtschaft	Umbau des Bergtourismus; Negativemissionen für Restemissionen; Auslandkompensation nur ergänzend; Messnetze erhalten

Zielkonflikte – zwischen Kostenwirksamkeit und Akzeptanz, heute und morgen, Minderung und Anpassung, Tempo und Sorgfalt, Klimaschutz und Landschaft – sind in Kapitel 20.6 mit dem jeweiligen Entscheid und seinem Preis offengelegt.

Was diese Studie nicht kann

Sie ist die Arbeit eines Einzelnen und ersetzt keine Fachbegutachtung. Drei zitierte Quellen sind nicht inhaltlich am Original geprüft; mehrere Berichte wurden nur über die Mitteilung der herausgebenden Stelle gelesen, und einzelne Zahlen zur Schweiz fehlen. Das Simulationsmodell ist ein vereinfachter Emulator mit stilisierter Wirtschaft; seine Agentenmodelle liefern Hypothesen, keine Prognosen. Alle Zukunftsaussagen sind bedingt: Sie gelten, wenn die jeweiligen Annahmen zutreffen. (Kap. 4, 21.4, 23.11)

3 Forschungsfrage und Zielsetzung

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Zahlenangaben mit Quellen-ID; Prüfstatus siehe `quellen/quellenuebersicht.md`.

3.1 Ausgangslage

Die menschengemachte Erwärmung betrug im Jahr 2025 rund 1,37 °C gegenüber 1850–1900 und nimmt derzeit um etwa 0,27 °C pro Jahrzehnt zu [Q02]. Die jährlichen Treibhausgasemissionen lagen im Jahrzehnt 2015–2024 bei durchschnittlich rund 55 Gt CO_2-Äquivalenten und damit auf einem Höchststand [Q02]. Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen kommt in seinem Bericht vom Oktober 2026 zum Schluss, dass die 1,5-°C-Marke überschritten wird und nur noch die Frage offen ist, wie hoch und wie lange [Q01].

Die Studie fragt deshalb nicht, *ob* sich das Klima weiter verändert, sondern welche Folgen unterschiedliche politische Pfade für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft haben und was daraus für heutige Entscheidungen folgt.

3.2 Leitfrage

> Wie verändert der menschengemachte Klimawandel unsere Gesellschaft, und welche ökologischen, wirtschaftlichen, politischen und sozialen Folgen entstehen, wenn die Menschheit ihre bisherigen Emissions- und Wirtschaftsweisen weitgehend fortsetzt?

Daraus ergeben sich neun Teilfragen, denen je ein Untersuchungsteil zugeordnet ist:

Nr.	Teilfrage	Art der Aussage	Kapitel
F1	Wie weit ist der Klimawandel fortgeschritten?	Beobachtung	5, 6
F2	Was ist bei Fortsetzung der geltenden Politik zu erwarten?	Projektion, Szenario	7, 8
F3	Wie verändern sich Lebensbedingungen, Wirtschaft und politische Stabilität?	Kausalzusammenhang, Projektion	9–12
F4	Welche Folgen sind bis 2030, 2050 und 2100 zu erwarten?	Projektion	16
F5	Welche Gruppen und Regionen sind besonders betroffen?	Beobachtung, Projektion, Simulation	10, 14, 15, 17
F6	Was ist noch vermeidbar, was bereits weitgehend unvermeidbar?	Projektion, Simulation	7, 16, 17

Nr.	Teilfrage	Art der Aussage	Kapitel
F7	Welche Massnahmen begrenzen die schwersten Folgen?	Kausalzusammenhang, Wertung	13, 19
F8	Welcher Handlungsansatz ist insgesamt am sinnvollsten?	Wertung	20, 21
F9	Was ergeben eigene Simulationen?	Simulation	17, 23

3.3 Begriffe

Klimawandel meint in dieser Studie die seit der Industrialisierung durch menschliche Treibhausgasemissionen und Landnutzung verursachte Veränderung des Klimasystems. Natürliche Schwankungen (El Niño, Vulkane, Sonnenaktivität) werden als Überlagerung behandelt, nicht als Gegenstand.

Globale Erwärmung wird als Änderung der globalen mittleren Oberflächentemperatur gegenüber 1850–1900 angegeben. Unterschieden werden der Einzeljahreswert, das Zehnjahresmittel und die menschengemachte Erwärmung. Die Unterscheidung ist wesentlich: Ein einzelnes Jahr über 1,5 °C bedeutet nicht, dass die im Pariser Abkommen gemeinte langfristige Schwelle überschritten ist.

Risiko folgt der Definition des IPCC: das Zusammenwirken von Gefährdung (klimatisches Ereignis oder Trend), Exposition (wer oder was ist betroffen) und Verwundbarkeit (wie empfindlich und wie anpassungsfähig) [Q07].

Vermeidung (Mitigation) bezeichnet die Verringerung der Emissionen oder die Entnahme von Treibhausgasen; **Anpassung** die Verringerung von Schäden bei gegebenem Klima. Schäden, die trotz beidem eintreten, heissen **Restschäden**.

Overshoot bezeichnet das vorübergehende Überschreiten einer Temperaturschwelle mit späterer Rückkehr durch netto-negative Emissionen.

Kipppunkt bezeichnet eine Schwelle, jenseits der sich ein Teilsystem selbstverstärkend und oft unumkehrbar verändert. Lage und Zeitverlauf dieser Schwellen sind erheblich unsicherer als die mittlere Erwärmung; sie werden gesondert und mit eigener Kennzeichnung behandelt.

3.4 Die drei Szenarien

Die Szenarien sind **politisch** definiert. Die physikalischen Emissionspfade des IPCC (SSP) dienen nur als nächstliegende Näherung, um Klimafolgen aus der Literatur zuordnen zu können.

	A – Geltende Politik	B – Angekündigte Ziele	C – Konsequenter Klimaschutz
Definition	Heute beschlossene und umgesetzte Massnahmen laufen weiter, keine wesentliche Verschärfung	Alle nationalen Beiträge (NDC) und Netto-Null-Zusagen werden vollständig und fristgerecht erfüllt	Emissionen sinken so schnell, wie es technisch und wirtschaftlich als machbar gilt

	A – Geltende Politik	B – Angekündigte Ziele	C – Konsequenter Klimaschutz
Erwärmung laut UNEP 2026 [Q01]	bis 2,8 °C, danach weiter steigend	2,6 °C (NDCs); 2,1 °C (mit Netto-Null-Zielen)	Spitze 1,7–1,8 °C, Rückkehr auf 1,5 °C bis 2100 (rund 50 %)
Nächster SSP-Pfad	SSP2-4.5	zwischen SSP1-2.6 und SSP2-4.5	SSP1-1.9 / SSP1-2.6
Rolle in der Studie	Hauptuntersuchung «Weiter wie bisher»	Misst die Umsetzungs- und Ambitionslücke	Misst, was vermeidbar wäre und zu welchem Preis

Drei Präzisierungen sind nötig:

1. **Szenario A ist kein Worst Case.** Der hohe Pfad SSP5-8.5 setzt einen Kohleausbau voraus, der mit den beobachteten Energietrends kaum vereinbar ist [Q38]. Er dient nur als obere Stressgrenze. Als plausible Verschlechterung von A wird ein Rückschritt-Fall geführt (Rücknahme bestehender Politik, näher an SSP3-7.0).
2. **Szenario B hat zwei Stufen.** Zwischen der Erfüllung der NDCs (2,6 °C) und der zusätzlichen Erfüllung langfristiger Netto-Null-Zusagen (2,1 °C) liegt ein halbes Grad. Die Studie weist beide Stufen getrennt aus, weil die Netto-Null-Ziele vielfach nicht mit Massnahmen unterlegt sind.
3. **Szenario C ist kein 1,5-°C-Szenario ohne Überschreitung mehr.** UNEP hält diese Möglichkeit für vergangen [Q01]. C bildet den Pfad mit geringstmöglichem Overshoot ab; dieser setzt umfangreiche CO_2-Entnahme voraus, deren Erreichbarkeit UNEP selbst als unsicher bezeichnet. Ergänzend wird eine vorsichtigere Variante «deutlich unter 2 °C» ohne Rückkehr auf 1,5 °C betrachtet.

Zusätzlich untersucht die Simulation einen **verzögerten Klimaschutz**: Szenario A bis 2035 bzw. 2045, danach Wechsel auf den Minderungspfad von C.

Dass die Erwärmungsangaben für A je nach Institution zwischen rund 2,5 und 3 °C liegen, ist kein Widerspruch, sondern Folge unterschiedlicher Definitionen von «geltender Politik», unterschiedlicher Wahrscheinlichkeitsniveaus und unterschiedlicher Klimaemulatoren. Kapitel 7 legt diese Unterschiede offen.

3.5 Untersuchungsgrenzen

- **Räumlich:** global, mit Vertiefungen zu Europa und zur Schweiz. Aussagen zu anderen Einzelregionen bleiben exemplarisch.
- **Zeitlich:** Stützjahre 2030, 2050 und 2100. Folgen, die nach 2100 weiterlaufen (Meeresspiegel, Eisschilde), werden benannt. Die eigene Simulation führt Temperatur und Kostenvergleich als Fortschreibung bis 2200 weiter (Kap. 17.10); regionale Folgen nach 2100 werden nicht quantifiziert.
- **Sachlich:** Im Zentrum stehen Klimafolgen. Andere Umweltkrisen (Biodiversitätsverlust durch Landnutzung, Verschmutzung) werden einbezogen, soweit sie mit dem Klimawandel zusammenwirken.
- **Nicht geleistet wird:** eine eigene Klimamodellierung auf Erdsystemniveau, eine eigene regionale Klimaprojektion für die Schweiz (hierfür dienen die Szenarien CH2025 [Q13]) und eine

Prognose im Sinn einer Vorhersage. Alle Zukunftsaussagen sind bedingt: Sie gelten, wenn die jeweiligen Annahmen zutreffen.

3.6 Ergebnisoffenheit

Die Studie beginnt ohne vorgefasste Empfehlung. Das wird methodisch abgesichert: Der Bewertungsraster für Massnahmen (sieben Kriterien, Kap. 19) wird festgelegt, bevor die Empfehlungen formuliert werden; Kosten des Klimaschutzes werden mit derselben Sorgfalt erhoben wie Klimaschäden; Befunde, die gängigen Erwartungen widersprechen, werden berichtet. Wo die Literatur uneins ist – etwa bei der Höhe wirtschaftlicher Schäden –, wird die Spannweite dargestellt statt ein Mittelwert gewählt.

4 Methodik und Quellenlage

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

4.1 Aufbau der Untersuchung

Die Studie verbindet drei Arbeitsweisen, die unterschiedliche Fragen beantworten:

1. **Literatursynthese** für alles, was die Forschung bereits gut erfasst: physikalische Klimafolgen, sektorale Auswirkungen, regionale Projektionen. Hier ist eine eigene Modellierung der Fachliteratur unterlegen und wird nicht versucht.
2. **Eigene Simulation** für Fragen, die sich aus der Literatur nicht direkt ablesen lassen, weil sie vom Zusammenspiel mehrerer Bereiche abhängen: Was kostet Verzögerung? Wie tragfähig sind Staatshaushalte unter gleichzeitigen Schäden und Investitionen? Wie wirkt Ungleichheit auf Anpassung und politische Unterstützung?
3. **Strukturierte Bewertung** für Fragen, die Wertungen enthalten: Risikomatrix (Kap. 18) und Kriterienraster für Massnahmen (Kap. 19).

4.2 Sechs Aussagetypen

Jede wesentliche Aussage wird einem Typ zugeordnet. Die Zuordnung bestimmt, wie belastbar die Aussage ist und wie sie formuliert wird.

Typ	Bedeutung	Formulierung im Text
Beobachtung	gemessen, mit Messunsicherheit	Indikativ, mit Unsicherheitsbereich
Projektion	folgt aus Modellen unter gegebenen Annahmen	«unter Szenario X … voraussichtlich»
Kausalzusammenhang	Wirkungsmechanismus, durch Attributions- oder ökonometrische Forschung gestützt	mit Angabe der Evidenzstärke
Szenario	in sich stimmige Annahme über Politik und Wirtschaft, keine Vorhersage	«angenommen, dass …»
Simulation	Ergebnis des eigenen Modells	«im Modell …», stets mit Spannweite
Wertung	Abwägung nach offengelegten Kriterien	als Einschätzung der Studie gekennzeichnet

Für die Evidenzstärke wird die Sprache des IPCC übernommen (Vertrauensgrade von «sehr gering» bis «sehr hoch»; Wahrscheinlichkeitsbegriffe nur, wo die Quelle sie quantifiziert) [Q06]. Eigene Wahrscheinlichkeitsangaben werden nicht gebildet.

4.3 Quellen: Auswahl, Rangfolge, Prüfung

Rangfolge. (1) Sachstandsberichte, die die Literatur systematisch bewerten (IPCC, IPBES); (2) Berichte von Fachbehörden und amtlichen Messnetzen (WMO, UNEP, IEA, WHO, Weltbank, OECD, EUA, BAFU, BFE, MeteoSchweiz, GLAMOS); (3) begutachtete Fachartikel; (4) nicht begut-

achtete wissenschaftliche Arbeiten, nur ergänzend und gekennzeichnet. Medienberichte dienen ausschliesslich dem Auffinden von Primärquellen.

Aktualität. Der Sechste Sachstandsbericht des IPCC (2021–2023) bleibt die Konsensreferenz, weil die Berichte des siebten Zyklus nicht vorliegen und ihr Zeitplan offen ist [Q35]. Für die Entwicklung seither stützt sich die Studie auf die jährlich nachgeführten Indikatoren, die die IPCC-Methoden fortschreiben [Q02], sowie auf die Jahresberichte von UNEP, WMO und dem Global Carbon Project [Q01, Q03, Q04, Q05].

Prüfregel. Jede Zahl wird am Originaldokument gelesen und mit Fundstelle im Quellenverzeichnis erfasst. Dort trägt jede Quelle einen Prüfstatus (V geprüft, U Fundstelle bestätigt, K noch zu prüfen). In den fertigen Text gelangen nur Angaben mit Status V. Zentrale Aussagen werden auf mindestens zwei voneinander unabhängige Quellen gestützt; wo das nicht gelingt, wird es vermerkt.

Umgang mit Widersprüchen. Abweichende Angaben werden nicht gemittelt, sondern erklärt. Beispiel aus der Vorrecherche: Das verbleibende CO_2-Budget für 1,5 °C wird mit 130 Gt [Q02] und mit 150 Gt [Q03] angegeben; solche Differenzen gehen meist auf Stichtag, Wahrscheinlichkeitsniveau oder Annahmen zu anderen Treibhausgasen zurück.

Umgang mit korrigierter Forschung. Vor der Verwendung jeder Einzelstudie wird geprüft, ob Korrekturen oder Rückzüge vorliegen. Die vielzitierte Schätzung, der Klimawandel koste bis 2050 rund 19 % des weltweiten Einkommens, wurde im Dezember 2025 von den Autoren zurückgezogen [Q21]; sie wird hier nicht als Beleg verwendet. Der Fall zeigt zugleich, wie stark ökonomische Schadensschätzungen von Daten und Methodenwahl abhängen.

4.4 Eigene Simulationen: Wahl der Methode

Zur Wahl standen ein Makromodell, ein agentenbasiertes Modell (ABM) und eine Verbindung beider. Gewählt wird ein **hybrides Modell**: ein Klima-Wirtschafts-Makromodell als Rahmen, darin ein agentenbasierter Teil für Verteilungs- und Akzeptanzfragen.

Kriterium	Makromodell	Agentenbasiertes Modell	Folgerung
Wissenschaftliche Eignung	gut für Emissionen, Temperatur, aggregierte Schäden, Staatsfinanzen	gut für Ungleichheit, Anpassungsentscheide, politische Dynamik	je nach Frage
Verfügbare Daten	gut (Emissionsinventare, Temperaturreihen, publizierte Parameter)	schwach für Verhaltensparameter	ABM nur für qualitative Mechanismen
Komplexität	gering bis mittel	hoch, viele freie Parameter	ABM bewusst klein halten
Rechenaufwand	Sekunden pro Lauf	Minuten pro Konfiguration	beides auf einem PC machbar
Überprüfbarkeit	Rückrechnung gegen Messdaten, Vergleich mit IPCC-Spannen	nur Plausibilitäts- und Sensitivitätsprüfung	Makroteil trägt die quantitativen Aussagen
Aussagekraft	Grössenordnungen und Pfadvergleiche	Wirkungsrichtungen und Rückkopplungen	getrennt ausweisen

Zuordnung der Versuche: V1–V4, V7 und V8 (Verlängerung der Kostenrechnung bis 2200, auf Entscheid des Autors nach den ersten Ergebnissen ergänzt) laufen im Makromodell; V5 (Ungleichheit) und V6 (politische Reaktionsfähigkeit) im agentenbasierten Teil, der seine Rahmenbedingungen aus dem Makromodell bezieht. Die formale Spezifikation steht in Kapitel 23.

Auf ein fertiges Integrated-Assessment-Modell wird verzichtet. Ein eigenes, kleines Modell ist vollständig offenlegbar und prüfbar; dafür ist es gröber. Diese Abwägung ist beabsichtigt, und ihre Folgen werden bei jedem Ergebnis benannt.

4.5 Was die Simulation leisten kann und was nicht

- Sie **kann** zeigen, wie sich Ergebnisse zwischen Pfaden unterscheiden, welche Annahmen sie treiben und ob Schlussfolgerungen über viele Annahmen hinweg bestehen bleiben.
- Sie **kann nicht** die Zukunft vorhersagen, regionale Klimafolgen auflösen oder die Höhe wirtschaftlicher Schäden «bestimmen». Die Schadensfunktion ist die schwächste Stelle jedes Klima-Wirtschafts-Modells; deshalb werden mehrere konkurrierende Formen parallel gerechnet und die Ergebnisse als Bandbreite berichtet.
- Ergebnisse des agentenbasierten Teils sind **Hypothesen über Mechanismen**, keine Grössenangaben.

4.6 Validierung und Robustheit

1. **Rückrechnung:** Das Klimamodul wird ab 1850 mit historischen Emissionen und Antrieben betrieben und mit gemessenen Temperatur- und CO_2-Reihen verglichen. Abweichungen werden berichtet.
2. **Modellvergleich:** Die simulierte Erwärmung je Pfad wird den bewerteten Spannen des IPCC gegenübergestellt [Q06], die Schäden den publizierten Bandbreiten.
3. **Unsicherheit:** mindestens 1000 Ziehungen der physikalischen Parameter im Makromodell; mindestens 100 Zufallsstarts je Konfiguration im agentenbasierten Teil; Bericht von Median und 5–95-%-Bereich.
4. **Sensitivität:** Einzelparameter-Variation für alle Schlüsselgrössen und eine globale Sensitivitätsanalyse für die wichtigsten.
5. **Strukturelle Alternativen:** mehrere Schadensfunktionen, mehrere Diskontsätze, alternative Verhaltensregeln der Agenten.
6. **Fehlerprüfung:** automatisierte Tests (Erhaltungssätze, Grenzfälle, Wiederholbarkeit bei gleichem Zufallsstart) und vollständige Neuberechnung aller Ergebnisse durch ein einziges Skript.

4.7 Grenzen der Studie insgesamt

- Die Studie ist die Arbeit eines Einzelnen, nicht eines begutachteten Forschungsverbunds. Sie ersetzt keine Fachbegutachtung.
- Die Literaturauswahl ist systematisch angelegt, aber keine vollständige systematische Übersichtsarbeit.

- Für Gesellschaft und Politik (Migration, Konflikte, Demokratie) ist die Evidenz deutlich schwächer und stärker kontextabhängig als für physikalische Folgen. Entsprechend vorsichtiger fallen die Aussagen aus.
- Recherchestand ist November 2026. Später erscheinende Berichte, namentlich der World Energy Outlook 2026 der IEA, sind nur berücksichtigt, wenn im Text ausdrücklich vermerkt.

5 Grundlagen des Klimawandels

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Zitierweise: [Quellen-ID, Fundstelle]; bei IPCC-Berichten ist die Fundstelle die Absatznummer der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger.

5.1 Der Mechanismus

Die Erde nimmt Sonnenstrahlung auf und gibt Wärmestrahlung ab. Treibhausgase – vor allem Wasserdampf, Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) – lassen das Sonnenlicht weitgehend passieren, absorbieren aber einen Teil der abgehenden Wärmestrahlung. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt wäre die Erdoberfläche lebensfeindlich kalt. Steigt die Konzentration dieser Gase, verschiebt sich das Gleichgewicht: Die Erde gibt vorübergehend weniger Energie ab, als sie aufnimmt, und erwärmt sich, bis das Gleichgewicht auf höherem Temperaturniveau wieder erreicht ist.

Dieser Überschuss, das **Energieungleichgewicht der Erde**, ist die grundlegende Messgrösse der Erwärmung. Er hat sich gegenüber 1976–1995 mehr als verdoppelt [Q02, Abstract]. Mehr als 91 % der überschüssigen Wärme nimmt der Ozean auf, rund 5 % die Landmassen, rund 3 % schmelzen Eis, und nur etwa 1 % erwärmt die Atmosphäre [Q04]. Die Lufttemperatur, an der die Erwärmung üblicherweise gemessen wird, zeigt also nur einen kleinen Teil der Energie, die im System gespeichert ist. Daraus folgt die Trägheit des Klimasystems: Ozean und Eis reagieren über Jahrzehnte bis Jahrtausende.

5.2 Die menschliche Ursache

Dass der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen seit etwa 1750 vom Menschen verursacht ist, bezeichnet der IPCC als eindeutig [Q06, A.1.1]. Bis 2019 stieg die CO_2-Konzentration um 47 %, die Methankonzentration um 156 % und die Lachgaskonzentration um 23 % [Q06, A.2.1]. Die CO_2-Konzentration lag 2019 höher als zu irgendeinem Zeitpunkt in mindestens zwei Millionen Jahren [Q06, A.2.1]; 2026 erreicht sie voraussichtlich 427,7 ppm, 54 % über dem vorindustriellen Wert [Q03].

Die Zuordnung der Erwärmung zu ihren Ursachen ist quantitativ gut eingegrenzt. Für den Zeitraum bis 2010–2019 schätzt der IPCC [Q06, A.1.3]:

Ursache	Beitrag zur Temperaturänderung
Gut durchmischte Treibhausgase	+1,0 bis +2,0 °C
Übrige menschliche Einflüsse, vor allem Aerosole	0,0 bis −0,8 °C
Natürliche Antriebe (Sonne, Vulkane)	−0,1 bis +0,1 °C
Interne Variabilität	−0,2 bis +0,2 °C
Menschengemacht insgesamt	**0,8 bis 1,3 °C, bester Schätzwert 1,07 °C**

Zwei Folgerungen sind wichtig. Erstens erklären natürliche Faktoren die beobachtete Erwärmung nicht; ihr Beitrag liegt nahe null. Zweitens verdecken Aerosole – Schwebeteilchen aus Verbrennungsprozessen, die Sonnenlicht reflektieren – einen Teil der Treibhauswirkung. Sinkt die Luftverschmutzung, was gesundheitlich erwünscht ist, fällt diese Kühlung weg. Der Rückgang der Aerosolkühlung trägt nach aktueller Auswertung zur derzeit hohen Erwärmungsrate bei [Q02, Abstract].

5.3 Der Kohlenstoffkreislauf und das CO_2-Budget

Von den menschlichen CO_2-Emissionen bleibt nur ein Teil in der Atmosphäre. Land und Ozean nahmen über die letzten sechs Jahrzehnte recht konstant rund 56 % auf [Q06, A.1.1]. Diese Senken sind eine unentgeltliche Leistung der Natur, aber keine gesicherte: Bei höheren Emissionen nehmen sie zwar absolut mehr, anteilig aber weniger auf [Q06, B.4.1]. Der Ozean bezahlt die Aufnahme mit Versauerung (Kap. 8).

Für die Politik entscheidend ist ein nahezu linearer Zusammenhang: Jede emittierte Tonne CO_2 erhöht die Temperatur dauerhaft um etwa denselben Betrag. Je 1000 Gt CO_2 sind es rund 0,45 °C, mit einem wahrscheinlichen Bereich von 0,27 bis 0,63 °C [Q06, D.1.1]. Daraus folgen drei Aussagen:

1. Die Erwärmung hängt von der **Summe** aller Emissionen ab, nicht von den Emissionen eines einzelnen Jahres.
2. Die Temperatur stabilisiert sich erst, wenn die CO_2-Emissionen netto null erreichen [Q06, D.1.1]. Sinkende, aber positive Emissionen bedeuten weiter steigende Temperaturen.
3. Zu jeder Temperaturgrenze gehört eine begrenzte Restmenge, das **CO_2-Budget**. Für 1,5 °C mit 50 % Wahrscheinlichkeit beträgt es ab Anfang 2026 noch rund 130 Gt [Q02, Tab. 8], nach anderer Berechnung 150 Gt [Q03] – bei Jahresemissionen von rund 43 Gt [Q03] also drei bis vier Jahre. Die Angabe ist unsicher: Je nach Entwicklung der übrigen Treibhausgase kann sie um rund 200 Gt abweichen [Q02, S. 3909].

5.4 Klimasensitivität: die zentrale physikalische Unsicherheit

Wie stark sich die Erde bei einer Verdoppelung der CO_2-Konzentration langfristig erwärmt, beschreibt die Gleichgewichts-Klimasensitivität. Der IPCC gibt als besten Schätzwert 3 °C an, mit einem wahrscheinlichen Bereich von 2,5 bis 4 °C und einem sehr wahrscheinlichen Bereich von 2 bis 5 °C [Q06, A.4.4]. Gegenüber früheren Berichten ist der Bereich enger geworden; sehr niedrige Werte, auf die sich die Hoffnung auf eine harmlose Erwärmung stützen könnte, gelten als ausgeschlossen. Die verbleibende Spanne ist dennoch gross: Derselbe Emissionspfad kann zu deutlich unterschiedlichen Temperaturen führen. Die eigenen Simulationen (Kap. 17) bilden diese Unsicherheit ab, indem sie die Klimasensitivität aus dieser Verteilung ziehen.

Die Unsicherheit ist nicht symmetrisch in ihren Folgen. Fällt die Sensitivität niedrig aus, sind die Schäden geringer als erwartet; fällt sie hoch aus, sind sie überproportional grösser, weil viele Folgen nichtlinear mit der Temperatur zunehmen (Kap. 8, 9). Unsicherheit über die Klimasensitivität ist deshalb kein Argument für Abwarten.

5.5 Kurzlebige und langlebige Treibhausgase

CO_2 wirkt über Jahrhunderte bis Jahrtausende; ein Teil jeder emittierten Menge bleibt praktisch dauerhaft in der Atmosphäre. Methan wirkt pro Tonne viel stärker, wird aber innert rund eines Jahrzehnts abgebaut. Daraus ergeben sich unterschiedliche Hebel: Weniger Methan senkt die Erwärmung rasch und dämpft die Spitzentemperatur, weniger CO_2 bestimmt das langfristige Niveau. Der IPCC hält fest, dass tiefe Emissionsminderungen bis 2030 und 2040, besonders bei Methan, die Spitzenerwärmung senken und die Abhängigkeit von späterer CO_2-Entnahme verringern [Q08, C.2].

5.6 Was «unumkehrbar» bedeutet

Manche Veränderungen lassen sich durch spätere Emissionsminderung anhalten, andere nicht mehr rückgängig machen:

- Die **Lufttemperatur** hört nach Erreichen von netto null CO_2 innert weniger Jahrzehnte auf zu steigen.
- **Gletscher** in Gebirgen und Polargebieten schmelzen dagegen über Jahrzehnte bis Jahrhunderte weiter, auch bei stabilisierter Temperatur [Q06, B.5.2].
- Der **Meeresspiegel** steigt über Jahrhunderte bis Jahrtausende weiter und bleibt über Jahrtausende erhöht [Q06, B.5.4].
- Aus aufgetautem **Permafrost** freigesetzter Kohlenstoff kehrt auf der Zeitskala von Jahrhunderten nicht zurück [Q06, B.5.2].

Diese Unterscheidung bestimmt, was in dieser Studie als «noch vermeidbar» gilt (Kap. 16): Vermeidbar ist die Höhe, auf der sich die Temperatur einpendelt. Nicht mehr vermeidbar ist, dass Eis und Ozean auf die bereits erreichte Erwärmung weiter reagieren.

6 Aktueller wissenschaftlicher Kenntnisstand

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Dieses Kapitel enthält ausschliesslich **Beobachtungen** und deren Zuordnung zu Ursachen. Projektionen folgen ab Kapitel 7.

6.1 Temperatur

Kenngrösse	Wert gegenüber 1850–1900	Quelle
Mittel 2011–2020	1,09 [0,95–1,20] °C	[Q06, A.1.2]
Mittel 2016–2025	1,26 [1,13–1,36] °C	[Q02, Abstract]
davon menschengemacht	1,24 [1,0–1,5] °C	[Q02, Abstract]
Menschengemachte Erwärmung im Jahr 2025	1,37 °C	[Q02, Abstract]
Einzeljahr 2024 (wärmstes Jahr)	rund 1,55 °C	[Q04]
Einzeljahr 2025	rund 1,43 ± 0,13 °C	[Q04]

Die Jahre 2015 bis 2025 waren die elf wärmsten der Messreihe [Q04]. Über Land ist die Erwärmung deutlich stärker als über dem Ozean – für 2011–2020 betrug sie 1,59 °C gegenüber 0,88 °C [Q06, A.1.2]. Menschen erleben also mehr Erwärmung, als der globale Mittelwert angibt.

Beschleunigung. Die menschengemachte Erwärmung nimmt derzeit um 0,27 [0,2–0,4] °C pro Jahrzehnt zu [Q02, Abstract]. Die Temperatur ist seit 1970 schneller gestiegen als in jedem anderen 50-Jahres-Zeitraum der letzten mindestens 2000 Jahre [Q06, A.2.2].

Einordnung der 1,5-°C-Marke. Das Jahr 2024 lag als erstes Kalenderjahr über 1,5 °C. Das Ziel des Pariser Abkommens bezieht sich jedoch auf die langfristige, menschengemachte Erwärmung; diese liegt bei rund 1,4 °C. Bei der heutigen Rate wird die Marke um das Jahr 2030 erreicht. Diese Zeitangabe ist eine einfache Fortschreibung der genannten Werte, keine Angabe aus einer Quelle.

6.2 Treibhausgase und Emissionen

- Die gesamten Treibhausgasemissionen lagen 2015–2024 bei durchschnittlich 54,6 ± 5,5 Gt CO_2-Äquivalenten pro Jahr, einem Höchststand [Q02, Abstract]. 2019 waren es 59 ± 6,6 Gt nach der Zählweise des IPCC, 54 % mehr als 1990 [Q08, B.1.1].
- Die CO_2-Emissionen betragen 2026 voraussichtlich 43,3 Gt, davon 38,2 Gt aus fossilen Quellen [Q03]. Die fossilen Emissionen sinken 2026 leicht (−0,4 %); die Autoren führen das teils auf einen konfliktbedingten Ölschock zurück und werten es nicht als Trendwende [Q03].
- Der Zuwachs der CO_2-Konzentration im Jahr 2024 war der grösste seit Beginn moderner Messungen 1957; die WMO führt das auf anhaltende fossile Emissionen und eine verminderte Wirkung der Land- und Ozeansenken zurück [Q04].
- Das Wachstum der Emissionen hat sich verlangsamt: von 2,1 % pro Jahr (2000–2009) auf 1,3 % pro Jahr (2010–2019) [Q08, B.1.1]. Mindestens 18 Länder senken ihre Emissionen seit mehr als zehn Jahren [Q08, B.3].

Die Emissionen sind ungleich verteilt. Die 10 % der Haushalte mit den höchsten Pro-Kopf-Emissionen verursachen 34–45 % der konsumbasierten Haushaltsemissionen, die untere Hälfte 13–15 % [Q08, B.3.4].

6.3 Ozean

- **Wärmeinhalt:** 2025 erreichte der Wärmeinhalt des Ozeans bis 2000 m Tiefe den höchsten Wert seit Messbeginn 1960; jedes der letzten neun Jahre setzte einen neuen Rekord. Die Erwärmungsrate 2005–2025 ist mehr als doppelt so hoch wie 1960–2005 [Q04].
- **Marine Hitzewellen** sind seit den 1980er-Jahren etwa doppelt so häufig geworden [Q06, A.3.1]. 2025 erlebten rund 90 % der Ozeanoberfläche mindestens eine marine Hitzewelle [Q04].
- **Versauerung:** Der Ozean nahm 2015–2024 rund 29 % der menschlichen CO_2-Emissionen auf; der pH-Wert der Oberfläche sinkt seit Jahrzehnten [Q04].
- **Meeresspiegel:** Seit 1901 ist der mittlere Meeresspiegel um 229,6 [178,6–280,6] mm gestiegen. Die Rate hat sich von 1,3 mm pro Jahr (1901–1971) auf 3,7 mm pro Jahr (2006–2018) erhöht [Q06, A.1.7] und betrug 2018–2025 rund 3,8 mm pro Jahr [Q02, Abschn. 12]. Zwischen 1971 und 2018 ging die Hälfte des Anstiegs auf die Wärmeausdehnung des Wassers zurück, 22 % auf Gletscher und 20 % auf die Eisschilde [Q06, A.4.3].

6.4 Eis und Schnee

- **Gletscher:** Acht der zehn Jahre mit dem grössten Massenverlust der Referenzgletscher liegen nach 2016 [Q04]. Menschlicher Einfluss ist sehr wahrscheinlich der Haupttreiber des weltweiten Rückgangs seit den 1990er-Jahren [Q06, A.1.5].
- **Eisschilde:** Grönland und die Antarktis verlieren Masse; der Verlust war 2010–2019 viermal so hoch wie 1992–1999 [Q06, A.4.3].
- **Arktisches Meereis:** Die Fläche im September ging zwischen 1979–1988 und 2010–2019 um rund 40 % zurück [Q06, A.1.5]. Das Wintermaximum 2025 war das niedrigste der Messreihe [Q04].
- **Antarktisches Meereis:** Bis 2020 zeigte sich kein signifikanter Trend [Q06, A.1.5]. Seither liegen die vier niedrigsten Sommerminima der Messreihe in den vier jüngsten Jahren [Q04]. Ob es sich um eine dauerhafte Zustandsänderung handelt, ist offen (Kap. 8.6).

6.5 Extremereignisse

Der Kenntnisstand ist je nach Art des Ereignisses unterschiedlich gesichert. Das ist für die Risikobewertung wesentlich (Kap. 18).

Ereignistyp	Beobachtete Änderung	Zuordnung zum Klimawandel	Quelle
Hitzeextreme	häufiger und intensiver seit den 1950er-Jahren – praktisch sicher	Haupttreiber, hohes Vertrauen	[Q06, A.3.1]

Ereignistyp	Beobachtete Änderung	Zuordnung zum Klimawandel	Quelle
Starkniederschlag	häufiger und intensiver über den meisten Landflächen mit Daten – hohes Vertrauen	wahrscheinlich Haupttreiber	[Q06, A.3.2]
Landwirtschaftliche und ökologische Dürre	Zunahme in einigen Regionen	Beitrag, mittleres Vertrauen	[Q06, A.3.2]
Tropische Wirbelstürme	Anteil starker Stürme wahrscheinlich gestiegen; Gesamthäufigkeit ohne gesicherten Trend	mehr Niederschlag je Sturm, hohes Vertrauen	[Q06, A.3.4]
Waldbrände	grössere Brandflächen in einigen Regionen	mittleres bis hohes Vertrauen, regional	[Q07, B.1.1]

Einige Hitzeextreme des letzten Jahrzehnts wären ohne menschlichen Einfluss äusserst unwahrscheinlich gewesen [Q06, A.3.1]. Bei Dürren und Stürmen ist das Bild differenzierter; pauschale Aussagen wie «alle Extreme nehmen zu» sind vom Kenntnisstand nicht gedeckt.

6.6 Bereits eingetretene Folgen für Natur und Menschen

- Etwa die Hälfte der weltweit untersuchten Arten hat ihr Verbreitungsgebiet polwärts oder in die Höhe verschoben; erste Arten sind klimabedingt ausgestorben [Q07, B.1.2].
- Das Ausmass der Folgen ist grösser als in früheren Sachstandsberichten geschätzt [Q07, B.1.2].
- Der Klimawandel hat das Wachstum der landwirtschaftlichen Produktivität in den letzten 50 Jahren gebremst [Q07, B.1.3].
- In allen Regionen haben Hitzeextreme zu Todesfällen und Erkrankungen geführt [Q07, B.1.4].
- Rund 3,3 bis 3,6 Milliarden Menschen leben unter Bedingungen, die sie hochgradig verwundbar machen [Q07, B.2].

6.7 Konsens und offene Fragen

Als gesichert gilt: die menschliche Ursache der Erwärmung; die Grössenordnung der bisherigen Erwärmung; der lineare Zusammenhang zwischen kumulierten CO_2-Emissionen und Temperatur; die Zunahme von Hitzeextremen und Starkniederschlägen; der langfristig fortgesetzte Meeresspiegelanstieg.

Aktiv erforscht und nicht entschieden ist:

1. **Beschleunigt sich die Erwärmung stärker als erwartet?** Das Energieungleichgewicht ist seit dem letzten IPCC-Bericht um rund 40 % gestiegen, stärker als aus dem Strahlungsantrieb zu erwarten. Als Erklärungen werden Messfehler, ein unterschätzter Rückgang der Aerosolkühlung, eine höhere Klimasensitivität oder veränderte Wolkenbedeckung untersucht [Q02, S. 3915].
2. **Wie stabil sind die natürlichen Senken?** Die Landsenke war während des El Niño 2023/24 stark geschwächt und hat sich seither erholt [Q03].

3. **Wie nah sind Kipppunkte?** Siehe Kap. 8.6.
4. **Wie verhalten sich die Eisschilde?** Prozesse der Eisschildinstabilität sind von tiefer Unsicherheit geprägt [Q06, B.5.2].

Diese offenen Fragen betreffen das Tempo und die obere Grenze der Risiken. Keine von ihnen stellt die Grundaussagen in Frage.

7 Zukunftsszenarien

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Dieses Kapitel enthält **Szenarien** und **Projektionen**. Keine der Angaben ist eine Vorhersage; jede gilt unter den genannten Annahmen.

7.1 Zwei Arten von Szenarien

In der Klimaforschung werden zwei Arten von Szenarien verwendet, die oft verwechselt werden.

Emissionspfade des IPCC (SSP). Sie beschreiben mögliche Verläufe der Treibhausgaskonzentrationen und dienen den Klimamodellen als Eingabe. Sie sind bewusst breit gewählt und mit keiner Eintrittswahrscheinlichkeit versehen. Die Erwärmung für 2081–2100 gegenüber 1850–1900 beträgt [Q06, B.1.1]:

Pfad	Charakter	Sehr wahrscheinlicher Bereich
SSP1-1.9	sehr niedrige Emissionen	1,0–1,8 °C
SSP2-4.5	mittlere Emissionen	2,1–3,5 °C
SSP5-8.5	sehr hohe Emissionen	3,3–5,7 °C

Politikszenarien. Sie fragen, wohin die tatsächlich beschlossene oder angekündigte Politik führt. Sie werden jährlich nachgeführt, unter anderem von UNEP, der Internationalen Energieagentur (IEA) und dem Climate Action Tracker.

Die Studie definiert ihre Szenarien A, B und C politisch und nutzt die SSP-Pfade nur, um Klimafolgen aus der Literatur zuzuordnen (Kap. 3.4).

7.2 Szenario A: Fortsetzung der gegenwärtigen Politik

Annahme: Die heute umgesetzten Massnahmen bleiben in Kraft; es kommt weder zu einer wesentlichen Verschärfung noch zu einem breiten Rückbau.

Projektionen:

Institution	Szenario	Erwärmung bis 2100	Stand
UNEP	geltende Politik	bis 2,8 °C, danach weiter steigend	Okt. 2026 [Q01]
IEA	Current Policies Scenario	knapp 3 °C	Nov. 2025 [Q10]
IEA	Stated Policies Scenario	2,5 °C	Nov. 2025 [Q10]
Climate Action Tracker	geltende Politik	rund 2,6 °C	abgerufen Nov. 2026 [Q11]
IPCC AR6	Politik Stand Ende 2020	3,2 [2,2–3,5] °C	2022 [Q08, C.1]

Die Werte liegen zwischen 2,5 und 3 °C. Die Unterschiede haben benennbare Gründe:

- **Was als «geltende Politik» zählt.** Die IEA unterscheidet neuerdings zwischen bereits rechtskräftigen Regelungen (Current Policies) und zusätzlich angekündigten, noch nicht vollständig umgesetzten Vorhaben (Stated Policies). Der Unterschied macht rund ein halbes Grad aus [Q10].
- **Wahrscheinlichkeitsniveau.** Manche Angaben sind Medianwerte, andere Werte, die mit 66 % Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden. Letztere liegen systematisch höher.
- **Zeitpunkt.** Die Schätzung des IPCC beruht auf dem Politikstand von Ende 2020 und liegt deshalb höher als neuere Werte.

Die Richtung der letzten Jahre. Gegenüber dem Politikstand von Ende 2020 (3,2 °C) liegen die heutigen Projektionen tiefer. Diese Verbesserung ist jedoch zum Stillstand gekommen. Der Climate Action Tracker stellte 2025 fest, dass sich die Aussichten seit vier Jahren kaum verändert haben [Q11]. UNEP weist 2026 sogar eine Verschlechterung gegenüber dem Vorjahr aus und begründet sie mit dem Austritt der USA aus dem Pariser Abkommen und revidierten historischen Emissionsdaten [Q01].

Energiewirtschaftliches Bild laut IEA [Q10]: Die energiebedingten CO_2-Emissionen erreichten 2024 mit 38 Gt einen Höchststand. Im Current Policies Scenario bleiben sie etwa auf diesem Niveau, und die Nachfrage nach Öl und Erdgas wächst bis 2050 weiter; im Stated Policies Scenario sinken sie bis zur Jahrhundertmitte unter 30 Gt, wobei der Kohleverbrauch zurückgeht und der Ölverbrauch um 2030 abflacht. In beiden Fällen wachsen erneuerbare Energien schneller als jede andere Energiequelle, und der Strombedarf steigt bis 2035 um rund 40 %.

Szenario A bedeutet also nicht Stillstand der Energiewende. Es bedeutet, dass sauberer Strom vor allem den zusätzlichen Bedarf deckt, statt fossile Energie im nötigen Tempo zu verdrängen.

Für diese Studie: Szenario A wird mit einer Erwärmung von rund 2,5 bis 3 °C bis 2100 geführt, zentral 2,7–2,8 °C, ohne Stabilisierung zum Jahrhundertende. Als physikalische Näherung dient SSP2-4.5.

Rückschritt-Variante

Die bisherige Entwicklung zeigt, dass bestehende Politik auch zurückgenommen werden kann. Die Variante «Rückschritt» nimmt an, dass wichtige Emittenten Massnahmen abbauen. Sie liegt zwischen SSP2-4.5 und dem hohen Pfad SSP3-7.0. Der sehr hohe Pfad SSP5-8.5 wird nicht als Politikszenario geführt, weil er einen Kohleausbau voraussetzt, der mit den beobachteten Trends kaum vereinbar ist [Q38]; er dient als obere Stressgrenze für Risiken mit sehr hohem Schadenspotenzial.

7.3 Szenario B: Umsetzung angekündigter Klimaziele

Annahme: Alle Staaten erfüllen ihre national festgelegten Beiträge (NDC) vollständig und fristgerecht; in der zweiten Stufe zusätzlich ihre langfristigen Netto-Null-Zusagen.

Stufe	UNEP 2026 [Q01]	Climate Action Tracker [Q11]
B1: NDCs erfüllt	2,6 °C	2,6 °C
B2: NDCs und verbindliche Langfristziele	–	rund 2,2 °C
B2: NDCs und alle Netto-Null-Ziele	2,1 °C	1,9 °C (optimistisch)

Daraus lassen sich zwei Lücken ablesen:

Die Ambitionslücke. Selbst vollständig erfüllte NDCs senken die Emissionen bis 2035 nur um 11–15 % gegenüber 2025. Für den Pfad mit geringstmöglichem Overshoot wären 45 % nötig [Q01]. Die neuen NDCs haben die Projektionen laut UNEP kaum verändert. Die Zusagen reichen also nicht aus – auch nicht, wenn sie eingehalten werden.

Die Umsetzungslücke. Der Abstand zwischen geltender Politik (2,8 °C) und erfüllten NDCs (2,6 °C) ist mit rund 0,2 °C klein. Der grosse Sprung entsteht erst durch die Netto-Null-Ziele (2,1 °C). Diese liegen meist Jahrzehnte in der Zukunft und sind häufig nicht mit Massnahmen unterlegt. Die Glaubwürdigkeit von Szenario B2 hängt deshalb davon ab, ob aus Fernzielen Nahziele werden.

Für diese Studie: B1 unterscheidet sich klimatisch kaum von A und wird nicht als eigenständige Zukunft behandelt. B2 wird mit rund 2 °C geführt und liegt zwischen SSP1-2.6 und SSP2-4.5.

7.4 Szenario C: Konsequenter Klimaschutz

Annahme: Die Emissionen sinken so schnell, wie es nach heutigem Wissen technisch und wirtschaftlich machbar ist.

Was noch erreichbar ist. UNEP und IEA kommen unabhängig voneinander zum selben Befund: Ein Überschreiten von 1,5 °C ist nicht mehr zu vermeiden [Q01, Q10]. Der ehrgeizigste noch beschriebene Pfad begrenzt die Spitzenerwärmung um die Jahrhundertmitte auf 1,7–1,8 °C und führt bis 2100 mit etwa 50 % Wahrscheinlichkeit auf 1,5 °C zurück [Q01].

Was dafür nötig wäre [Q01]:

Grösse	Anforderung
Treibhausgasemissionen gegenüber 2025	−18 % bis 2030, −45 % bis 2035, −69 % bis 2040
Mittlere jährliche Minderung 2025–2035	5,7 %
Erneuerbare Stromkapazität	mindestens Verdreifachung bis 2035, 4,5-fach bis 2040
Kohlestrom	−75 % bis 2035, faktischer Ausstieg bis 2040
Methanemissionen	−25 % bis 2035, −40 % bis 2040
CO_2-Entnahme im Lauf des Jahrhunderts	rund 320 Gt

Zwei Vorbehalte.

Tempo. Eine weltweite Minderung von 5,7 % pro Jahr über ein Jahrzehnt hat es nie gegeben. Sie ist nicht unmöglich: Optionen mit Kosten bis 100 USD pro Tonne könnten die Emissionen bis 2030 mindestens auf die Hälfte des Standes von 2019 senken, mehr als die Hälfte dieses Potenzials kostet weniger als 20 USD pro Tonne [Q08, C.12.1]. Die Hürden liegen weniger in der Technik als in Politik, Finanzierung und Umsetzungsgeschwindigkeit (Kap. 12, 13).

CO_2-Entnahme. 320 Gt entsprechen rund acht Jahren heutiger CO_2-Emissionen. UNEP bezeichnet die Erreichbarkeit dieser Menge wegen sozioökonomischer und technischer Hürden selbst als unsicher [Q01]. Ein Pfad, der eine Rückkehr auf 1,5 °C verspricht, hängt also an einer Technologie, die im erforderlichen Massstab nicht existiert (Kap. 13.6).

Für diese Studie: Szenario C wird in zwei Varianten geführt. - **C1 – geringstmöglicher Overshoot:** Spitze 1,7–1,8 °C, Rückkehr gegen 1,5 °C, abhängig von CO_2-Entnahme. - **C2 – deutlich unter 2 °C ohne Rückkehr:** gleiche Minderung bis 2040, aber begrenzte CO_2-Entnahme; die Temperatur stabilisiert sich bei rund 1,7–1,9 °C.

C2 ist die vorsichtigere Lesart und dient in der Risikobewertung als Bezugspunkt für «konsequenten Klimaschutz».

7.5 Die Szenarien im Überblick

	A Geltende Politik	B2 Ziele erfüllt	C Konsequent
Erwärmung 2100	2,5–3 °C	rund 2 °C	1,5–1,9 °C
Temperaturverlauf 2100	weiter steigend	annähernd stabil	stabil oder sinkend
Emissionen 2035 gegenüber 2025	etwa gleich bis leicht sinkend	−11 bis −15 % (NDC)	−45 %
Netto-Null-CO_2	nicht in diesem Jahrhundert	um 2070 und später	um 2050–2060
Abhängigkeit von CO_2-Entnahme	gering	mittel	hoch (C1), mittel (C2)
Näherung SSP	SSP2-4.5	SSP1-2.6 bis SSP2-4.5	SSP1-1.9 bis SSP1-2.6

Die Angaben zum Zeitpunkt von netto null CO_2 stützen sich auf die Pfadkategorien des IPCC (Anfang der 2050er-Jahre für 1,5 °C, Anfang der 2070er-Jahre für 2 °C [Q08, C.2]) und sind für die Szenarien dieser Studie als Grössenordnung zu lesen.

7.6 Was die Szenarien nicht erfassen

1. **Die Unsicherheit der Klimareaktion.** Jede Temperaturangabe ist ein zentraler Wert. Bei gleichem Emissionspfad kann die Erwärmung wegen der Spanne der Klimasensitivität um mehrere Zehntelgrad nach oben oder unten abweichen (Kap. 5.4).
2. **Rückkopplungen.** Auftauender Permafrost, geschwächte Senken oder Waldverluste können zusätzliche Emissionen verursachen, die in Politikszenarien nur teilweise enthalten sind [Q07, B.6.2].
3. **Brüche.** Kriege, Wirtschaftskrisen, Technologiesprünge oder politische Umschwünge verändern Emissionspfade stärker als graduelle Politik. Der Rückgang der fossilen Emissionen 2026 infolge eines Ölschocks zeigt das im Kleinen [Q03].

Jedes weitere Jahrfünft mit CO_2-Emissionen auf heutigem Niveau erhöht die Spitzenerwärmung um rund 0,1 °C [Q01]. Die Szenarien unterscheiden sich deshalb nicht nur im Ziel, sondern im Zeitpunkt des Handelns; diesen Zusammenhang untersucht Versuch 3 der Simulation (Kap. 17).

8 Globale ökologische Auswirkungen

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Jede Folge wird nach drei Stufen gegliedert: **beobachtet**, **erwartet** (Projektion mit mittlerem bis hohem Vertrauen) und **möglich, aber unsicher**.

8.1 Hitze

Beobachtet. Hitzeextreme sind seit den 1950er-Jahren über den meisten Landflächen häufiger und intensiver geworden; der menschengemachte Klimawandel ist der Haupttreiber [Q06, A.3.1].

Erwartet. Jedes weitere halbe Grad globaler Erwärmung verstärkt Hitzeextreme klar erkennbar, und die prozentuale Zunahme ist bei seltenen Ereignissen am grössten [Q06, B.2.2]. In einigen Regionen der mittleren Breiten erwärmen sich die heissesten Tage etwa 1,5- bis 2-mal so schnell wie das globale Mittel [Q06, B.2.3]. Ein Unterschied von 1,8 zu 2,8 °C im globalen Mittel bedeutet dort also zwei Grad und mehr an den heissesten Tagen.

Mechanismus. Hitze wirkt nicht nur über die Lufttemperatur, sondern über das Zusammenspiel mit Feuchte, nächtlicher Abkühlung und Dauer. Ausgetrocknete Böden verstärken Hitzewellen, weil die Verdunstungskühlung ausfällt; Hitze und Dürre treten deshalb oft gemeinsam auf.

8.2 Wasser: Dürre, Starkregen, Überschwemmungen

Eine wärmere Atmosphäre kann mehr Wasserdampf aufnehmen. Das verstärkt beide Enden des Wasserkreislaufs: mehr Niederschlag, wenn es regnet, und stärkere Austrocknung dazwischen.

Beobachtet. Starkniederschläge haben zugenommen [Q06, A.3.2]. Rund die Hälfte der Weltbevölkerung erlebt zumindest zeitweise schwere Wasserknappheit, verursacht durch klimatische und nicht klimatische Faktoren [Q07, B.1.3].

Erwartet. - Tägliche Extremniederschläge nehmen global um rund 7 % je Grad Erwärmung zu [Q06, B.2.4]. - Sehr nasse und sehr trockene Wetterlagen und Jahreszeiten werden ausgeprägter; wo und wie häufig, hängt von der regionalen Zirkulation ab und ist deutlich unsicherer als die globale Aussage [Q06, B.3.2]. - Direkte Hochwasserschäden liegen bei 2 °C um das 1,4- bis 2-Fache und bei 3 °C um das 2,5- bis 3,9-Fache über jenen bei 1,5 °C, ohne zusätzliche Anpassung [Q07, B.4.2]. - Bei rund 2 °C geht das Schmelzwasser für die Bewässerung in einigen schneeabhängigen Einzugsgebieten um bis zu 20 % zurück [Q07, B.4.2].

Der Schadensfaktor bei Hochwasser zeigt die Nichtlinearität: Zwischen Szenario C und Szenario A liegt rund ein Grad, aber etwa eine Verdoppelung der Schäden.

8.3 Waldbrände

Beobachtet. In einigen Regionen sind grössere Brandflächen dem Klimawandel zugeordnet worden [Q07, B.1.1]. Waldbrände beeinträchtigen Ökosysteme, Siedlungen, Wirtschaft und Gesundheit [Q07, B.5.2].

Erwartet. Mit mehr Hitze und Trockenheit nehmen Tage mit hoher Brandgefahr zu. Ob daraus Brände werden, hängt zusätzlich von Zündquellen, Vegetation, Landnutzung und Brandbekämpfung ab. Die Brandfläche ist deshalb schwerer zu projizieren als die Brandgefahr.

Rückkopplung. Brände, Baumsterben und das Austrocknen von Mooren setzen Kohlenstoff frei und schwächen die Landsenke [Q07, B.6.2].

8.4 Eis: Gletscher, Permafrost, Eisschilde

Gletscher. Sie schmelzen über Jahrzehnte bis Jahrhunderte weiter, auch wenn die Erwärmung stoppt [Q06, B.5.2]. Bei rund 2 °C wird ein globaler Massenverlust von 18 ± 13 % projiziert, bei 4 °C etwa das Doppelte [Q07, B.4.2]. Die Folgen reichen über die Gebirge hinaus: Gletscher speichern Winterniederschlag und geben ihn im Sommer ab. Mit ihrem Rückgang nimmt der Sommerabfluss zunächst zu und später ab.

Permafrost. Dauerhaft gefrorene Böden der Arktis und der Hochgebirge enthalten grosse Mengen organischen Kohlenstoffs. Tauen sie auf, wird dieser als CO_2 und Methan freigesetzt; der Verlust ist auf der Zeitskala von Jahrhunderten unumkehrbar [Q06, B.5.2]. Im Gebirge destabilisiert tauender Permafrost zudem Felswände und Hänge (Kap. 15).

Eisschilde. Dass Grönland im 21. Jahrhundert weiter Eis verliert, ist praktisch sicher; für die Antarktis ist es wahrscheinlich [Q06, B.5.2]. Offen ist das Tempo. Prozesse der Eisschildinstabilität sind von tiefer Unsicherheit geprägt und könnten den Eisverlust der Antarktis unter hohen Emissionen über Jahrhunderte stark erhöhen [Q06, B.5.2].

8.5 Ozean

Meeresspiegel. Projektion für 2100 gegenüber 1995–2014, wahrscheinlicher Bereich [Q06, B.5.3]:

Pfad	Anstieg bis 2100	bis 2150
SSP1-1.9	0,28–0,55 m	0,37–0,86 m
SSP1-2.6	0,32–0,62 m	0,46–0,99 m
SSP2-4.5	0,44–0,76 m	0,66–1,33 m
SSP5-8.5	0,63–1,01 m	0,98–1,88 m

Drei Punkte verdienen Beachtung:

1. **Der Anstieg ist in allen Pfaden erheblich.** Selbst beim niedrigsten Pfad sind es rund 30–55 cm bis 2100. Emissionsminderung verlangsamt den Anstieg, hält ihn aber nicht auf.
2. **Die Unterschiede wachsen nach 2100.** Über 2000 Jahre steigt der Meeresspiegel um etwa 2–3 m bei 1,5 °C und um 2–6 m bei 2 °C [Q06, B.5.4, geringes Vertrauen]. Die Entscheidung dieses Jahrhunderts legt die Küstenlinien ferner Generationen fest.
3. **Das obere Ende ist offen.** Ein Anstieg gegen 2 m bis 2100 kann unter sehr hohen Emissionen wegen der Unsicherheit über die Eisschilde nicht ausgeschlossen werden [Q06, B.5.3, geringes Vertrauen].

Für die Betroffenheit zählt weniger der mittlere Pegel als die Häufigkeit von Extremwasserständen. Die Zahl der Menschen, die einer Jahrhundertflut ausgesetzt sind, steigt bei 0,15 m Anstieg um rund 20 %, verdoppelt sich bei 0,75 m und verdreifacht sich bei 1,4 m – ohne Bevölkerungswachstum und ohne zusätzliche Anpassung [Q07, B.4.5].

Erwärmung und Hitzewellen im Meer. Marine Hitzewellen nehmen mit jeder weiteren Erwärmung zu, besonders in den Tropen und in der Arktis [Q06, B.2.3].

Versauerung. Der Ozean nimmt einen grossen Teil des emittierten CO_2 auf; dabei sinkt der pH-Wert. Der heutige Oberflächenwert ist nach Angabe der WMO unter Berufung auf den IPCC seit mindestens 26 000 Jahren beispiellos, und die Veränderung in der Tiefe ist über Jahrhunderte bis Jahrtausende unumkehrbar [Q04]. Versauerung beeinträchtigt kalkbildende Organismen und damit Muschelzucht und Fischerei [Q07, B.1.3]. Sie hängt allein von der CO_2-Konzentration ab; Massnahmen, die nur die Temperatur senken, ohne CO_2 zu reduzieren, ändern daran nichts.

8.6 Biodiversität und Ökosysteme

Beobachtet. Etwa die Hälfte der untersuchten Arten hat ihr Verbreitungsgebiet verschoben. Hitzeextreme haben Hunderte lokaler Artverluste und Massensterben an Land und im Meer verursacht; erste Arten sind klimabedingt ausgestorben [Q07, B.1.2].

Erwartet. Anteil der untersuchten Landarten mit sehr hohem Aussterberisiko [Q07, B.4.1]:

Erwärmung	Anteil
1,5 °C	3–14 %
2 °C	3–18 %
3 °C	3–29 %
4 °C	3–39 %

Die untere Grenze bleibt gleich, die obere wächst stark. Die Spanne spiegelt echte Unsicherheit darüber, wie anpassungsfähig Arten sind. Sie bedeutet nicht, dass der niedrige Wert ebenso plausibel wäre wie der hohe, sondern dass das Risiko mit der Erwärmung vor allem nach oben offen ist.

Harte Anpassungsgrenzen sind bereits erreicht bei einigen Warmwasser-Korallenriffen, Küstenfeuchtgebieten, Regenwäldern sowie Polar- und Gebirgsökosystemen [Q07, C.3.3].

Zusammenwirken mit anderen Belastungen. Der Klimawandel ist bisher nicht die Hauptursache des weltweiten Artenverlusts; diese Rolle spielen Landnutzungsänderung und direkte Ausbeutung. Der Weltbiodiversitätsrat reiht die fünf direkten Treiber nach ihrer bisherigen weltweiten Wirkung: veränderte Land- und Meeresnutzung, direkte Ausbeutung von Organismen, Klimawandel, Verschmutzung und invasive gebietsfremde Arten [Q30, Medienmitteilung vom 6.5.2019]. Der Klimawandel steht also an dritter Stelle. Der Klimawandel wirkt als zusätzlicher, wachsender Druck auf bereits geschwächte Systeme. Ökosysteme, die durch Zerschneidung oder Übernutzung beeinträchtigt sind, können Klimaveränderungen schlechter ausgleichen.

8.7 Kipppunkte

Begriff. Ein Kipppunkt ist erreicht, wenn eine Veränderung in einem Teil des Klimasystems sich jenseits einer Erwärmungsschwelle selbst verstärkt [Q22].

Was der IPCC sagt. Abrupte Reaktionen und Kipppunkte wie ein stark verstärkter Eisverlust der Antarktis oder Waldsterben können nicht ausgeschlossen werden; ihre Wahrscheinlichkeit steigt mit der Erwärmung [Q06, C.3.2]. Die atlantische Umwälzzirkulation schwächt sich in diesem Jahrhundert sehr wahrscheinlich ab; dass sie vor 2100 abrupt zusammenbricht, hält der IPCC mit mittlerem Vertrauen für nicht zu erwarten. Träte es ein, wären abrupte Verschiebungen regionaler Wettermuster die Folge, darunter eine Austrocknung in Europa [Q06, C.3.4].

Was neuere Arbeiten sagen. Eine systematische Neubewertung von 2022 identifiziert neun globale und sieben regionale Kippelemente. Die heutige Erwärmung liegt demnach bereits im unteren Unsicherheitsbereich von fünf Schwellen; im Bereich von 1,5 bis unter 2 °C werden sechs Kipppunkte «wahrscheinlich», darunter der Kollaps des grönländischen und des westantarktischen Eisschilds, das Absterben tropischer Korallenriffe und abruptes Auftauen von Permafrost [Q22]. Der Global Tipping Points Report 2025 geht weiter: Für Warmwasser-Korallenriffe sei der zentrale Schwellenwert von 1,2 °C überschritten; für Permafrost, den grönländischen und den westantarktischen Eisschild sowie den subpolaren Wirbel liege die Schwelle wahrscheinlich bei rund 1,5 °C, für Gebirgsgletscher, boreale Wälder und die atlantische Umwälzzirkulation bei rund 2 °C [Q23].

Einordnung. Die Aussagen sind unterschiedlich belastbar.

Aussage	Belastbarkeit
Kipppunkte existieren, und ihr Risiko steigt mit der Erwärmung	gut belegt
Korallenriffe erleiden bei der heutigen Erwärmung grossflächige, wiederkehrende Schäden	gut belegt (beobachtet)
Die Eisschilde haben Schwellen, die im Bereich von 1,5–2 °C liegen könnten	plausibel, Schwellenwerte unsicher
Zeitpunkt und Tempo des Kippens einzelner Elemente	weitgehend offen
Kaskaden, bei denen ein Kippen das nächste auslöst	möglich, wenig quantifiziert

Zwei Dinge sind beim Lesen dieser Befunde zu beachten. Erstens bedeutet «Kippen» bei trägen Systemen wie Eisschilden kein plötzliches Ereignis, sondern den Beginn eines Prozesses, der sich über Jahrhunderte bis Jahrtausende vollzieht. Zweitens stammt der Global Tipping Points Report von einem Forschungskonsortium und hat kein Begutachtungsverfahren wie ein Sachstandsbericht durchlaufen; seine Schwellenwerte sind Expertenschätzungen. Die Autoren halten selbst fest, dass herkömmliche Risikomatrizen aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schaden für Kipppunkte ungeeignet sind [Q23]. Die Studie behandelt Kipppunkte deshalb in der Risikobewertung gesondert (Kap. 18) und in der Simulation nur als Stresstest (Versuch 7).

Bedeutung für die Szenarien. In Szenario A (2,5–3 °C) liegen die geschätzten Schwellen fast aller genannten Elemente unterhalb der erreichten Erwärmung. In Szenario C (Spitze 1,7–1,8 °C) werden mehrere Schwellen erreicht oder vorübergehend überschritten. Schnell reagierende Systeme sind schon bei kurzem Überschreiten gefährdet, langsame vertragen ein vorübergehendes Überschreiten eher [Q23]. Auch ein Overshoot-Pfad ist deshalb mit Folgen verbunden, die sich nicht zurücknehmen lassen, selbst wenn die Temperatur wieder sinkt [Q07, B.6].

8.8 Vergleich der Szenarien

Bereich	C (1,5–1,9 °C)	B2 (rund 2 °C)	A (2,5–3 °C)
Hitzeextreme	deutlich häufiger als heute	weitere klare Zunahme	starke Zunahme; in mittleren Breiten heisseste Tage 4–6 °C wärmer als vorindustriell
Extremniederschlag gegenüber heute	rund +2 bis +4 %	rund +4 %	rund +8 bis +11 %
Hochwasserschäden gegenüber 1,5 °C	Bezugswert bis 1,4-fach	1,4- bis 2-fach	2,5- bis 3,9-fach bei 3 °C
Meeresspiegel 2100	rund 0,3–0,6 m	rund 0,3–0,7 m	rund 0,45–0,75 m, danach schneller
Landarten mit sehr hohem Aussterberisiko	3–14 %	3–18 %	bis 3–29 %
Korallenriffe	schwere Verluste	weitgehender Verlust wahrscheinlich	weitgehender Verlust
Kipppunkte	einzelne Schwellen erreicht	mehrere Schwellen erreicht	fast alle geschätzten Schwellen überschritten

Die Angaben zu Hitze und Extremniederschlag sind eigene Ableitungen aus den genannten Skalierungen des IPCC (Faktor 1,5–2 für die heissesten Tage, 7 % je Grad) gegenüber einer heutigen Erwärmung von rund 1,4 °C und als Grössenordnung zu verstehen. Die Aussage zu Korallenriffen stützt sich auf die Einstufung der Riffe als sehr hohes Risiko bereits in naher Zukunft [Q07, B.3.1] und auf [Q22, Q23]; eine quantitative Angabe wurde nicht am Original geprüft.

Der Vergleich zeigt ein Muster, das sich durch die ganze Studie zieht: Kein Szenario führt zurück zum Klima des 20. Jahrhunderts. Der Unterschied zwischen den Pfaden liegt darin, ob die Veränderungen in einem Bereich bleiben, an den sich Ökosysteme und Gesellschaften grösstenteils anpassen können, oder ob sie ihn in wachsenden Teilen der Welt verlassen.

9 Wirtschaftliche Auswirkungen

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Die wirtschaftlichen Folgen sind der Bereich mit der grössten Spannweite der Schätzungen. Das Kapitel stellt diese Spannweite dar, statt einen Mittelwert zu wählen.

9.1 Wirkungskanäle

Der Klimawandel wirkt auf die Wirtschaft über vier Kanäle, die sich in ihrer Messbarkeit stark unterscheiden.

Kanal	Beispiel	Messbarkeit
Direkte Zerstörung von Sachwerten	Gebäude, Strassen, Ernten nach Flut, Sturm, Brand	gut, über Versicherungs- und Katastrophendaten
Verminderte Produktivität	Hitze senkt Arbeitsleistung und Erträge; Wasser fehlt für Kühlung und Bewässerung	mittel, über ökonometrische Studien
Indirekte Folgen über Märkte	Preisanstiege, Lieferausfälle, höhere Versicherungsprämien und Kapitalkosten	schwach, stark kontextabhängig
Nicht marktliche Verluste	Gesundheit, Menschenleben, Ökosysteme, kulturelles Erbe	nur mit umstrittenen Bewertungsverfahren

Die meisten Schadensschätzungen erfassen die ersten beiden Kanäle recht gut und die letzten beiden unvollständig. Das ist ein Grund, weshalb neuere Schätzungen tendenziell höher ausfallen als ältere.

9.2 Was bereits beobachtet wird

Der IPCC stellt fest [Q07, B.1.6]:

- Wirtschaftliche Schäden sind in klimaexponierten Sektoren nachgewiesen: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Energie, Tourismus, und über die Arbeitsproduktivität im Freien (hohes Vertrauen).
- Einzelne Extremereignisse wie tropische Wirbelstürme haben das Wirtschaftswachstum kurzfristig gesenkt (hohes Vertrauen).
- Es gibt auch positive Effekte: geringerer Heizenergiebedarf und Vorteile in Landwirtschaft und Tourismus in einigen Regionen (hohes Vertrauen).
- Ein Teil der steigenden Schäden geht nicht auf das Klima zurück, sondern darauf, dass mehr Werte in gefährdeten Lagen stehen (hohes Vertrauen).

Versicherte Schäden. Die versicherten Schäden aus Naturkatastrophen betrugen 2025 weltweit 107 Mrd. USD. Der langfristige Trend der versicherten Schäden liegt bei 5–7 % realem Wachstum pro Jahr; für ein Normaljahr 2026 erwartet der Rückversicherer Swiss Re 148 Mrd. USD [Q41].

Bemerkenswert ist die Aufschlüsselung: Zwischen 1970 und 2025 erklärt das Wachstum der exponierten Werte – mehr Menschen, höhere Vermögenswerte, teurere Wiederherstellung – mehr als 80 % des langfristigen Anstiegs der wetterbedingten versicherten Schäden [Q41]. Der Klimawandel ist also bisher nicht der Haupttreiber der steigenden Schadenssummen. Dieselbe Quelle hält aber fest, dass die Exposition das Tempo in einigen Regionen nicht mehr erklärt: In Europa lässt sich weniger als die Hälfte des Anstiegs der Schäden aus schweren Gewittern auf Expositionswachstum zurückführen [Q41].

Diese Unterscheidung ist für die Bewertung wesentlich. Wer steigende Schadenssummen pauschal dem Klimawandel zuschreibt, überschätzt dessen bisherigen Anteil. Wer daraus schliesst, das Klima spiele keine Rolle, übersieht, dass sich das Verhältnis verschiebt.

9.3 Gesamtwirtschaftliche Schadensschätzungen

Der Befund des IPCC

Die gesamtwirtschaftlichen Nettoschäden nehmen mit der Erwärmung im Allgemeinen nichtlinear zu. Die Bandbreite der Schätzungen ist jedoch so gross und die Methoden sind so wenig vergleichbar, dass der IPCC **keine belastbare Spanne** angibt [Q07, B.4.6]. Dass es höhere Schätzungen gibt als im vorherigen Sachstandsbericht, deutet darauf hin, dass die Schäden grösser sein könnten als früher angenommen (geringes Vertrauen).

Diese Zurückhaltung ist die sachlich korrekte Ausgangslage. Jede einzelne Zahl, die im Folgenden genannt wird, ist das Ergebnis einer bestimmten Methode.

Drei Schätzansätze und ihre Ergebnisse

Ansatz	Vorgehen	Ergebnis	Quelle
Aufzählend (DICE-2023)	Sektorale Schäden werden addiert; Zuschläge für Kippunkte und fehlende Bereiche	3,1 % der Wirtschaftsleistung bei 3 °C; 7,0 % bei 4,5 °C	[Q20, Abschn. 3.3]
Meta-Analyse, höhere Lesart	Auswertung vieler Studien mit Korrektur für Doppelzählungen und fehlende Schäden	rund 9 % bei 3 °C	[Q20, Abschn. 4.6, mit Verweis auf Q24]
Ökonometrisch, globale Temperatur	Statistischer Zusammenhang zwischen Schwankungen der Welttemperatur und Wirtschaftsleistung	über 20 % langfristig je 1 °C	[Q37]

Die Schätzungen unterscheiden sich um mehr als eine Grössenordnung. Die Gründe:

Aufzählende Ansätze erfassen nur, was einzeln untersucht wurde. Die Autoren von DICE-2023 halten selbst fest, dass die zugrunde liegenden Studien Biodiversitätsverlust, Ozeanversauerung, Extremereignisse und soziale Unruhen in der Regel auslassen, dass die Funktion nur bis 4 °C kalibriert ist und dass das Schadensmodul «hochgradig unsicher» bleibt [Q20, Abschn. 3.3 und 6]. Der Zuschlag für fehlende Bereiche (0,5 % bei 3 °C) ist eine Ermessensentscheidung.

Ökonometrische Ansätze messen, wie die Wirtschaft in der Vergangenheit auf Temperaturschwankungen reagiert hat, und erfassen damit auch Wirkungen, die niemand einzeln aufgelistet hat. Ihre Schwäche liegt in der Übertragung: Sie schliessen von kurzfristigen Schwankungen auf dauerhafte Erwärmung und von kleinen Änderungen auf grosse. Die Arbeit von Bilal und Känzig begründet ihr um eine Grössenordnung höheres Ergebnis damit, dass die globale Temperatur eng mit Extremereignissen zusammenhängt, die lokale Temperatur dagegen kaum [Q37]. Die Arbeit ist 2026 in einer führenden Fachzeitschrift erschienen; ihr Hauptergebnis hat sich zwischen den Fassungen des Arbeitspapiers verändert. Ob sich ihr Ansatz durchsetzt, ist offen.

Warnendes Beispiel. Eine vielbeachtete ökonometrische Studie, die bis 2050 einen Einkommensverlust von 19 % errechnete, wurde im Dezember 2025 von den Autoren wegen Daten- und Methodenfehlern zurückgezogen [Q21]. Darauf beruhende Angaben werden hier nicht verwendet. Der Fall zeigt, dass auch hochrangig publizierte Schadensschätzungen empfindlich auf Einzelentscheidungen bei Daten und Methode reagieren.

Was daraus folgt

1. Die Aussage «der Klimawandel kostet x Prozent» ist in dieser Form nicht belegbar. Belegbar ist: Die Schäden steigen überproportional mit der Erwärmung, und die untere Grenze der ernst zu nehmenden Schätzungen liegt für Szenario A bei einigen Prozent der Weltwirtschaftsleistung.
2. Eine dauerhafte Minderung der Wirtschaftsleistung um wenige Prozent ist für sich genommen kein Zusammenbruch. In allen untersuchten Pfaden wächst die Weltwirtschaft weiter. Globale Durchschnittswerte verdecken jedoch, dass die Verluste regional und sozial sehr ungleich anfallen (Kap. 9.6, 10).
3. Die Unsicherheit ist nach oben offen. Liegt die Wahrheit näher an den ökonometrischen Schätzungen, sind die Schäden in Szenario A um ein Vielfaches höher als in den klassischen Modellen.

Die eigenen Simulationen rechnen deshalb mit mehreren Schadensfunktionen parallel (Kap. 17).

9.4 Sektoren

Landwirtschaft und Lebensmittelpreise

Beobachtet. Der Klimawandel hat das Wachstum der landwirtschaftlichen Produktivität über 50 Jahre gebremst; negative Wirkungen überwiegen in mittleren und niedrigen Breiten, positive traten in einigen hohen Breiten auf [Q07, B.1.3].

Erwartet. Dürren, Überschwemmungen und Hitzewellen erhöhen die Risiken für die Ernährungssicherheit; in verwundbaren Regionen steigt das Risiko zwischen 1,5 und 2 °C von mässig auf hoch [Q07, B.4.3]. Hinzu kommen geschwächte Böden, weniger Bestäubung, mehr Schädlinge und rückläufige Fischbestände.

Preise. Eine Auswertung von über 27 000 Monatsbeobachtungen von Verbraucherpreisen zeigt: Höhere Temperaturen erhöhen die Lebensmittel- und Gesamtinflation über zwölf Monate hinweg, in reichen wie in armen Ländern. Für die bis 2035 projizierte Erwärmung ergibt sich ein Aufwärts-

druck von 0,92–3,23 Prozentpunkten pro Jahr auf die Lebensmittelinflation und von 0,32–1,18 Prozentpunkten auf die Gesamtinflation. Der Hitzesommer 2022 erhöhte die Lebensmittelinflation in Europa um 0,43–0,93 Prozentpunkte [Q39].

Die Breite der Spanne zeigt die Unsicherheit. Die Richtung ist eindeutig. Für die Geldpolitik entsteht ein Problem, weil Zinserhöhungen gegen angebotsbedingte Preisanstiege wenig ausrichten.

Mechanismus. Preisanstiege entstehen nicht erst bei globaler Knappheit. Es genügt, dass mehrere wichtige Anbauregionen gleichzeitig Ausfälle haben und Staaten mit Exportbeschränkungen reagieren.

Arbeit und Produktivität

Hitze senkt die Arbeitsleistung, besonders bei körperlicher Arbeit im Freien: Landwirtschaft, Bau, Logistik. Der IPCC sieht Schäden über diesen Kanal als nachgewiesen an [Q07, B.1.6]. Betroffen sind vor allem Länder mit hohem Anteil an Arbeit im Freien und geringer Verbreitung von Kühlung, also überwiegend ärmere Länder in warmen Regionen. Eine belastbare weltweite Zahl zu verlorenen Arbeitsstunden wurde für diese Studie nicht am Original geprüft und wird deshalb nicht genannt.

Energieversorgung

Der Klimawandel wirkt auf beide Seiten des Energiesystems.

- **Nachfrage:** Der Kühlbedarf steigt. Im Szenario der angekündigten Politik der IEA erhöhen einkommensbedingte Klimaanlagen die weltweite Spitzenlast bis 2035 um rund 330 GW, höhere Temperaturen um weitere 170 GW [Q10].
- **Angebot:** Dürren beschränken Wasserkraft und die Kühlung thermischer Kraftwerke; Stürme, Überschwemmungen und Brände erzwingen Abschaltungen. Nach Daten der IEA waren von Betriebsstörungen kritischer Energieinfrastruktur zuletzt jährlich mehr als 200 Millionen Haushalte betroffen; in rund 85 % der Vorfälle waren Stromnetze betroffen [Q10].

Die Stromnetze sind die Schwachstelle – zugleich die Infrastruktur, auf die eine elektrifizierte Wirtschaft am stärksten angewiesen ist.

Versicherungen und Finanzmärkte

Versicherung verteilt Risiken, die selten und unabhängig voneinander eintreten. Der Klimawandel untergräbt beide Voraussetzungen. Zwei Folgen:

1. **Versicherbarkeit.** Wo Schäden häufig und absehbar werden, steigen die Prämien, oder der Schutz wird nicht mehr angeboten. Swiss Re nennt Anpassung und Risikominderung ausdrücklich als Voraussetzung, um die langfristige Versicherbarkeit zu erhalten [Q41]. Zieht sich die Versicherung zurück, fallen die Schäden auf Eigentümer, Banken und den Staat.
2. **Spitzenrisiko.** In einem Spitzenschadenjahr könnten die versicherten Schäden laut Modellrechnung von Swiss Re rund 320 Mrd. USD erreichen, das Dreifache von 2025 [Q41].

Über den Immobilienmarkt erreichen diese Risiken das Finanzsystem: Verlieren Gebäude in gefährdeten Lagen an Wert oder werden sie unversicherbar, sinkt der Wert der Hypotheken, mit denen sie belastet sind. Wie gross dieses Risiko für die Finanzstabilität ist, wird von Aufsichtsbehör-

den untersucht; belastbare Grössenordnungen wurden für diese Studie noch nicht am Original geprüft.

Immobilien und Infrastruktur

Infrastruktur wird für Jahrzehnte gebaut und nach den Klimabedingungen der Vergangenheit bemessen. In Städten haben Extremereignisse und schleichende Veränderungen Verkehrs-, Wasser-, Abwasser- und Energiesysteme bereits beeinträchtigt [Q07, B.1.5]. Die Kosten entstehen auf drei Ebenen: Reparatur nach Schäden, vorzeitiger Ersatz, und Ausfälle bei den Nutzern, die oft grösser sind als der Sachschaden.

An den Küsten kommt der Meeresspiegel hinzu. Rund eine Milliarde Menschen werden mittelfristig in tief liegenden Städten und Siedlungen küstenspezifischen Gefahren ausgesetzt sein, in allen Szenarien [Q07, B.4.5].

Lieferketten

Wetter- und Klimaextreme wirken über Lieferketten, Märkte und Rohstoffflüsse über Grenzen hinweg [Q07, B.5.3]. Verwundbar sind Ketten, die von wenigen Standorten oder Transportwegen abhängen. Für importabhängige Volkswirtschaften wie die Schweiz bedeutet das, dass ein Teil der Klimarisiken im Ausland entsteht (Kap. 15).

Staatshaushalte

Die öffentliche Hand trägt Klimafolgen auf vier Wegen: Wiederaufbau öffentlicher Infrastruktur, Hilfen an Geschädigte, Einnahmeausfälle bei sinkender Wirtschaftsleistung, und als letzter Versicherer, wenn private Deckung fehlt. Gleichzeitig fallen Ausgaben für Anpassung und Klimaschutz an.

Für Entwicklungsländer beziffert UNEP den Anpassungsbedarf auf rund 305 Mrd. USD pro Jahr bis 2035, ohne den Bedarf des Privatsektors. Selbst die an der Klimakonferenz 2025 geforderte Verdreifachung der internationalen Anpassungsfinanzierung würde inflationsbereinigt nur 20–29 % davon decken [Q42]. Klimaschäden können ihrerseits die Finanzkraft schwächen, indem sie das Wachstum bremsen, und so den Spielraum für Anpassung weiter verengen [Q07, C.3.2]. Diesen Kreislauf untersucht Versuch 4 der Simulation.

9.5 Kosten des Klimaschutzes im Verhältnis zu den Schäden

Kosten. In Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen, liegt die Weltwirtschaftsleistung 2050 um 1,3–2,7 % tiefer als bei Fortsetzung der Politik von Ende 2020. Das entspricht einem um 0,04–0,09 Prozentpunkte geringeren jährlichen Wachstum; die Wirtschaftsleistung verdoppelt sich zwischen 2020 und 2050 in allen Pfaden mindestens [Q08, C.12.2]. Diese Zahlen berücksichtigen weder vermiedene Klimaschäden noch geringere Anpassungskosten.

Günstige Optionen. Massnahmen mit Kosten bis 100 USD je Tonne könnten die Emissionen bis 2030 mindestens auf die Hälfte von 2019 senken; mehr als die Hälfte dieses Potenzials kostet weniger als 20 USD je Tonne, ein kleinerer Teil spart netto Geld [Q08, C.12.1]. Die Stückkosten von Solarenergie und Batterien sind zwischen 2010 und 2019 um je 85 % gesunken, jene der Windenergie um 55 % [Q08, B.4.1].

Investitionsbedarf. Die jährlichen Investitionen in Klimaschutz müssten 2020–2030 auf das Drei- bis Sechsfache steigen [Q08, E.5.1]. Das ist eine Verlagerung von Kapital, kein reiner Kostenposten: Dem Mehraufwand stehen geringere Ausgaben für fossile Brennstoffe gegenüber. Schwierig ist die Finanzierung dort, wo Kapital teuer ist, also in Entwicklungsländern.

Abwägung. Der Nutzen einer Begrenzung auf 2 °C übersteigt in den meisten ausgewerteten Studien die Kosten [Q08, C.12, mittleres Vertrauen]. Ein Vergleich in einem einzigen Modell zeigt die Abhängigkeit von der Schadensannahme: Mit der Standard-Schadensfunktion errechnet DICE-2023 einen kostenoptimalen Pfad von 2,6 °C bis 2100; die sozialen Kosten einer Tonne CO_2 betragen 66 USD im Basisfall und 124 USD mit der höheren Schadensfunktion [Q20, Abschn. 5.1 und 5.3]. Je höher die Schäden angesetzt werden, desto tiefer liegt die Temperatur, bei der sich weiterer Klimaschutz noch rechnet.

Drei Vorbehalte gegenüber solchen Kosten-Nutzen-Rechnungen:

1. Sie hängen stark vom Diskontsatz ab, also davon, wie viel künftige Schäden heute zählen. In DICE-2023 reichen die sozialen Kosten je Tonne von 32 USD bei 5 % bis 485 USD bei 1 % [Q20, Tab. 2]. Das ist eine ethische, keine empirische Frage.
2. Sie bilden Kipppunkte und irreversible Verluste schlecht ab. Die Autoren von DICE halten fest, dass ihre Schadensfunktion keine Schwelleneffekte enthält [Q20, Abschn. 3.3].
3. Sie unterstellen weltweit abgestimmte, effiziente Politik, was die Kosten des Klimaschutzes zu niedrig ausweist [Q20, Abschn. 6].

Die Vorbehalte wirken in unterschiedliche Richtungen. Zusammengenommen stützen sie die Aussage, dass konsequenter Klimaschutz wirtschaftlich vertretbar ist, erlauben aber keine exakte Bestimmung eines «optimalen» Temperaturziels.

9.6 Verteilung

Globale Durchschnittswerte verdecken die wichtigste wirtschaftliche Eigenschaft des Klimawandels: Die Schäden fallen dort am stärksten an, wo die Mittel zu ihrer Bewältigung am geringsten sind.

- Die Schäden pro Kopf sind in Entwicklungsländern gemessen am Einkommen oft höher [Q07, B.4.6].
- Bis 2030 könnten durch den Klimawandel 32 bis 132 Millionen Menschen zusätzlich in extreme Armut geraten, vor allem über Gesundheitsfolgen und Lebensmittelpreise. Eine rasche, breit verteilte wirtschaftliche Entwicklung mit Zugang zu Grundversorgung halbiert diese Wirkung [Q40].
- Einige Regionen könnten bei geringer Erwärmung profitieren [Q07, Fussnote 35].

Die Weltbank-Schätzung enthält eine wichtige Aussage für die Politik: Entwicklung selbst ist ein wirksamer Schutz. Wie stark der Klimawandel Armut erhöht, hängt etwa zur Hälfte davon ab, wie sich Einkommen und Grundversorgung ohnehin entwickeln.

9.7 Vergleich der Szenarien

Bereich	C (1,5–1,9 °C)	B2 (rund 2 °C)	A (2,5–3 °C)
Gesamtwirtschaftliche Schäden	geringer als bei höherer Erwärmung (hohes Vertrauen); Höhe unsicher	dazwischen	einige Prozent bis ein Vielfaches davon, je nach Methode
Hochwasserschäden gegenüber 1,5 °C	bis 1,4-fach	1,4- bis 2-fach	2,5- bis 3,9-fach
Lebensmittelpreise	spürbarer Aufwärtsdruck bereits bis 2035	zunehmend	deutlich zunehmend, häufigere Preissprünge
Versicherbarkeit	regional eingeschränkt	zunehmend eingeschränkt	in exponierten Lagen verbreitet in Frage gestellt
Kosten des Klimaschutzes	Investitionen drei- bis sechsfach; Wirtschaftsleistung 2050 wenige Prozent tiefer, vor Abzug vermiedener Schäden	geringer	gering
Anpassungskosten	steigend	höher	am höchsten; in armen Ländern nicht finanzierbar

Die Einträge zur Versicherbarkeit und zu den Lebensmittelpreisen in den Spalten B2 und A sind qualitative Einschätzungen dieser Studie auf Grundlage der genannten Mechanismen, keine Angaben aus einer Quelle.

Zwischenfazit. Zwei verbreitete Aussagen halten der Prüfung nicht stand. Die Aussage, Klimaschutz ruiniere die Wirtschaft, widerspricht dem Befund, dass die Wirtschaftsleistung in ambitionierten Pfaden nur wenige Prozent tiefer liegt und weiter wächst. Die Aussage, der Klimawandel führe sicher zum wirtschaftlichen Zusammenbruch, ist durch die Bandbreite der Schätzungen nicht gedeckt. Gedeckt ist: Die Schäden wachsen überproportional mit der Erwärmung, treffen arme Länder und Haushalte am stärksten, und ihr oberes Ende ist nicht verlässlich begrenzt.

10 Gesellschaftliche Auswirkungen

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

10.1 Leitgedanke: Risiko entsteht aus drei Faktoren

Wie stark Menschen vom Klimawandel betroffen sind, hängt nicht allein vom Wetter ab. Risiko entsteht aus dem Zusammenwirken von Gefährdung, Exposition und Verwundbarkeit (Kap. 3.3). Dieselbe Hitzewelle trifft eine ältere, allein lebende Person in einer schlecht gedämmten Dachwohnung anders als eine Familie mit Garten und Klimaanlage. Die gesellschaftlichen Folgen des Klimawandels sind deshalb immer auch eine Frage der Lebensumstände und damit der Politik.

Rund 3,3 bis 3,6 Milliarden Menschen leben unter Bedingungen, die sie hochgradig verwundbar machen [Q07, B.2]. Zwischen 2010 und 2020 war die Sterblichkeit durch Überschwemmungen, Dürren und Stürme in hochverwundbaren Regionen 15-mal höher als in wenig verwundbaren [Q07, B.2.4]. Dieser Faktor zeigt, wie viel von den Folgen eines Ereignisses nicht durch das Ereignis selbst bestimmt wird.

10.2 Gesundheit

Hitze

Beobachtet. In allen Regionen haben Hitzeextreme zu Todesfällen und Erkrankungen geführt [Q07, B.1.4]. Nach dem Bericht des Lancet Countdown 2026 standen im Jahr 2023 weltweit rund 710 000 Todesfälle mit Hitze in Verbindung, ein Höchstwert; mehr als 70 % dieser Last werden dem menschengemachten Klimawandel zugeschrieben. Die jährlichen hitzebedingten Todesfälle lagen in den Jahren nach dem Pariser Abkommen im Mittel um knapp 36 % über dem Jahrzehnt davor [Q12, nach Mitteilung der WHO vom 28.10.2026].

Solche Zahlen sind Modellschätzungen auf Grundlage statistischer Zusammenhänge zwischen Temperatur und Sterblichkeit, keine gezählten Fälle. Hitze steht selten auf dem Totenschein; sie verschlimmert Herz-Kreislauf-, Atemwegs- und Nierenerkrankungen. Der Anstieg geht zudem teils auf die Alterung der Bevölkerung zurück. Die Grössenordnung und die Richtung sind gut belegt, der genaue Wert nicht.

Erwartet. Die Hitzebelastung der Bevölkerung nimmt mit jeder weiteren Erwärmung zu; ohne zusätzliche Anpassung steigt die hitzebedingte Sterblichkeit, mit starken regionalen Unterschieden [Q07, B.4.4].

Was hilft. Hitzeaktionspläne mit Frühwarnung sind wirksam [Q07, C.2.11]. Die Sterblichkeit je Hitzetag lässt sich durch Vorsorge deutlich senken. Hitze ist damit das Gesundheitsrisiko, bei dem Anpassung am meisten bewirkt – solange Temperatur und Feuchte in einem Bereich bleiben, in dem der Körper sich noch kühlen kann.

Infektionskrankheiten

Klimabedingte lebensmittel- und wasserübertragene Krankheiten haben zugenommen, ebenso durch Insekten übertragene Krankheiten, deren Überträger sich ausbreiten [Q07, B.1.4]. Das Dengue-Risiko weitet sich mit längeren Saisons und grösserem Verbreitungsgebiet aus, auch in Europa [Q07, B.4.4].

Psychische Gesundheit

Der Klimawandel hat die psychische Gesundheit in den untersuchten Regionen beeinträchtigt (sehr hohes Vertrauen) [Q07, B.1.4]; Belastungen wie Angst und Stress nehmen bei weiterer Erwärmung voraussichtlich zu [Q07, B.4.4]. Zu unterscheiden sind drei Wege:

1. **Unmittelbare Traumatisierung** durch erlebte Katastrophen: Verlust von Angehörigen, Wohnung oder Existenzgrundlage.
2. **Chronische Belastung** durch anhaltende Hitze, wirtschaftliche Unsicherheit oder erzwungenen Wegzug.
3. **Sorge um die Zukunft** ohne eigene direkte Betroffenheit, die vor allem bei jungen Menschen beschrieben wird.

Der erste Weg ist am besten belegt. Zum dritten ist die Evidenz jünger und methodisch uneinheitlich; Aussagen über sein Ausmass sind mit Vorsicht zu lesen.

Mittelbare Wirkungen

Viele Gesundheitsfolgen entstehen über Umwege: Mangelernährung nach Ernteausfällen, Krankheiten nach Überschwemmungen, unterbrochene Versorgung, wenn Spitäler oder Lieferwege ausfallen. Der IPCC hält fest, dass Gesundheitsfolgen über natürliche und menschliche Systeme vermittelt werden, einschliesslich wirtschaftlicher und sozialer Bedingungen [Q07, B.1.4].

Gesundheitlicher Nebennutzen des Klimaschutzes

Die Verbrennung fossiler Energieträger verursacht neben Treibhausgasen auch Luftschadstoffe. Weniger Verbrennung verbessert deshalb die Luftqualität unmittelbar und am Ort der Massnahme. Dieser Nutzen fällt früher an als der Klimanutzen und kommt der Bevölkerung zugute, die die Massnahme trägt. Eine Quantifizierung wird in der Endfassung am Original belegt.

10.3 Ernährung und Wasser

Ernährung. Extremereignisse haben Millionen Menschen akuter Ernährungsunsicherheit ausgesetzt, am stärksten in Afrika, Asien, Mittel- und Südamerika, auf kleinen Inseln und in der Arktis. Plötzliche Produktionsausfälle und einseitigere Ernährung haben Mangelernährung in vielen Gemeinschaften verstärkt; Kinder, ältere Menschen und Schwangere sind besonders betroffen [Q07, B.1.3]. Bei 2 °C und mehr werden die Risiken schwerer, mit Mangelernährung vor allem in Afrika südlich der Sahara, Südasien, Mittel- und Südamerika und auf kleinen Inseln [Q07, B.4.3].

In wohlhabenden Ländern äussert sich derselbe Vorgang als Preisanstieg (Kap. 9.4). Er trifft Haushalte mit geringem Einkommen überproportional, weil sie einen grösseren Teil ihres Budgets für Lebensmittel ausgeben.

Wasser. Rund die Hälfte der Weltbevölkerung erlebt zeitweise schwere Wasserknappheit [Q07, B.1.3]. Künftig verschärfen drei Entwicklungen die Lage: unregelmässigere Niederschläge, schwindende Schnee- und Gletscherspeicher und höherer Bedarf durch Verdunstung und Bewässerung. Wasserknappheit ist selten ein rein physikalisches Problem; Verteilung, Preisgestaltung und Infrastruktur entscheiden mit, wer betroffen ist.

10.4 Wohnen und Lebensbedingungen

Städte. Hitzewellen haben sich in Städten verstärkt, die Luftverschmutzung verschlimmert und die Funktion wichtiger Infrastruktur eingeschränkt. Die Folgen konzentrieren sich bei wirtschaftlich und sozial benachteiligten Bewohnern [Q07, B.1.5]. Dicht bebaute, versiegelte Quartiere mit wenig Grün heizen sich stärker auf und kühlen nachts schlechter ab. Solche Quartiere sind häufig jene mit tiefen Mieten.

Gebäude. Der Gebäudebestand ist für das Klima des 20. Jahrhunderts gebaut. In gemässigten Breiten sind Wohnungen auf Heizen ausgelegt, nicht auf Kühlen. Die Anpassung des Bestands dauert Jahrzehnte, weil Gebäude nur selten erneuert werden. Mieterinnen und Mieter haben darauf wenig Einfluss.

Küsten und Flussgebiete. Wo Überschwemmungen häufiger werden, sinkt die Bewohnbarkeit schrittweise: erst steigen die Versicherungsprämien, dann sinken die Immobilienwerte, schliesslich zieht weg, wer es sich leisten kann. Zurück bleiben oft jene mit den geringsten Mitteln.

10.5 Arbeit

Hitze verändert den Arbeitsalltag vor allem für Menschen, die im Freien oder in ungekühlten Räumen körperlich arbeiten. Mögliche Anpassungen – verschobene Arbeitszeiten, längere Pausen, Kühlung, Mechanisierung – kosten Geld oder Produktivität. In Ländern mit starkem Arbeitsschutz tragen diese Kosten Betriebe und Kundschaft; wo er fehlt, tragen sie die Beschäftigten mit ihrer Gesundheit.

Der Umbau der Energieversorgung verändert die Arbeitswelt ebenfalls. Arbeitsplätze in fossilen Branchen fallen weg, andere entstehen in Bau, Elektroinstallation und Industrie. Die Bilanz mag ausgeglichen oder positiv sein; die Betroffenen sind aber nicht dieselben, und die neuen Stellen entstehen nicht zwingend am selben Ort. Wie dieser Übergang gestaltet wird, beeinflusst die politische Unterstützung für Klimaschutz (Kap. 12).

10.6 Soziale Ungleichheit: Verstärkt der Klimawandel sie?

Die Frage lässt sich mit hoher Sicherheit bejahen. Vier Mechanismen wirken zusammen.

1. Ungleiche Verursachung. Die 10 % der Haushalte mit den höchsten Pro-Kopf-Emissionen verursachen 34–45 % der Haushaltsemissionen, die untere Hälfte 13–15 % [Q08, B.3.4].

2. Ungleiche Exposition. Ärmere Menschen leben häufiger in gefährdeten Lagen – an Hängen, in Überschwemmungsgebieten, in überhitzten Quartieren – und arbeiten häufiger im Freien.

3. Ungleiche Verwundbarkeit. Verwundbarkeit ist höher, wo Armut, schwache Verwaltung, fehlende Grundversorgung und klimaabhängige Lebensgrundlagen zusammentreffen, und sie wird durch Benachteiligung nach Geschlecht, Herkunft und Einkommen verschärft [Q07, B.2.4].

4. Ungleiche Anpassungsfähigkeit. Die grössten Anpassungslücken bestehen bei Bevölkerungsgruppen mit geringem Einkommen [Q07, C.1.2]. Weiche Anpassungsgrenzen sind vor allem finanziell und institutionell bedingt; Ungleichheit und Armut führen dazu, dass die verwundbarsten Gruppen überproportional betroffen sind [Q07, C.3.1].

Die Mechanismen verstärken sich gegenseitig: Wer wenig hat, verliert bei einem Ereignis einen grösseren Teil seines Vermögens, erholt sich langsamer und ist beim nächsten Ereignis verwundbarer. Bis 2030 könnten so 32 bis 132 Millionen Menschen zusätzlich in extreme Armut geraten [Q40].

Zwischen Ländern. Die Staaten, die am wenigsten zur Erwärmung beigetragen haben, sind überwiegend jene, die am stärksten betroffen sind und die geringsten Mittel zur Anpassung haben. Dieser Befund ist der Kern der internationalen Auseinandersetzung um Klimafinanzierung (Kap. 11, 12).

Auch Klimapolitik hat Verteilungswirkungen. Eine CO_2-Abgabe belastet Haushalte mit geringem Einkommen relativ zu ihrem Budget stärker, sofern die Einnahmen nicht zurückverteilt werden. Der IPCC hält fest, dass sich diese Wirkung durch die Verwendung der Einnahmen zugunsten einkommensschwacher Haushalte ausgleichen lässt [Q08, E.4.2] und dass die ungleiche Verteilung von Emissionen und Politikfolgen den sozialen Zusammenhalt und die Akzeptanz beeinflusst [Q08, D.3.3]. Versuch 5 der Simulation untersucht, wie Rückverteilung und Anpassungsmöglichkeiten diese Dynamik verändern.

10.7 Besonders betroffene Gruppen

Gruppe	Warum besonders betroffen
Ältere Menschen	geringere körperliche Fähigkeit zur Wärmeregulation, häufiger Vorerkrankungen, oft allein lebend und weniger mobil
Kinder	empfindlicher gegenüber Hitze, Mangelernährung und Infektionen; unterbrochene Schulbildung nach Katastrophen; sie erleben die Folgen am längsten
Schwangere	erhöhte Risiken bei Hitze und Mangelernährung [Q07, B.1.3]
Einkommensschwache Haushalte	siehe Kap. 10.6
Menschen mit klimaabhängiger Lebensgrundlage	Kleinbauern, Viehhalter, Fischer [Q07, B.2.4]
Beschäftigte im Freien	direkte Hitzeexposition bei der Arbeit
Bewohner kleiner Inseln und tiefer Küsten	für einige eine Bedrohung der Existenz des Lebensraums [Q07, B.4.5]

Die Angaben zu älteren Menschen und Kindern beruhen auf allgemeinem medizinischem Kenntnisstand; eine Fundstelle am Original wird nachgetragen.

10.8 Gesellschaftliche Anpassungsfähigkeit

Stand. Die meiste beobachtete Anpassung ist kleinräumig, schrittweise, auf einzelne Sektoren beschränkt und stärker auf Planung als auf Umsetzung ausgerichtet [Q07, C.1.2]. Beim heutigen Tempo wächst die Anpassungslücke weiter.

Grenzen. Der IPCC unterscheidet weiche Grenzen, die sich mit Geld, Institutionen und Wissen überwinden lassen, und harte Grenzen, bei denen keine Massnahme mehr hilft. Weiche Grenzen sind für manche Gruppen bereits erreicht [Q07, C.3.1]. Harte Grenzen sind bislang vor allem bei Ökosystemen erreicht [Q07, C.3.3]; für Menschen rücken sie dort näher, wo Hitze und Feuchte körperliche Arbeit im Freien zeitweise unmöglich machen oder der Meeresspiegel Land dauerhaft überflutet.

Fehlanpassung. Massnahmen können Risiken verlagern oder vergrössern: Dämme, die zu Bebauung in gefährdeten Gebieten ermutigen; Klimaanlagen, die den Stromverbrauch und die Abwärme in Städten erhöhen. Der IPCC sieht zunehmende Belege für solche Fehlanpassung, die bestehende Ungleichheiten verschärfen kann [Q07, C.4].

Was Anpassungsfähigkeit ausmacht. Über die Finanzkraft hinaus entscheiden funktionierende Institutionen, verlässliche Information, sozialer Zusammenhalt und die Fähigkeit, langfristig zu planen. Wohlhabende, gut organisierte Gesellschaften können sich an eine Erwärmung im Bereich von Szenario C grösstenteils anpassen. In Szenario A stossen auch sie in einzelnen Bereichen an Grenzen – und viele ärmere Gesellschaften deutlich früher.

10.9 Vergleich der Szenarien

Bereich	C (1,5–1,9 °C)	B2 (rund 2 °C)	A (2,5–3 °C)
Hitzebelastung	deutlich höher als heute, mit Vorsorge weitgehend beherrschbar	höher	stark erhöht; Vorsorge stösst regional an Grenzen
Ernährungssicherheit in verwundbaren Regionen	mässiges bis hohes Risiko	hohes Risiko	schwerwiegend, verbreitete Mangelernährung
Infektionskrankheiten	Ausbreitung der Überträger	weitere Ausbreitung	weitere Ausbreitung, auch in bisher gemässigte Zonen
Wohnen	Anpassung des Bestands nötig	grösserer Anpassungsbedarf	Teile exponierter Lagen verlieren an Bewohnbarkeit
Ungleichheit	nimmt zu, begrenzbar durch Politik	nimmt stärker zu	nimmt deutlich zu; Anpassungsgrenzen treffen Arme zuerst

Die Einstufungen folgen den zitierten Risikoaussagen des IPCC; wo keine Fundstelle angegeben ist, handelt es sich um eine qualitative Einschätzung dieser Studie.

Zwischenfazit. Der Klimawandel wirkt gesellschaftlich als Verstärker bestehender Ungleichheit. Daraus folgt eine doppelte Aussage für die Politik: Massnahmen, die Armut und fehlende Grundversorgung verringern, sind zugleich wirksame Klimaanpassung. Und Klimapolitik, die ihre Verteilungswirkung nicht beachtet, verschärft das Problem, das sie lösen soll, und gefährdet ihre eigene Akzeptanz.

11 Migration, Konflikte und internationale Beziehungen

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> In diesem Bereich ist die Evidenz schwächer und stärker kontextabhängig als bei physikalischen Folgen. Das Kapitel benennt deshalb durchgehend, was belegt, was plausibel und was Vermutung ist.

11.1 Begriffe

Drei Vorgänge werden oft vermischt:

- **Vertreibung durch Katastrophen:** Menschen verlassen ihren Wohnort wegen eines Ereignisses – Sturm, Flut, Brand. Meist kurzfristig, über kurze Distanzen, häufig mit Rückkehr.
- **Klimabedingte Migration:** Menschen ziehen weg, weil sich die Lebensgrundlagen schleichend verschlechtern – Ernten, Wasser, Bewohnbarkeit. Der Entscheid hat stets mehrere Ursachen; das Klima ist eine davon.
- **Unfreiwillige Immobilität:** Menschen, die wegziehen müssten, können es nicht, weil ihnen die Mittel fehlen.

Der Ausdruck «Klimaflüchtling» ist verbreitet, aber rechtlich und sachlich ungenau. Das internationale Flüchtlingsrecht kennt Umweltveränderungen nicht als Fluchtgrund, und die meisten Betroffenen überschreiten keine Grenze.

11.2 Was beobachtet wird

Vertreibung. Klima- und Wetterextreme treiben zunehmend Vertreibung in allen Regionen; kleine Inselstaaten sind überproportional betroffen [Q07, B.1.7].

Zahlen 2025. Das Internal Displacement Monitoring Centre verzeichnete 2025 mehr als 62,2 Millionen Binnenvertreibungen. Davon entfielen 32,3 Millionen auf Konflikte und Gewalt – der höchste je erfasste Wert, der erstmals über jenem der Katastrophen lag. Auf Katastrophen entfielen somit rund 29,9 Millionen. Ende 2025 lebten 82,2 Millionen Menschen als Binnenvertriebene [Q19].

Drei Hinweise zum Lesen dieser Zahlen:

1. Gezählt werden **Bewegungen**, nicht Personen. Wer zweimal fliehen muss, wird zweimal gezählt.
2. Katastrophen umfassen auch Ereignisse ohne Klimabezug wie Erdbeben. Die Zahl ist nicht mit «Klimavertreibung» gleichzusetzen.
3. Die Werte schwanken stark von Jahr zu Jahr mit der Zahl und Lage grosser Stürme. 2025 lagen 36 % der katastrophenbedingten Vertreibungen auf den Philippinen [Q19]. Ein einzelnes Jahr zeigt keinen Trend.

Die meisten Katastrophenvertriebenen kehren zurück. Die Zahl derer, die wegen Katastrophen dauerhaft vertrieben bleiben, ist deutlich kleiner als die Zahl der Bewegungen.

11.3 Was erwartet wird

Der IPCC. Mittel- bis langfristig nimmt Vertreibung zu, getrieben durch Starkniederschlag und Überschwemmungen, tropische Wirbelstürme, Dürre und zunehmend den Meeresspiegel (hohes Vertrauen). Bei fortschreitender Erwärmung kommt es zu unfreiwilliger Migration aus Regionen mit hoher Exposition und geringer Anpassungsfähigkeit (mittleres Vertrauen) [Q07, B.4.7].

Die Weltbank. Der Bericht «Groundswell» schätzt, dass bis 2050 bis zu 216 Millionen Menschen in sechs Weltregionen innerhalb ihrer Länder klimabedingt migrieren könnten: bis zu 86 Millionen in Afrika südlich der Sahara, 49 Millionen in Ostasien und im Pazifikraum, 40 Millionen in Südasien, 19 Millionen in Nordafrika, 17 Millionen in Lateinamerika und 5 Millionen in Osteuropa und Zentralasien. Rasches Handeln bei Emissionen und eine inklusive, widerstandsfähige Entwicklung könnten das Ausmass um bis zu 80 % verringern [Q29].

Diese Zahl wird häufig falsch wiedergegeben. Sie ist die **Obergrenze** eines pessimistischen Szenarios. Sie betrifft **Binnenmigration**, nicht Wanderung über Grenzen. Und sie beruht auf einem Modell, das Wasserverfügbarkeit, Ernteerträge und Meeresspiegel mit Bevölkerungsverteilung verknüpft – nicht auf beobachteten Wanderungen. Die wichtigste Aussage des Berichts ist die Spanne: Zwischen dem ungünstigsten und dem günstigsten Szenario liegt ein Faktor fünf, und er hängt von der Entwicklungs- ebenso wie von der Klimapolitik ab.

Internationale Migration. Belastbare Projektionen dazu, wie viele Menschen klimabedingt über Grenzen und Kontinente wandern werden, gibt es nicht. Vier Gründe sprechen gegen einfache Hochrechnungen:

- Fernwanderung setzt Mittel voraus. Verarmung durch Klimaschäden kann Migration deshalb auch verringern.
- Menschen ziehen überwiegend in die nächste Stadt oder das Nachbarland.
- Wanderung folgt bestehenden Netzwerken und Arbeitsmärkten, nicht den Klimagradienten.
- Die Aufnahmepolitik der Zielländer bestimmt mit, wer wohin gelangt.

Aussagen über «Hunderte Millionen Klimaflüchtlinge nach Europa» sind durch die Forschung nicht gedeckt. Ebenso wenig gedeckt ist die Annahme, das Thema sei für wohlhabende Länder ohne Belang: Zunehmende Instabilität in Herkunfts- und Transitregionen verändert die Rahmenbedingungen von Migration, auch wenn sich der Klimaanteil nicht beziffern lässt.

11.4 Klima und Konflikt

Der Kenntnisstand. Die Frage ist in der Forschung umstritten. Eine strukturierte Expertenbefragung über die Disziplinen hinweg kommt zu folgendem Ergebnis: Das Klima hat bewaffnete Konflikte innerhalb von Staaten beeinflusst. Andere Faktoren – geringe sozioökonomische Entwicklung und schwache staatliche Fähigkeiten – werden jedoch als wesentlich einflussreicher beurteilt, und die Mechanismen bleiben eine zentrale Unsicherheit. Ein sich verstärkender Klimawandel dürfte die Konfliktrisiken künftig erhöhen [Q31].

Der IPCC urteilt gleich: Nicht klimatische Faktoren sind die dominanten Treiber bestehender innerstaatlicher Gewaltkonflikte; Extremereignisse hatten in einigen Regionen einen kleinen, nachteiligen Einfluss auf Dauer, Schwere oder Häufigkeit, der statistische Zusammenhang ist jedoch schwach [Q07, B.1.7]. Verglichen mit sozioökonomischen Faktoren ist der Einfluss des Klimas auf Konflikte relativ schwach (hohes Vertrauen); bei höherer Erwärmung nimmt er zu, vor allem über Dürre und wachsende Verwundbarkeit [Q07, B.4.7].

Unter welchen Bedingungen wirkt Klimastress konfliktverschärfend? Die Literatur nennt wiederkehrend:

Bedingung	Wirkung
Hohe Abhängigkeit von Regenfeldbau und Viehhaltung	Ernteausfälle treffen Einkommen direkt
Schwache oder parteiische staatliche Institutionen	Verteilungskonflikte werden nicht geschlichtet
Bestehende Konfliktlinien zwischen Gruppen	Knappheit wird entlang dieser Linien gedeutet
Fehlende Alternativen	geringere Hemmschwelle zur Rekrutierung durch bewaffnete Gruppen
Vorangegangene Gewalt	Konflikte brechen leichter wieder aus

Wo diese Bedingungen fehlen, führen Dürren und Überschwemmungen nicht zu Gewalt. Die angemessene Beschreibung ist deshalb die eines **Risikoverstärkers**: Der Klimawandel verursacht Kriege nicht, kann aber die Wahrscheinlichkeit und Dauer von Gewalt dort erhöhen, wo die Voraussetzungen ohnehin gegeben sind.

Daraus folgt eine für die Politik wichtige Umkehrung: Massnahmen, die Entwicklung und staatliche Handlungsfähigkeit stärken, senken das Konfliktrisiko unabhängig vom Klima. Der IPCC hält fest, dass das Gewaltrisiko auf Entwicklungspfaden sinkt, die nicht klimatische Treiber verringern [Q07, B.4.7].

Wasser. Konflikte um grenzüberschreitende Flüsse sind historisch häufiger durch Verträge als durch Kriege geregelt worden. Veränderte Niederschläge und Wasserverfügbarkeit erhöhen aber das Risiko, dass Infrastrukturvorhaben wie Wasserkraftwerke in geteilten Einzugsgebieten weniger leisten als geplant und Spannungen zwischen Anrainern entstehen [Q07, B.5.3].

11.5 Besonders gefährdete Staaten

Verwundbarkeit ist geografisch gebündelt: in West-, Zentral- und Ostafrika, Südasien, Mittel- und Südamerika, kleinen Inselstaaten und der Arktis [Q07, B.2.4]. Drei Gruppen treten hervor.

Kleine Inselstaaten und tief liegende Küstenstaaten. Für einige ist der Meeresspiegelanstieg eine Bedrohung der Existenz [Q07, B.4.5]. Hier stellen sich Fragen, auf die das Völkerrecht keine fertige Antwort hat: Was geschieht mit Staatlichkeit, Seegrenzen und Staatsangehörigkeit, wenn ein Staatsgebiet unbewohnbar wird?

Fragile Staaten mit hoher Klimaexposition. Wo schwache Institutionen, Armut und Klimastress zusammentreffen, verstärken sich die Probleme gegenseitig. Klimaschäden mindern die Finanzkraft, was die Anpassung weiter erschwert [Q07, C.3.2].

Bevölkerungsreiche Deltas und Küstenstädte. Rund eine Milliarde Menschen werden mittelfristig in tief liegenden Städten und Siedlungen küstenspezifischen Gefahren ausgesetzt sein [Q07, B.4.5].

11.6 Handel und Geopolitik

Lieferketten und Ernährung. Extremereignisse wirken über Märkte und Lieferketten über Grenzen hinweg [Q07, B.5.3]. Fallen in mehreren wichtigen Anbauregionen gleichzeitig Ernten aus, neigen Staaten zu Exportbeschränkungen, die Preisanstiege verstärken. Importabhängige, zahlungsschwache Länder trifft das am härtesten.

Verschiebung der Energiegeopolitik. Die Abkehr von fossilen Brennstoffen verringert die Bedeutung von Öl- und Gasexporteuren und erhöht jene der Staaten, die kritische Rohstoffe fördern und verarbeiten. Die IEA nennt die Versorgung mit kritischen Mineralien eine akute Schwachstelle der Energiesicherheit [Q10]. Zugleich zeigen jüngste Krisen einen Gegeneffekt: Die Internationale Agentur für Erneuerbare Energien schätzt, dass der Bestand an erneuerbaren Anlagen 2025 Brennstoffkosten von rund 480 Mrd. USD vermieden hat, und bezeichnet erneuerbare Energien als Puffer gegen geopolitische Schocks [Q45]. Heimische Stromerzeugung senkt die Abhängigkeit von Importen laufender Brennstofflieferungen, schafft aber eine Abhängigkeit von importierten Anlagen und Rohstoffen.

Neue Räume. Der Rückgang des arktischen Meereises (Kap. 6.4) öffnet Schifffahrtswege und Zugang zu Rohstoffen und erhöht die strategische Bedeutung der Region. Verschiebungen von Fischbeständen in höhere Breiten erhöhen das Risiko grenzüberschreitender Bewirtschaftungskonflikte [Q07, B.5.3].

11.7 Internationale Zusammenarbeit

Das Grundproblem. Der Nutzen von Emissionsminderung kommt allen zugute, die Kosten trägt, wer mindert. Jeder Staat hat deshalb einen Anreiz, andere vorangehen zu lassen. Das Pariser Abkommen begegnet dem mit freiwilligen nationalen Beiträgen, die regelmässig überprüft und verschärft werden sollen. Es kennt keine Sanktionen.

Der Stand. - Die USA sind aus dem Pariser Abkommen ausgetreten; UNEP nennt dies als einen Grund für die verschlechterten Temperaturprojektionen 2026 [Q01]. - Die neue Runde nationaler Beiträge hat die Projektionen kaum verändert [Q01]. - Die Klimakonferenz 2025 in Belém beschloss, bis 2035 jährlich 1,3 Billionen USD für Klimaschutz zu mobilisieren und die Anpassungsfinanzierung bis 2035 zu verdreifachen. Ein von über 80 Staaten unterstützter Fahrplan für den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen gelangte nicht in den Schlusstext; dieser verweist lediglich auf den Beschluss von 2023 zur «Abkehr von fossilen Brennstoffen» [Q44].

Finanzierung als Kernkonflikt. Der Anpassungsbedarf der Entwicklungsländer wird auf rund 305 Mrd. USD pro Jahr bis 2035 geschätzt; die internationale öffentliche Anpassungsfinanzierung wuchs zwischen 2023 und 2024 um 1 Mrd. USD. Selbst die beschlossene Verdreifachung würde inflationsbereinigt nur 20–29 % des Bedarfs decken [Q42]. Die Auseinandersetzung darüber, wer für Schäden und Anpassung in Ländern aufkommt, die wenig zur Erwärmung beigetragen haben, belastet die Verhandlungen und damit auch die Bereitschaft zur Emissionsminderung.

Bewertung. Das internationale Klimaregime hat die Projektionen gegenüber der Zeit vor 2015 gesenkt, liefert aber nicht das Tempo, das die eigenen Ziele verlangen. Es ist verwundbar gegenüber dem Rückzug einzelner grosser Emittenten. Realistisch ist weniger ein grosser, bindender Weltvertrag als ein Geflecht aus Abkommen zwischen willigen Staaten, Handelsregeln mit Klimabezug und sinkenden Technologiekosten, die Klimaschutz aus Eigeninteresse attraktiv machen. Versuch 6 der Simulation untersucht, wie stark die Ergebnisse von bedingter Kooperation abhängen.

11.8 Sicherheitsrisiken

Streitkräfte und Sicherheitsbehörden behandeln den Klimawandel zunehmend als Planungsgrösse. Belegbar sind folgende Wirkungen:

- **Mehr Katastropheneinsätze** im In- und Ausland, die Mittel binden.
- **Gefährdete Infrastruktur**, darunter Stützpunkte an Küsten und Energieanlagen. Betriebsstörungen kritischer Energieinfrastruktur betrafen zuletzt jährlich über 200 Millionen Haushalte [Q10].
- **Instabilität in verwundbaren Regionen** nach dem beschriebenen Muster des Risikoverstärkers.

Darüber hinausgehende Aussagen – etwa über zwischenstaatliche Kriege um Ressourcen – sind Szenarien ohne belastbare empirische Grundlage und werden hier als spekulativ eingestuft.

11.9 Vergleich der Szenarien

Bereich	C (1,5–1,9 °C)	B2 (rund 2 °C)	A (2,5–3 °C)
Vertreibung durch Extremereignisse	nimmt zu	nimmt stärker zu	nimmt deutlich zu
Binnenmigration bis 2050	am unteren Ende der Modellspanne	dazwischen	gegen das obere Ende (bis 216 Mio. in sechs Regionen)
Dauerhafter Verlust bewohnbarer Gebiete	einzelne Inseln und Küstenabschnitte	zunehmend	verbreitet an tiefen Küsten und in Hitzeregionen
Konfliktrisiko	leicht erhöht in fragilen Kontexten	erhöht	deutlich erhöht in fragilen Kontexten; weiterhin von anderen Faktoren dominiert
Internationale Verteilungskonflikte	lösbar bei ausreichender Finanzierung	zunehmend	Anpassungsbedarf übersteigt Zahlungsbereitschaft deutlich

Die Zuordnung der Binnenmigration stützt sich auf die Szenariologik der Weltbank [Q29]; die übrigen Einträge sind qualitative Einschätzungen dieser Studie auf Grundlage der zitierten Aussagen des IPCC.

Zwischenfazit. Der Klimawandel wirkt auf Migration und Konflikte nicht als eigenständige Ursache, sondern über die Verschlechterung von Lebensgrundlagen in Gesellschaften, die bereits unter Druck stehen. Die stärksten Hebel liegen deshalb neben der Emissionsminderung in Entwick-

lung, Institutionen und Anpassung in den verwundbaren Regionen selbst. Für wohlhabende Länder ist deren Finanzierung keine reine Solidaritätsleistung, sondern auch eine Investition in die eigene Stabilität.

12 Politik und Demokratie

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Dieses Kapitel stützt sich stärker als die übrigen auf sozialwissenschaftliche Befunde mit begrenzter Übertragbarkeit. Wo Aussagen über die künftige Entwicklung politischer Systeme gemacht werden, handelt es sich um begründete Vermutungen, nicht um Projektionen.

12.1 Warum Klimapolitik politisch schwierig ist

Klimapolitik verlangt Entscheidungen, die drei Eigenschaften verbinden, von denen jede einzelne die politische Durchsetzung erschwert.

Zeitlich: Die Kosten fallen heute an, der Nutzen überwiegend in Jahrzehnten. Wahlperioden sind kürzer als die Wirkungszeit der Massnahmen.

Räumlich: Der Nutzen einer vermiedenen Tonne CO_2 verteilt sich auf die ganze Welt, die Kosten trägt das handelnde Land.

Sozial: Die Kosten treffen bestimmte Branchen, Regionen und Haushalte konzentriert und sichtbar; der Nutzen verteilt sich breit und ist kaum einem Einzelnen zuzuordnen. Konzentrierte Verlierer organisieren sich leichter als verstreute Gewinner.

Diese Struktur erklärt, weshalb der Abstand zwischen bekundeten Zielen und umgesetzter Politik so hartnäckig ist (Kap. 7.3). Sie ist kein Zeichen besonderer Unvernunft, sondern die erwartbare Folge der Anreize.

12.2 Gesellschaftliche Akzeptanz

Zustimmung ist höher als angenommen

Eine repräsentative Befragung von knapp 130 000 Menschen in 125 Ländern ergab: 69 % der Weltbevölkerung erklären sich bereit, 1 % ihres Einkommens für den Klimaschutz beizutragen, 86 % befürworten klimafreundliche soziale Normen, und 89 % verlangen mehr politisches Handeln. In besonders verwundbaren Ländern ist die Bereitschaft überdurchschnittlich hoch [Q43].

Dieselbe Studie belegt eine systematische Fehleinschätzung: Menschen unterschätzen weltweit, wie gross die Bereitschaft ihrer Mitbürger ist. Da die meisten ihr eigenes Handeln davon abhängig machen, was andere tun, bremst diese Wahrnehmungslücke das Engagement [Q43].

Grundsätzliche und konkrete Zustimmung

Aus hoher allgemeiner Zustimmung folgt keine Zustimmung zu einzelnen Massnahmen. Bekundete Zahlungsbereitschaft in Umfragen ist zudem nicht mit dem Verhalten an der Urne oder im Alltag gleichzusetzen. Ob eine konkrete Massnahme getragen wird, hängt nach dem Stand der Forschung vor allem von drei Wahrnehmungen ab: ob sie als **wirksam** gilt, ob die **Lastenverteilung** als gerecht empfunden wird und was sie den **eigenen Haushalt** kostet. Der IPCC hält fest, dass

Massnahmen, die mit vorherrschenden Vorstellungen und Werten übereinstimmen, leichter angenommen werden [Q08, E.3.3] und dass die ungleiche Verteilung von Emissionen und Politikfolgen die Akzeptanz beeinflusst [Q08, D.3.3].

Daraus folgen drei Gestaltungsregeln:

1. **Sichtbare Rückverteilung.** Abgaben werden eher akzeptiert, wenn die Einnahmen erkennbar an die Bevölkerung zurückfliessen. Verteilungswirkungen einer CO_2-Bepreisung lassen sich so ausgleichen [Q08, E.4.2].
2. **Verfügbare Alternativen.** Verteuerung ohne erreichbare Ausweichmöglichkeit – etwa höhere Treibstoffpreise in Regionen ohne öffentlichen Verkehr – wird als Strafe erlebt.
3. **Beteiligung.** Verfahren, die Betroffene einbeziehen, erhöhen die Legitimität; der IPCC nennt Kommissionen für einen gerechten Übergang als Beispiel [Q08, D.3.3].

Abwehrreaktionen

Mehrere Länder haben erlebt, dass einzelne Massnahmen heftigen Widerstand auslösten, vor allem Treibstoffabgaben und Vorschriften zu Heizungen und Fahrzeugen. Solche Reaktionen richten sich oft weniger gegen das Klimaziel als gegen die empfundene Ungerechtigkeit der Lastenverteilung und gegen den Eindruck, übergangen zu werden. Sie können dennoch die Klimapolitik insgesamt zurückwerfen.

12.3 Wirtschaftliche Interessen

Gebundenes Kapital. Die Emissionen, die bestehende und geplante fossile Infrastruktur über ihre Lebensdauer verursachen würde, übersteigen das CO_2-Budget für 1,5 °C und entsprechen etwa jenem für 2 °C [Q08, B.7]. Die Klimaziele einzuhalten bedeutet demnach, Anlagen vorzeitig stillzulegen oder nachzurüsten. Eigentümer, Beschäftigte, Standortregionen und förderabhängige Staatshaushalte haben ein unmittelbares Interesse, dies zu verhindern oder zu verzögern.

Subventionen. Fossile Energieträger werden weiterhin in erheblichem Umfang verbilligt. Der Internationale Währungsfonds beziffert die direkten (expliziten) Subventionen für 2024 auf 725 Mrd. USD oder 0,6 % der Weltwirtschaftsleistung. Die nicht eingepreisten Umwelt- und Gesundheitskosten – vom Fonds «implizite Subventionen» genannt – schätzt er auf 6,7 Billionen USD oder 5,8 %, zu drei Vierteln aus Luftverschmutzung und Klimawandel [Q47, Zusammenfassung]. Zusammen ergibt das die oft zitierten rund 7,4 Billionen USD. Der grössere Teil davon ist keine Subvention im haushaltsrechtlichen Sinn, sondern eine Schätzung nicht verrechneter Schäden; die Zahl wird oft missverständlich wiedergegeben. Nach derselben Quelle erreichen von jedem Dollar expliziter Treibstoffsubvention nur 8 Cent das ärmste Fünftel der Haushalte; ein Abbau der expliziten Subventionen würde die CO_2-Emissionen bis 2035 um 6 % unter den Referenzverlauf senken [Q47, Zusammenfassung]. Der IPCC hält fest, dass der Abbau fossiler Subventionen Emissionen senken und öffentliche Einnahmen verbessern würde [Q08, E.4.2]. Politisch ist er schwierig, weil er sofort spürbare Preisanstiege auslöst.

Einflussnahme. Dass betroffene Branchen versuchen, Regulierung zu beeinflussen, ist in pluralistischen Systemen üblich und legitim. Problematisch wird es, wo dies durch gezielte Irreführung über den Stand der Wissenschaft geschieht. Die Klimakonferenz 2025 nahm erstmals eine Ver-

pflichtung auf, die Integrität von Informationen zu fördern und Falschdarstellungen entgegenzuwirken [Q44]. Eine quantitative Aussage über das Ausmass solcher Einflussnahme macht diese Studie nicht.

Neue Interessen. Mit dem Wachstum der erneuerbaren Energien, der Elektromobilität und der zugehörigen Industrien entstehen Unternehmen, Beschäftigte und Regionen mit einem wirtschaftlichen Interesse am Fortgang der Transformation. Über 90 % der 2025 zugebauten erneuerbaren Kraftwerkskapazität war günstiger als die günstigste neue fossile Alternative [Q45]. Je weiter dieser Prozess fortschreitet, desto stärker verschiebt sich das Kräfteverhältnis.

12.4 Internationale Verträge

Die Entwicklung des internationalen Klimaregimes ist in Kap. 11.7 dargestellt. Für die Innenpolitik sind zwei Punkte wesentlich.

Glaubwürdigkeit. Klimapolitik im eigenen Land lässt sich leichter begründen, wenn andere Staaten ebenfalls handeln. Der Rückzug grosser Emittenten schwächt dieses Argument.

Wettbewerb. Die Sorge, dass energieintensive Produktion in Länder mit schwächeren Auflagen abwandert, ist ein zentrales Hindernis für strenge nationale Politik. Grenzausgleichsmechanismen, die Importe nach ihrem CO_2-Gehalt belasten, sind eine Antwort darauf; sie schaffen ihrerseits handelspolitische Konflikte.

12.5 Staatliche Handlungsfähigkeit

Selbst bei politischem Willen und Finanzierung scheitert die Umsetzung oft an der Verwaltung: Bewilligungsverfahren, Netzanschlüsse, Fachkräftemangel. Die IEA stellt fest, dass die Investitionen in die Stromerzeugung seit 2015 um fast 70 % auf rund 1 Billion USD pro Jahr gestiegen sind, jene in die Netze aber weniger als halb so schnell auf 400 Mrd. USD, und nennt langsame Bewilligungsverfahren als Hemmnis [Q10]. Die Engpässe der Energiewende liegen zunehmend bei der Umsetzung.

Zugleich beansprucht der Klimawandel selbst staatliche Kapazität: Katastrophenhilfe, Wiederaufbau und Anpassung konkurrieren mit anderen Aufgaben um Geld und Personal. Staaten mit geringer Finanzkraft geraten in eine Lage, in der die Bewältigung der Schäden die Mittel für Vorsorge aufzehrt (Kap. 9.4).

12.6 Ungleichheit zwischen Ländern

Die internationale Klimapolitik ist von drei Asymmetrien geprägt:

Asymmetrie	Inhalt
Verursachung	Die historischen Emissionen stammen überwiegend aus den Industriestaaten; die heutigen Zuwächse aus Schwellenländern
Betroffenheit	Die verwundbarsten Regionen haben wenig beigetragen (Kap. 10.6)

Asymmetrie	Inhalt
Fähigkeit	Kapital für Klimaschutz und Anpassung ist dort am teuersten, wo es am dringendsten gebraucht wird

Der IPCC hält fest, dass die Investitionslücken für Entwicklungsländer am grössten sind [Q08, E.5.1]. Aus diesen Asymmetrien speisen sich die Forderungen nach Finanztransfers und nach Entschädigung für Verluste und Schäden. Dass die Zusagen weit hinter dem Bedarf zurückbleiben [Q42], untergräbt das Vertrauen zwischen den Staatengruppen.

Die Schwellenländer bestimmen den künftigen Emissionsverlauf: Die Dynamik der Energiemärkte wird laut IEA zunehmend von Indien, Südostasien, dem Nahen Osten, Lateinamerika und Afrika geprägt [Q10]. Klimaschutz in Industriestaaten bleibt notwendig, entscheidet das Ergebnis aber nicht allein.

12.7 Vertrauen, Polarisierung, Radikalisierung

Hier ist die Datenlage am dünnsten. Die folgenden Punkte sind als plausible Mechanismen zu lesen.

Vertrauen in Institutionen wird durch den Klimawandel auf zwei entgegengesetzten Wegen belastet. Wer die Bedrohung für gross hält, erlebt das langsame Handeln als Versagen. Wer die Massnahmen für überzogen hält, erlebt sie als Bevormundung. Beide Erfahrungen können das Vertrauen in die Problemlösungsfähigkeit der Politik mindern.

Polarisierung. In einigen Ländern ist die Haltung zur Klimapolitik zu einem Merkmal politischer Lagerzugehörigkeit geworden. Dort wird über Massnahmen weniger nach ihrem Inhalt als nach ihrer Herkunft geurteilt. Die weltweite Umfrage zeigt allerdings, dass die Zustimmung zu mehr Klimaschutz in der Breite hoch ist [Q43]; Polarisierung ist kein allgemeines Gesetz, sondern eine Eigenschaft bestimmter politischer Systeme und Medienlandschaften.

Radikalisierung. Protestformen, die bewusst Regeln verletzen, haben in mehreren Ländern zugenommen, ebenso heftige Gegenbewegungen. Über das Ausmass und die Wirkung gibt es keine belastbaren vergleichenden Daten. Ob regelverletzender Protest die Unterstützung für Klimapolitik erhöht oder senkt, ist in der Forschung nicht entschieden.

Rechtsweg. Klimaklagen nehmen zu und haben in einigen Fällen Ergebnis und Ambition der Klimapolitik beeinflusst [Q08, E.3.3]. Gerichte werden damit zu Akteuren der Klimapolitik – was die einen als Durchsetzung von Grundrechten, die anderen als Verschiebung politischer Entscheidungen zur Justiz bewerten.

12.8 Setzt der Klimawandel Demokratien unter Druck?

Die Frage lässt sich nicht mit Daten beantworten, wohl aber strukturieren. Vier Wege sind denkbar, auf denen Druck entsteht:

1. **Leistungsdruck.** Demokratien beziehen Zustimmung auch daraus, dass sie Probleme lösen. Häufen sich Schäden, die der Staat weder verhindert noch ausreichend ausgleicht, leidet diese Zustimmung.

2. **Verteilungsdruck.** Sowohl Klimaschäden als auch Klimapolitik erzeugen Gewinner und Verlierer. Gelingt der Ausgleich nicht, entstehen dauerhafte Konfliktlinien – zwischen Stadt und Land, Generationen, Einkommensgruppen.
3. **Krisenmodus.** Häufigere Notlagen begünstigen Entscheidungen der Exekutive unter Zeitdruck und mit eingeschränkter Beratung. Wird der Ausnahmefall zur Regel, verschiebt sich das Gewicht zwischen den Gewalten.
4. **Äusserer Druck.** Instabilität in anderen Weltregionen, Preissprünge und Migration wirken auf die Innenpolitik zurück und können Abschottung begünstigen.

Dem stehen Eigenschaften gegenüber, die Demokratien für langfristige Probleme geeignet machen: freie Information und Wissenschaft, die Möglichkeit, Fehler zu korrigieren, und Verfahren, die Entscheidungen Legitimität verleihen. Die gelegentlich geäusserte These, autoritäre Systeme seien für Klimapolitik besser geeignet, ist empirisch nicht gestützt; die Fähigkeit, Massnahmen rasch anzuordnen, garantiert weder deren Qualität noch deren Bestand.

Einschätzung dieser Studie. In Szenario C bleiben die Belastungen in einem Bereich, den gefestigte Demokratien bewältigen können, sofern die Verteilungsfragen der Transformation gelöst werden. In Szenario A verschieben sich die Belastungen von der Transformation zu den Schäden: wachsende Ausgaben für Schadensbewältigung, wiederkehrende Notlagen und stärkerer äusserer Druck. Das Risiko für demokratische Systeme liegt dann weniger in einem plötzlichen Bruch als in einer schrittweisen Überforderung staatlicher Leistungsfähigkeit. Diese Einschätzung ist eine Wertung auf Grundlage der beschriebenen Mechanismen und nicht quantifizierbar.

12.9 Folgerungen für die Gestaltung von Klimapolitik

Aus dem Kapitel ergeben sich Anforderungen, die in den Kriterienraster von Kapitel 19 einfliessen:

1. **Verteilungswirkung von Anfang an mitplanen**, nicht nachträglich korrigieren.
2. **Alternativen vor Verboten und Verteuerung** bereitstellen.
3. **Verlässlichkeit über Wahlperioden hinweg** herstellen, etwa durch gesetzlich verankerte Ziele mit unabhängiger Überprüfung.
4. **Umsetzungsfähigkeit der Verwaltung** als eigenen Engpass behandeln.
5. **Die tatsächliche Zustimmung sichtbar machen**, um die Wahrnehmungslücke zu verkleinern.
6. **Massnahmen bevorzugen, die unmittelbaren lokalen Nutzen stiften** – saubere Luft, tiefere Energiekosten, Versorgungssicherheit –, weil sie nicht vom Vertrauen in das Handeln anderer Staaten abhängen.

13 Technologie und Anpassung

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Jede Option wird nach fünf Kriterien beurteilt: Wirksamkeit, Kosten, Skalierbarkeit, Umweltfolgen und technische Reife. Die zusammenfassenden Einstufungen in Kap. 13.12 sind Wertungen dieser Studie auf Grundlage der zitierten Befunde.

13.1 Ausgangspunkt

Der IPCC schätzt, dass Massnahmen mit Kosten bis 100 USD je Tonne CO_2-Äquivalent die weltweiten Emissionen bis 2030 mindestens auf die Hälfte des Standes von 2019 senken könnten. Mehr als die Hälfte dieses Potenzials kostet weniger als 20 USD je Tonne. Die grössten günstigen Beiträge liefern Solar- und Windenergie, Energieeffizienz, der Erhalt natürlicher Ökosysteme und die Verringerung von Methanemissionen aus Kohle, Öl, Gas und Abfall [Q08, C.12.1].

Die wesentlichen Technologien sind also vorhanden und überwiegend erschwinglich. Die Engpässe liegen bei Geschwindigkeit, Infrastruktur, Finanzierung und Akzeptanz. Das Kapitel prüft, wo diese Aussage zutrifft und wo sie zu optimistisch ist.

13.2 Erneuerbare Energien

Kosten. Zwischen 2010 und 2019 sanken die Stückkosten der Solarenergie um 85 % und jene der Windenergie um 55 % [Q08, B.4.1]. Nach den Kostendaten der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien für 2025 lagen die Gestehungskosten neuer Anlagen im weltweiten Mittel bei 44 USD je Megawattstunde für Photovoltaik, 33 USD für Wind an Land und 78 USD für Wind auf See. Mehr als 90 % der 2025 zugebauten erneuerbaren Grosskapazität war günstiger als die günstigste neue fossile Alternative [Q45].

Ausbau. 2024 erreichte der Zubau erneuerbarer Energien zum 23. Mal in Folge einen Höchstwert. Im Szenario der angekündigten Politik steigt die Kapazität bis 2030 auf das 2,6-Fache von 2022 und verfehlt damit das Ziel der Verdreifachung knapp [Q10].

Grenzen. - *Schwankende Erzeugung.* Sonne und Wind liefern nicht nach Bedarf. Mit steigendem Anteil sinkt der Marktwert jeder weiteren Anlage, und der Aufwand für Ausgleich wächst. Abregelungen und negative Preise nehmen bereits zu [Q10]. Die Gestehungskosten einer einzelnen Anlage bilden diese Systemkosten nicht ab. - *Netze.* Der Netzausbau hält nicht Schritt: Die Investitionen in die Erzeugung sind seit 2015 um fast 70 % gewachsen, jene in die Netze weniger als halb so schnell [Q10]. - *Fläche und Rohstoffe.* Der Flächenbedarf führt zu Konflikten mit Landschafts- und Naturschutz; die Lieferketten für Module und kritische Mineralien sind stark konzentriert [Q10]. - *Strom ist nicht alles.* Ein überwiegend erneuerbares Stromsystem gilt als zunehmend machbar; die Versorgung des gesamten Energiesystems ist anspruchsvoller [Q08, C.4.3].

Beurteilung. Die wirksamste und günstigste Einzeloption, in grossem Massstab bewährt. Ihr Beitrag wird nicht durch die Erzeugungskosten begrenzt, sondern durch Netze, Speicher, Bewilligungen und Flächen.

13.3 Energiespeicherung und Flexibilität

Die Kosten von Lithium-Ionen-Batterien sanken 2010–2019 um 85 % [Q08, B.4.1]. Batterien eignen sich für den Ausgleich über Stunden und haben sich im Tagesgang wirtschaftlich etabliert.

Ungelöst im grossen Massstab ist der Ausgleich über Wochen und Jahreszeiten, der in Ländern mit kalten, dunklen Wintern nötig ist. Dafür kommen in Frage: Speicherwasserkraft, wo die Topografie sie erlaubt; synthetische Brennstoffe und Wasserstoff aus überschüssigem Strom; steuerbare Kraftwerke; grossräumiger Stromaustausch; und verschiebbare Nachfrage. Der IPCC hält fest, dass letztlich ein breites Bündel solcher Optionen nötig sein wird [Q08, C.4.3].

Beurteilung. Kurzzeitspeicher sind reif und günstig. Langzeitspeicher sind technisch verfügbar, aber teuer und mit hohen Umwandlungsverlusten verbunden. Für Länder wie die Schweiz ist der Winter die eigentliche Herausforderung (Kap. 15).

13.4 Elektrifizierung

Strom lässt sich emissionsfrei erzeugen und in Motoren und Wärmepumpen wesentlich effizienter nutzen als Brennstoffe. Die Strategie lautet deshalb: Strom dekarbonisieren und möglichst viele Anwendungen auf Strom umstellen. Die IEA spricht vom Beginn eines «Zeitalters der Elektrizität»; der Strombedarf wächst in allen Szenarien deutlich schneller als der Gesamtenergiebedarf, bis 2035 um rund 40 % [Q10]. Der Einsatz von Elektrofahrzeugen ist 2010–2019 auf mehr als das Hundertfache gestiegen [Q08, B.4.1].

Grenzen. Schwer zu elektrifizieren sind Hochtemperaturprozesse der Industrie, die Stahl-, Zement- und Chemieproduktion, der Langstrecken-Luftverkehr und die Hochseeschifffahrt. Hier braucht es Wasserstoff, synthetische Brennstoffe oder CO_2-Abscheidung.

Beurteilung. Für Gebäudewärme und Strassenverkehr reif und im Betrieb meist günstiger; die Anschaffungskosten und die Ladeinfrastruktur sind die Hürden. Der Erfolg hängt davon ab, dass der zusätzliche Strom sauber ist und die Netze ihn transportieren können.

13.5 Energieeffizienz und Nachfrage

Effizienz. Die jährliche Verbesserung der Energieeffizienz liegt im Szenario der angekündigten Politik bei 2 %, weit unter dem international vereinbarten Ziel von 4 % [Q10]. Bei Klimaanlagen sind in allen Märkten deutlich effizientere Geräte ohne oder mit geringen Mehrkosten erhältlich, als im Durchschnitt gekauft werden [Q10]. Effizienz ist häufig die günstigste Massnahme und wird dennoch nicht ausgeschöpft, weil Investor und Nutzniesser oft nicht dieselben sind – typisch bei Mietwohnungen – und weil die Einsparung unsichtbar bleibt.

Nachfrage. Umfassende nachfrageseitige Strategien könnten die Emissionen in den Bereichen Gebäude, Landverkehr und Ernährung bis 2050 um 40–70 % gegenüber einem Referenzverlauf senken. Verhaltensänderungen allein können rasch mindestens 5 % beitragen, mehr in Verbindung mit besserer Infrastruktur. Menschen mit hohem sozioökonomischem Status haben das grösste Minderungspotenzial [Q08, C.10.2].

Beurteilung. Hohes, günstiges Potenzial mit gesundheitlichem und finanziellem Zusatznutzen. Die Hürden sind institutionell und verhaltensbezogen. Ein Teil der Einsparung wird erfahrungsgemäss durch Mehrverbrauch aufgezehrt, wenn Energie günstiger wird.

13.6 Kernenergie

Stand. Die Kernenergieerzeugung erreichte 2024 einen Höchstwert. Über 40 Länder führen sie in ihren Strategien; mehr als 70 GW sind im Bau, einer der höchsten Werte seit 30 Jahren. Die IEA nennt Innovation, Kostenkontrolle und bessere Planbarkeit der Erträge als Voraussetzungen und verweist auf die hohe Marktkonzentration bei Bau, Uranförderung und Anreicherung [Q10].

Für die Kernenergie spricht: sehr geringe Emissionen im Betrieb, steuerbare Erzeugung unabhängig vom Wetter, geringer Flächenbedarf. In Systemen mit hohem Anteil schwankender Erzeugung hat steuerbare, emissionsarme Leistung im Winter einen besonderen Wert.

Dagegen spricht: hohe Anfangsinvestitionen und – in westlichen Ländern – wiederholte Kosten- und Terminüberschreitungen bei Neubauten. Der IPCC stellt fest, dass grossskalige Technologien mit wenig Lernmöglichkeiten kaum Kostensenkungen erzielt haben [Q08, B.4.1], und nennt die Abhängigkeit von Technologien mit hohen Anfangsinvestitionen als Umsetzungsrisiko [Q08, C.3.6]. Hinzu kommen lange Bauzeiten, die Endlagerfrage, Unfallrisiken mit geringer Wahrscheinlichkeit und hohem Schadensausmass sowie Fragen der Weiterverbreitung. Kleine modulare Reaktoren sollen die Kostenprobleme über Serienfertigung lösen; dieser Nachweis steht im kommerziellen Massstab noch aus.

Beurteilung. Die Frage «Kernenergie ja oder nein» ist falsch gestellt; drei Fälle sind zu unterscheiden. Der **Weiterbetrieb** bestehender, sicherer Anlagen gehört zu den günstigen Formen emissionsarmer Stromerzeugung. **Neubauten** sind in Ländern mit funktionierender Industrie und Finanzierung eine Option, tragen wegen der Bauzeiten aber kaum zu den Zielen für 2035 bei und sind dort, wo erneuerbare Energien und Speicher günstig verfügbar sind, wirtschaftlich im Nachteil. **Neue Reaktortypen** sind eine Forschungs- und Entwicklungsoption für die Zeit nach 2040. Eine ideologiefreie Strategie hält die Option offen, ohne den Ausbau der schneller verfügbaren Alternativen von ihr abhängig zu machen.

13.7 CO_2-Abscheidung und -Entnahme

Zwei Dinge sind zu unterscheiden. **Abscheidung an der Quelle** (CCS) verhindert, dass CO_2 aus einem Kraftwerk oder einer Fabrik in die Atmosphäre gelangt. **Entnahme** (CDR) holt bereits emittiertes CO_2 zurück, durch Aufforstung, Bodenbewirtschaftung, Bioenergie mit Abscheidung oder direkte Abscheidung aus der Luft.

Notwendigkeit. Der IPCC bezeichnet CO_2-Entnahme als unvermeidlich, um schwer vermeidbare Restemissionen auszugleichen und netto null zu erreichen [Q08, C.11]. Der ehrgeizigste Pfad von UNEP setzt rund 320 Gt Entnahme im Lauf des Jahrhunderts voraus [Q01].

Stand. Ende Juli 2026 waren weltweit 113 kommerzielle CCS-Anlagen mit einer Abscheidekapazität von 68 Millionen Tonnen pro Jahr in Betrieb; weitere 56 Millionen Tonnen sind im Bau. Seit 1996 wurden insgesamt mehr als 400 Millionen Tonnen dauerhaft gespeichert. Die Kapazität ist nicht mit der tatsächlich abgeschiedenen Menge gleichzusetzen [Q46].

Grössenvergleich. 68 Millionen Tonnen entsprechen rund 0,16 % der jährlichen CO_2-Emissionen von 43,3 Gt [Q03]. Die für Szenario C1 nötige Entnahme von im Mittel mehreren Gigatonnen pro Jahr liegt um etwa zwei Grössenordnungen über der heutigen Abscheidekapazität – und diese dient überwiegend der Abscheidung an Industriequellen, nicht der Entnahme aus der Atmosphäre. Das ist eine eigene Rechnung auf Grundlage der genannten Quellenangaben.

Kosten und Reife. Abscheidung ist in der Gasaufbereitung ausgereift, in Stromerzeugung, Zement und Chemie weniger. Das geologische Speicherpotenzial wird auf rund 1000 Gt geschätzt und ist global nicht der Engpass, kann es aber regional sein [Q08, C.4.6]. Die direkte Abscheidung aus der Luft kostet 100–300 USD je Tonne; Aufforstung ist günstiger und reifer, speichert aber nur über Jahrzehnte bis Jahrhunderte und ist durch Brände und Dürren gefährdet [Q08, C.11.1].

Umweltfolgen. Grossflächige Aufforstung auf natürlicherweise unbewaldetem Land und schlecht umgesetzte Bioenergie können Biodiversität, Wasser- und Ernährungssicherheit beeinträchtigen [Q07, B.5.4].

Beurteilung. Für Restemissionen aus Zement, Chemie und Landwirtschaft notwendig. Als Ersatz für Emissionsminderung ungeeignet: zu teuer, zu langsam skalierbar, und mit dem Risiko verbunden, dass die Aussicht auf spätere Entnahme heutige Minderung verzögert. Die Rückkehr auf 1,5 °C in Szenario C1 ist deshalb der unsicherste Teil dieses Pfades.

Abgrenzung. Verfahren, die das Sonnenlicht abschwächen, um die Erde zu kühlen, werden in dieser Studie nicht als Handlungsoption bewertet. Sie beseitigen die Ursache nicht, lassen die Ozeanversauerung unverändert (Kap. 8.5) und werfen ungelöste Fragen der internationalen Steuerung auf.

13.8 Landwirtschaft und Landnutzung

Die Landnutzung ist zugleich Emissionsquelle, Senke und Opfer des Klimawandels.

- **Entwaldung** verursacht 2026 Emissionen von netto 5,1 Gt CO_2 aus Landnutzungsänderungen; Wiederbewaldung gleicht etwa die Hälfte der Emissionen dauerhafter Entwaldung aus [Q03]. Der Erhalt bestehender Wälder gehört zu den günstigsten Massnahmen [Q08, C.12.1].
- **Methan und Lachgas** aus Tierhaltung, Reisanbau und Düngung lassen sich technisch nur teilweise mindern. Ein Teil bleibt als Restemission.
- **Ernährung.** Nachfrageseitige Änderungen bei der Ernährung zählen zu den Bereichen mit hohem Potenzial [Q08, C.10.2], sind aber kulturell und politisch heikel.
- **Anpassung.** Hitze- und trockenheitstolerante Sorten, effizientere Bewässerung, Bodenschutz und Vielfalt im Anbau mindern Ertragsrisiken. Kleinbauern in mehreren Weltregionen haben weiche Anpassungsgrenzen bereits erreicht [Q07, C.3.1].

Beurteilung. Der Schutz bestehender Wälder und Moore ist hochwirksam und günstig, scheitert aber oft an Durchsetzung und an den Einkommensinteressen vor Ort. Technische Minderung in der Tierhaltung ist begrenzt.

13.9 Gebäude

Gebäude sind langlebig; was heute gebaut oder saniert wird, bestimmt den Energiebedarf bis über 2050 hinaus. Drei Hebel wirken zusammen: bessere Gebäudehülle, Ersatz fossiler Heizungen durch Wärmepumpen oder Fernwärme, und Eigenerzeugung auf dem Dach. Sanierung dient zugleich der Anpassung, weil gedämmte Gebäude mit aussenliegendem Sonnenschutz im Sommer kühler bleiben.

Hürden. Hohe Anfangsinvestitionen bei langer Amortisation, geteilte Anreize zwischen Eigentümern und Mietenden, Mangel an Fachkräften, und die Frage, wer die Kosten trägt – Eigentümer, Mieterschaft oder die öffentliche Hand.

Beurteilung. Technisch reif, wirksam, mit Zusatznutzen für Komfort und Gesundheit. Das Tempo wird durch Kapital, Fachkräfte und Mietrecht begrenzt, nicht durch Technik.

13.10 Anpassung: Hitze, Hochwasser, Stadtplanung

Hitzeschutz. Hitzeaktionspläne mit Frühwarn- und Reaktionssystemen sind wirksam [Q07, C.2.11]. Städtebaulich wirken Bäume und Grünflächen, entsiegelte Böden, helle Oberflächen, Wasserflächen und Frischluftschneisen. Klimaanlagen schützen wirksam, erhöhen aber Strombedarf und Spitzenlast [Q10] und geben Abwärme in den Stadtraum ab.

Hochwasserschutz. Technische Schutzbauten, Rückhalteräume, mehr Raum für Flüsse, angepasste Bauweise und Frühwarnung. Am wirksamsten und am schwierigsten durchzusetzen ist die Raumplanung, die gefährdete Flächen von Bebauung freihält.

Küsten. Schutzbauten, Anpassung der Nutzung und geordneter Rückzug. Für dicht besiedelte, wohlhabende Küsten ist Schutz über dieses Jahrhundert finanzierbar; für arme und dünn besiedelte Küsten oft nicht.

Grenzen und Risiken. Anpassung ist bisher überwiegend kleinräumig und schrittweise [Q07, C.1.2]. Sie kann scheitern oder schaden: Schutzbauten können zu mehr Bebauung im Gefahrengebiet verleiten und im Versagensfall grössere Schäden verursachen. Der IPCC sieht zunehmende Belege für solche Fehlanpassung und empfiehlt flexible, sektorübergreifende und langfristige Planung [Q07, C.4]. Naturbasierte Massnahmen verlieren oberhalb von 1,5 °C teilweise ihre Wirkung, weil die Ökosysteme selbst an Grenzen stossen [Q07, C.3.3].

Beurteilung. Anpassung ist in jedem Szenario nötig und oft sehr rentabel. Sie ist kein Ersatz für Emissionsminderung: Ihre Kosten steigen mit der Erwärmung, ihre Wirksamkeit sinkt.

13.11 Anpassung in besonders gefährdeten Regionen

In den verwundbarsten Regionen fehlt es weniger an Wissen als an Geld und Institutionen. Der Anpassungsbedarf der Entwicklungsländer von rund 305 Mrd. USD pro Jahr bis 2035 steht internationalen öffentlichen Mitteln gegenüber, die zuletzt um 1 Mrd. USD pro Jahr wuchsen [Q42]. Als wirksam gelten Frühwarnsysteme, soziale Sicherungssysteme, die nach Katastrophen rasch zahlen, klimaangepasste Landwirtschaft, Wasserinfrastruktur und Gesundheitsversorgung. Die Welt-

bank zeigt, dass rasche, breit verteilte Entwicklung mit Zugang zu Grundversorgung die Armutswirkung des Klimawandels halbieren kann [Q40]. Entwicklung und Anpassung sind in diesen Regionen weitgehend dasselbe.

13.12 Zusammenfassende Beurteilung

Option	Wirksamkeit	Kosten	Skalierbarkeit	Umweltfolgen	Reife
Solar- und Windenergie	sehr hoch	tief	hoch; begrenzt durch Netze und Flächen	mässig (Fläche, Rohstoffe)	ausgereift
Kurzzeitspeicher (Batterien)	hoch für Tagesausgleich	stark gesunken	hoch	mässig (Rohstoffe)	ausgereift
Langzeitspeicher, Wasserstoff	nötig für Restbedarf	hoch	mittel	gering bis mässig	frühe Marktphase
Elektrifizierung von Wärme und Verkehr	hoch	Anschaffung hoch, Betrieb tief	hoch; begrenzt durch Netze	gering	ausgereift
Energieeffizienz	hoch	meist tief oder negativ	hoch; institutionell gebremst	sehr gering	ausgereift
Kernenergie – Weiterbetrieb	mittel	tief	begrenzt auf Bestand	Abfall, Restrisiko	ausgereift
Kernenergie – Neubau	mittel bis hoch	hoch, unsicher	langsam	Abfall, Restrisiko	ausgereift; neue Typen in Entwicklung
CO_2-Abscheidung an Industriequellen	mittel, für Restemissionen nötig	mittel bis hoch	langsam	gering bei guter Speicherung	je nach Branche
CO_2-Entnahme aus der Luft	langfristig nötig	sehr hoch	sehr langsam	Energie- und Flächenbedarf	Pilotphase
Wald- und Moorschutz	hoch	tief	hoch; politisch gebremst	positiv	ausgereift
Aufforstung	mittel	tief bis mittel	mittel; Flächenkonkurrenz	je nach Umsetzung positiv oder negativ	ausgereift
Gebäudesanierung	hoch	Anfangskosten hoch	langsam (Fachkräfte)	gering	ausgereift
Hitze- und Hochwasserschutz	hoch gegen Schäden	meist rentabel	hoch	je nach Bauweise	ausgereift

Drei Schlussfolgerungen.

1. **Die Hauptlast können reife, günstige Technologien tragen.** Erneuerbarer Strom, Elektrifizierung, Effizienz und Waldschutz decken den grössten Teil der bis 2035 nötigen Minderung ab.
2. **Die schwierigen Reste verlangen teure Technologien.** Industrieprozesse, Langstreckenverkehr, Winterversorgung und Restemissionen brauchen Wasserstoff, Langzeitspeicher, steuerbare emissionsarme Kraftwerke und CO_2-Abscheidung. Sie müssen jetzt entwickelt werden, damit sie nach 2035 verfügbar sind.

3. **Vorsicht bei Pfaden, die auf noch nicht verfügbare Technologie setzen.** Je mehr ein Pfad auf künftige CO_2-Entnahme baut, desto grösser das Risiko, dass er nicht eintritt. Robust ist eine Strategie, die die Emissionen mit verfügbaren Mitteln so früh wie möglich senkt.

14 Vertiefung Europa

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Hauptquellen: Europäische Klimarisikobewertung der Europäischen Umweltagentur [Q17], Europäischer Klimazustandsbericht 2025 von Copernicus und WMO [Q18], IPCC [Q06, Q07]. Die regionale Gliederung in Kap. 14.9 ist weniger dicht belegt als die übrigen Abschnitte und entsprechend gekennzeichnet.

14.1 Europa im Überblick

Europa ist der sich am schnellsten erwärmende Kontinent [Q17, Q18]. Die Europäische Umweltagentur kommt in ihrer ersten gesamteuropäischen Klimarisikobewertung zu drei Kernaussagen [Q17]:

1. Sie identifiziert **36 grosse Klimarisiken** in fünf Bereichen: Ökosysteme, Ernährung, Gesundheit, Infrastruktur sowie Wirtschaft und Finanzen.
2. Viele dieser Risiken haben bereits ein **kritisches Niveau** erreicht. Mehr als die Hälfte verlangt jetzt mehr Handeln, acht sind besonders dringlich – vor allem der Schutz von Ökosystemen, der Schutz von Menschen vor Hitze, der Schutz von Menschen und Infrastruktur vor Überschwemmungen und Waldbränden und die Tragfähigkeit europäischer Solidaritätsmechanismen.
3. Politik und Anpassung **halten mit den wachsenden Risiken nicht Schritt**. In vielen Fällen genügt schrittweise Anpassung nicht.

Extreme Hitze, Dürre, Waldbrände und Überschwemmungen verschlimmern sich laut der Agentur in Europa selbst unter optimistischen Erwärmungsszenarien [Q17]. Für Europa gilt also dasselbe wie global: Auch Szenario C verlangt erhebliche Anpassung.

Das Jahr 2025 zeigt die Bandbreite der Belastungen [Q18]:

Kenngrösse 2025	Wert
Fläche Europas mit überdurchschnittlicher Jahrestemperatur	mindestens 95 %
Brandfläche	rund 1 034 550 Hektaren, grösste je erfasste Fläche
Flüsse mit unterdurchschnittlichem Jahresabfluss	70 %
Schneebedeckte Fläche im März	31 % unter dem Durchschnitt
Meeresoberflächentemperatur der europäischen Region	höchster Wert der Messreihe
Gletscher	Massenverlust in allen europäischen Regionen
Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung	46,4 %

Bemerkenswert ist die geografische Reichweite. Eine dreiwöchige Rekordhitzewelle traf das subarktische Skandinavien und Finnland, mit Temperaturen über 30 °C innerhalb des Polarkreises [Q18]. Hitze ist kein ausschliesslich südeuropäisches Problem mehr.

14.2 Hitzebelastung in Städten

Beobachtet. Im Sommer 2022, dem bis dahin heissesten in Europa, starben nach einer Auswertung der Sterbedaten von 35 Ländern schätzungsweise 61 672 Menschen hitzebedingt (95-%-Vertrauensbereich 37 643–86 807). Die höchsten Zahlen verzeichneten Italien (18 010), Spanien (11 324) und Deutschland (8173); die höchsten Raten je Einwohner Italien, Griechenland, Spanien und Portugal. Bezogen auf die Bevölkerung starben 56 % mehr Frauen als Männer hitzebedingt, vor allem Frauen über 80 [Q48].

Die Autoren weisen auf einen wichtigen Vergleich hin: Im Sommer 2003 starben in Europa über 70 000 Menschen zusätzlich. Die danach eingeführten Hitzeschutzpläne haben nicht verhindert, dass zwanzig Jahre später wieder rund 60 000 Menschen starben [Q48]. Die Zahl spricht nicht gegen die Wirksamkeit von Hitzeschutz – ohne ihn wären es bei den höheren Temperaturen von 2022 vermutlich mehr gewesen –, wohl aber dagegen, das Problem für gelöst zu halten.

Wer gefährdet ist. Die Europäische Umweltagentur nennt Hitze den schwerwiegendsten und dringlichsten Klimarisikotreiber für die Gesundheit. Besonders gefährdet sind im Freien Arbeitende, ältere Menschen und Menschen in schlecht gebauten Wohnungen, in Gebieten mit starkem städtischem Wärmeinseleffekt oder ohne ausreichenden Zugang zu Kühlung [Q17].

Wo die Hebel liegen. Viele wirksame Massnahmen liegen ausserhalb der Gesundheitspolitik: in Stadtplanung, Bauvorschriften und Arbeitsrecht [Q17]. Europas Gebäudebestand ist überwiegend auf Wärmeschutz im Winter ausgelegt; Wohngebäude müssen an zunehmende Hitze angepasst werden [Q17].

14.3 Wasserknappheit und Dürren

2025 lagen die Abflüsse europäischer Flüsse in elf von zwölf Monaten unter dem Durchschnitt [Q18]. Langanhaltende, grossflächige Dürren bedrohen laut der Umweltagentur die Pflanzenproduktion, die Ernährungssicherheit und die Trinkwasserversorgung [Q17].

Wasserknappheit wirkt in Europa auf mehrere Bereiche zugleich:

- **Landwirtschaft:** Ernteausfälle und steigender Bewässerungsbedarf bei sinkender Verfügbarkeit.
- **Energie:** weniger Wasserkraft, eingeschränkte Kühlung thermischer Kraftwerke. In Südeuropa verursachen Hitze und Dürre erhebliche Risiken für Erzeugung, Übertragung und Nachfrage [Q17].
- **Schifffahrt:** Niedrigwasser schränkt den Gütertransport auf grossen Flüssen ein.
- **Ökosysteme:** austrocknende Feuchtgebiete, erhöhte Wassertemperaturen.

Der Alpenraum spielt dabei eine besondere Rolle. Die grossen europäischen Flüsse Rhein, Rhone, Po und Inn beziehen einen Teil ihres Sommerabflusses aus Schnee- und Gletscherschmelze. Mit dem Rückgang dieser Speicher (Kap. 15) sinkt der Sommerabfluss auch flussabwärts.

14.4 Landwirtschaft und Ernährungssicherheit

Risiken für die Pflanzenproduktion durch Hitze und Dürre sind in Südeuropa bereits auf kritischem Niveau; auch Mitteleuropa ist gefährdet [Q17]. In einigen nördlichen Regionen verlängert sich die Vegetationsperiode, was neue Kulturen ermöglicht. Der IPCC hält fest, dass positive Effekte in einigen hohen Breiten aufgetreten sind [Q07, B.1.3]. Ein Ausgleich der südlichen Verluste durch nördliche Gewinne ist jedoch nicht gesichert: Böden, Wasser und Infrastruktur lassen sich nicht einfach verlagern, und auch der Norden erlebt neue Extreme.

Preise. Der Hitzesommer 2022 erhöhte die Lebensmittelinflation in Europa um 0,43–0,93 Prozentpunkte; bei der für 2035 projizierten Erwärmung würde derselbe Sommer 30–50 % stärker wirken [Q39].

Ein Vorschlag der Umweltagentur. Schon eine teilweise Verlagerung von tierischen zu nachhaltig angebauten pflanzlichen Proteinen würde den Wasserverbrauch der Landwirtschaft und die Abhängigkeit von importierten Futtermitteln verringern [Q17]. Die Massnahme dient zugleich dem Klimaschutz und der Anpassung, greift aber in Ernährungsgewohnheiten ein (Kap. 12.2).

Ernährungssicherheit im Sinn ausreichender Mengen ist in Europa auf absehbare Zeit nicht gefährdet. Gefährdet sind die Stabilität der Preise, die Einkommen der Betriebe in den am stärksten betroffenen Regionen und die Versorgung mit einzelnen Produkten.

14.5 Waldbrände

2025 verbrannte in Europa die grösste je erfasste Fläche [Q18]. Südeuropa ist laut der Umweltagentur besonders durch Waldbrände gefährdet [Q17]. Zwei Entwicklungen verschärfen das Problem über die reine Zunahme der Brandgefahr hinaus:

- **Ausweitung nach Norden und in die Höhe.** Regionen ohne Branderfahrung verfügen weder über angepasste Wälder noch über ausreichende Löschkapazitäten.
- **Landnutzung.** Die Aufgabe von Landwirtschaft in Berggebieten lässt Flächen verbuschen und erhöht die Brennstoffmenge; zugleich wachsen Siedlungen in bewaldete Gebiete hinein.

In Nordamerika wachsen die versicherten Waldbrandschäden jährlich um 14 % [Q41]; für Europa liegen die Schäden bisher tiefer, die Richtung ist dieselbe.

14.6 Küstenregionen

Überschwemmung, Erosion und das Eindringen von Salzwasser bedrohen die tief liegenden Küstenregionen Europas, darunter viele dicht besiedelte Städte [Q17]. Küstenhochwasser wurde in Europa bisher vergleichsweise gut bewältigt; steigende Meeresspiegel und veränderte Sturmmuster können jedoch verheerende Folgen für Menschen, Infrastruktur und Wirtschaft haben [Q17].

Für dieses Jahrhundert ist der Schutz der wirtschaftlich bedeutenden europäischen Küsten technisch möglich und finanzierbar. Zwei Einschränkungen sind zu nennen. Erstens steigen die Kosten mit jedem Dezimeter, und die Entscheidung, was geschützt wird und was nicht, ist politisch heikel. Zweitens endet der Anstieg nicht 2100 (Kap. 8.5); Küstenstädte planen Schutzbauten für einen Meeresspiegel, der danach weiter steigt.

14.7 Wirtschaftliche Auswirkungen

Die Umweltagentur sieht Europas Wirtschaft und Finanzsystem vielen Klimarisiken ausgesetzt: Klimaextreme können Versicherungsprämien erhöhen, Vermögenswerte und Hypotheken gefährden sowie Staatsausgaben und Kreditkosten erhöhen. Die Tragfähigkeit des Solidaritätsfonds der Europäischen Union ist durch kostspielige Überschwemmungen und Waldbrände bereits kritisch gefährdet. Wachsende Versicherungslücken machen einkommensschwache Haushalte verwundbarer [Q17].

Die Schäden aus schweren Gewittern mit Hagel und Sturmböen wachsen in Europa mit geschätzten 10 % pro Jahr am schnellsten; weniger als die Hälfte dieses Anstiegs lässt sich durch das Wachstum der versicherten Werte erklären [Q41]. Hier zeigt sich ein Klimasignal in den Schadensdaten deutlicher als im weltweiten Durchschnitt.

Regionale Ungleichheit. Die Belastungen treffen den Süden stärker. Sinkt dort die Produktivität in Landwirtschaft, Tourismus und Arbeit im Freien, während der Norden weniger betroffen ist, vergrössern sich bestehende wirtschaftliche Unterschiede innerhalb der Europäischen Union. Daraus entsteht politischer Druck auf die gemeinsamen Ausgleichsmechanismen – zu einem Zeitpunkt, an dem diese bereits beansprucht sind.

14.8 Energieversorgung

Europa ist bei der Umstellung der Stromerzeugung weit fortgeschritten: 2025 stammten 46,4 % des Stroms aus erneuerbaren Quellen, Solarenergie erreichte mit 12,5 % einen Höchstwert [Q18]. Die Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen hat sich in den Energiekrisen der letzten Jahre als Verwundbarkeit erwiesen; erneuerbare Erzeugung wirkt als Puffer gegen solche Schocks [Q45].

Der Klimawandel belastet das Energiesystem zugleich:

- **Wasserkraft und Kühlung** leiden unter Dürre und Niedrigwasser.
- **Kühlbedarf** verschiebt die Spitzenlast in südlichen Ländern in den Sommer.
- **Netze** sind die verwundbarste Komponente: Stromnetze waren weltweit in rund 85 % der klimabedingten Betriebsstörungen betroffen [Q10].
- **Heizbedarf** sinkt in milderen Wintern – einer der wenigen entlastenden Effekte.

14.9 Unterschiede zwischen Nord-, Süd-, Ost- und Westeuropa

Die folgende Übersicht stützt sich für den Süden und die Küsten auf die Umweltagentur [Q17] und für 2025 auf den Klimazustandsbericht [Q18]. Die Einträge zu Ost- und Nordeuropa sind qualitative Einordnungen dieser Studie; eine Unterlegung mit dem Europa-Kapitel des IPCC erfolgt in der Endfassung.

Region	Hauptrisiken	Mögliche Entlastungen	Besonderheit
Süd	Hitze, Dürre, Waldbrände; Landwirtschaft, Arbeit im Freien, Gesundheit, Energie	kaum	Brennpunkt mehrerer Risiken zugleich [Q17]; höchste Hitzesterblichkeit je Einwohner [Q48]

Region	Hauptrisiken	Mögliche Entlastungen	Besonderheit
West	Küsten- und Flusshochwasser, Stürme; zunehmend Hitze und Sommertrockenheit	geringerer Heizbedarf	dicht besiedelte, tief liegende Küsten; hohe Anpassungsfähigkeit
Mitte und Alpenraum	Hitze in Städten, Sommertrockenheit, Starkniederschlag, schwere Gewitter, Naturgefahren im Gebirge	geringerer Heizbedarf	Verlust der Schnee- und Gletscherspeicher (Kap. 15)
Ost	kontinentale Hitze und Dürre, Flusshochwasser	längere Vegetationsperiode in Teilen	geringere Finanzkraft für Anpassung in Teilen der Region
Nord	neue Hitzeextreme, Starkniederschlag, Veränderungen in Wald und Arktis	längere Vegetationsperiode, weniger Heizbedarf, mehr Wasserkraft	geringe Erfahrung mit Hitze; Rekordhitzewelle 2025 im subarktischen Raum [Q18]

Die verbreitete Vorstellung, der Norden gewinne, was der Süden verliert, trifft nur eingeschränkt zu. Einzelne Sektoren im Norden profitieren. Die Wälder, die Infrastruktur und die Gesundheitsversorgung dort sind jedoch nicht auf Hitze und Trockenheit ausgelegt, und über Handel, Finanzmärkte und gemeinsame Haushalte tragen alle Regionen die Lasten der anderen mit.

14.10 Migration innerhalb und nach Europa

Innerhalb Europas. Denkbar sind Verschiebungen aus den am stärksten hitze- und dürrebelasteten Regionen, saisonal veränderte Tourismusströme und der Wegzug aus hochwassergefährdeten Lagen. Belastbare Projektionen dazu wurden für diese Studie nicht gefunden. Freizügigkeit innerhalb der Europäischen Union erleichtert solche Bewegungen; sie dürften schrittweise verlaufen und sich mit anderen Motiven wie Arbeitsmarkt und Wohnkosten überlagern.

Nach Europa. Die Weltbank projiziert für Nordafrika bis 2050 bis zu 19 Millionen klimabedingte Binnenmigranten [Q29]. Wie viele davon weiterwandern, ist nicht bezifferbar (Kap. 11.3). Für die europäische Politik folgt daraus, dass die Stabilität der südlichen und östlichen Nachbarschaft – Wasser, Landwirtschaft, Städte – ein eigenes Interesse ist, das sich mit Mitteln der Entwicklungs- und Anpassungsfinanzierung beeinflussen lässt.

14.11 Ein besonderes Risiko: die atlantische Umwälzzirkulation

Die atlantische Umwälzzirkulation transportiert Wärme in den Nordatlantik und prägt das europäische Klima. Sie schwächt sich in diesem Jahrhundert sehr wahrscheinlich ab. Einen abrupten Zusammenbruch vor 2100 hält der IPCC mit mittlerem Vertrauen für nicht zu erwarten; träte er ein, wären abrupte Verschiebungen der Wettermuster die Folge, darunter eine Austrocknung in Europa [Q06, C.3.4]. Neuere Arbeiten sehen die Schwelle bei rund 2 °C und halten ein Kippen bei heutiger Erwärmung für nicht ausschliessbar, bei erheblicher Unsicherheit [Q23].

Für Europa ist dies das Kipprisiko mit den weitreichendsten Folgen. Es fällt in die Kategorie geringer oder unbekannter Wahrscheinlichkeit bei sehr hohem Schaden und wird in Kapitel 18 entsprechend eingeordnet.

14.12 Vergleich der Szenarien für Europa

Bereich	C (1,5–1,9 °C global)	B2 (rund 2 °C)	A (2,5–3 °C)
Hitze	Sommer wie 2022 werden häufig	werden zur Regel	deutlich heissere Sommer; Süden zeitweise an Belastungsgrenzen
Dürre und Wasser	zunehmend im Süden	Süden kritisch, Mitte betroffen	grossflächig, auch Mitteleuropa regelmässig
Waldbrände	Zunahme im Süden	Ausweitung nach Norden	Ausweitung in bisher kaum betroffene Regionen
Küsten	Schutz mit steigenden Kosten möglich	wie C, höhere Kosten	Schutz bis 2100 möglich, danach zunehmend in Frage gestellt
Landwirtschaft	Anpassung weitgehend möglich	Ertragsverluste im Süden	deutliche Verluste im Süden, Risiken in der Mitte
Zusammenhalt	Ausgleichsmechanismen beansprucht	stärker beansprucht	wachsendes Nord-Süd-Gefälle

Die Einstufungen sind qualitative Einschätzungen dieser Studie auf Grundlage der Aussage, dass sich die Risiken selbst unter optimistischen Szenarien verschärfen [Q17], und der globalen Skalierungen in Kapitel 8.

Zwischenfazit. Europa verfügt über die Mittel, sich an eine Erwärmung im Bereich von Szenario C anzupassen, tut dies nach dem Urteil seiner eigenen Umweltagentur aber zu langsam. In Szenario A konzentrieren sich die Belastungen im Süden in einem Mass, das die wirtschaftlichen und politischen Ausgleichsmechanismen des Kontinents auf die Probe stellt.

15 Vertiefung Schweiz

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Hauptquellen: Klimaszenarien CH2025 [Q13], Klima-Risikoanalyse des BAFU [Q15], hydrologische Szenarien Hydro-CH2018 [Q33], Gletschermessnetz GLAMOS [Q14], Monitoring der hitzebedingten Todesfälle [Q49], Treibhausgasinventar [Q50], Klima- und Innovationsgesetz [Q34]. Abschnitte, deren Zahlen noch nicht am Original geprüft sind, sind gekennzeichnet.

15.1 Ausgangslage

Die Schweiz hat sich deutlich stärker erwärmt als die Welt im Mittel: bis 2024 um 2,9 °C seit vorindustrieller Zeit, gegenüber 1,3 °C global [Q13]. Der Faktor von rund zwei hat mehrere Ursachen: Landflächen erwärmen sich generell stärker als Ozeane (Kap. 6.1), die Lage im Inneren eines Kontinents verstärkt dies, und der Rückgang von Schnee und Eis verringert die Rückstrahlung von Sonnenlicht.

Der Sommer 2026 war der heisseste seit Messbeginn in der Schweiz, heisser als der Hitzesommer 2003 [Q49]. Die Nullgradgrenze lag von Mai bis September an 76 Tagen über 4000 Metern, mehr als doppelt so oft wie im Mittel und ein Rekordwert [Q14].

Was die Szenarien CH2025 zeigen

Die Klimaszenarien CH2025, im November 2025 von MeteoSchweiz und der ETH Zürich vorgestellt, beschreiben das Klima der Schweiz für verschiedene globale Erwärmungsniveaus. Bei einer globalen Erwärmung von 3 °C – das entspricht etwa dem oberen Bereich von Szenario A – erwärmt sich die Schweiz um rund 4,9 °C [Q13]. Vier Hauptveränderungen prägen eine solche Welt:

Veränderung	Ausprägung in einer global 3 °C wärmeren Welt
Extremere Hitze	Der heisseste Tag des Jahres ist im Mittel rund 4,4 °C heisser als 1991–2020. In der Stadt Zürich etwa fünfmal mehr Tropennächte. Hitze tritt zunehmend auch in Alpen und Voralpen auf.
Trockenere Sommer	Eine typische Sommertrockenheit ist 44 % intensiver. Dürre- und Waldbrandrisiko nehmen zu.
Heftigere Starkniederschläge	Zunahme in allen Jahreszeiten, am stärksten bei kurzen, heftigen Gewitterniederschlägen – auch wenn die Sommerniederschläge insgesamt abnehmen.
Weniger Schnee	Die winterliche Nullgradgrenze steigt um 550 Meter auf etwa 1450 Meter. Winterniederschlag fällt vermehrt als Regen.

Die Sommertrockenheit hat in den vergangenen rund 40 Jahren bereits zugenommen [Q13]. Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen sind seit 1901 an über 90 % der Messstationen gestiegen [Q51].

Was Klimaschutz ändert. Mit ambitioniertem Klimaschutz und global netto null Emissionen bis 2050 liesse sich nach Aussage der beteiligten Forschenden der grösste Teil der künftigen langfristigen Erwärmung vermeiden [Q13]. Die Szenarien halten zugleich fest, dass sich die Erwärmung im besten Fall begrenzen, aber nicht rückgängig machen lässt. Zahlen für die tieferen Erwärmungsniveaus (1,5 und 2 °C global) werden in der Endfassung aus dem Fachbericht ergänzt.

Die Risikobewertung des Bundes

Die Klima-Risikoanalyse des BAFU von 2025 identifiziert 34 Risiken und ordnet sie fünf Herausforderungen zu: zunehmende Hitzebelastung, vermehrte Sommertrockenheit, steigende Durchschnittstemperaturen, wachsendes Risiko von Naturgefahren sowie Veränderung von Lebensräumen und Artenzusammensetzung. Die Hitzebelastung ist heute und künftig das grösste Risiko; die Risiken durch Sommertrockenheit sind seit der ersten Analyse von 2017 gestiegen [Q15].

Die Analyse nennt auch Chancen – weniger Heizenergie in milden Wintern, höhere Stromproduktion im Winter – und kommt zum Schluss, dass diese die Risiken nicht aufwiegen [Q15].

15.2 Gletscher und Veränderungen im Alpenraum

Beobachtet. 2026 verloren die Schweizer Gletscher über 5 % ihres Eisvolumens, nur knapp weniger als im Rekordjahr 2022. In den letzten fünf Jahren ging fast ein Fünftel des Eisvolumens verloren. Kleine Gletscher wie der Bella-Tola-Gletscher im Wallis sind verschwunden. Die Glaziologen halten fest, dass Alpengletscher unter solchen Bedingungen langfristig keine Überlebenschance haben [Q14].

Erwartet bis Ende des Jahrhunderts [Q33]:

	Verbleibendes Gletschervolumen gegenüber 2017
Mit konsequentem Klimaschutz	rund 37 %
Ohne Klimaschutz	rund 5 %

Ohne Klimaschutz werden das Engadin und das Tessin vollständig eisfrei; das Einzugsgebiet des Rheins verliert bis auf Reste im Berner Oberland alle Gletscher; das grösste verbleibende Eisvolumen liegt im Wallis [Q33].

Dieser Vergleich zeigt beide Seiten: Der grössere Teil des Eises geht in jedem Szenario verloren. Der Unterschied zwischen einem Drittel und einem Zwanzigstel ist dennoch gross – er entscheidet darüber, ob die grossen Walliser Gletscher als Wasserspeicher und Landschaftselement erhalten bleiben.

Folgen über das Eis hinaus. Mit den Gletschern verändern sich Landschaft, Wasserhaushalt und Naturgefahren. Es entstehen neue Seen, die touristisch und für die Wasserkraft nutzbar sein können, aber auch Flutwellen auslösen können, wenn Fels- oder Eismassen hineinstürzen.

15.3 Permafrost und Naturgefahren

Dauerhaft gefrorener Untergrund stabilisiert Felswände und Schutthalden im Hochgebirge. Das BAFU hält fest, dass das Auftauen des Permafrosts in der Schweiz seit längerem beobachtet wird und sich fortsetzt [Q33]; die Risikoanalyse führt das wachsende Risiko von Naturgefahren als eine der fünf zentralen Herausforderungen [Q15].

Drei Prozesse nehmen zu:

- **Felsstürze und Bergstürze** aus auftauenden Felswänden.
- **Murgänge**, wenn Starkregen auf lockeres Material trifft, das Gletscher und Permafrost freigegeben haben.
- **Kettenereignisse**, bei denen ein Sturz einen Gletscher destabilisiert oder einen See zum Überlaufen bringt.

Das Beispiel Blatten. Am 28. Mai 2025 verschüttete der Abbruch des Birchgletschers nach Felsstürzen am Kleinen Nesthorn das Dorf Blatten im Lötschental weitgehend. Nach Medienberichten über ein Faktenblatt der ETH Zürich gilt die Erwärmung als ziemlich wahrscheinlich relevanter Faktor; ein direkter Zusammenhang zwischen Permafrostdegradation und dem Kollaps sei ohne weitere Untersuchungen nicht abschliessend belegt. Diese Darstellung beruht auf Sekundärquellen und wird in der Endfassung am Original geprüft. Der Fall zeigt die typische Schwierigkeit: Einzelereignisse im Gebirge haben immer auch geologische Ursachen, und ein Klimabeitrag lässt sich selten eindeutig nachweisen. Die Häufung solcher Ereignisse in auftauenden Höhenlagen ist dagegen physikalisch zu erwarten.

Bedeutung. Die Schweiz verfügt über eine lange Erfahrung im Umgang mit Naturgefahren und eine gut ausgebaute Überwachung; in Blatten wurde die Bevölkerung rechtzeitig evakuiert. Mit der Erwärmung verschieben sich die Gefahren jedoch in Gebiete, die bisher als sicher galten, und die Gefahrenkarten, auf denen Siedlungsplanung beruht, verlieren an Gültigkeit. Daraus entsteht eine Frage, die über Technik hinausgeht: Welche Siedlungen und Verkehrswege im Alpenraum lassen sich zu vertretbaren Kosten schützen, und wer entscheidet über jene, bei denen das nicht gelingt?

15.4 Wasserhaushalt

Die Schweiz bleibt ein wasserreiches Land; die Jahresabflussmenge nimmt nur geringfügig ab. Was sich verändert, ist die Verteilung über das Jahr [Q33].

Mechanismus. Bisher speichern Schnee und Gletscher den Winterniederschlag und geben ihn im Frühling und Sommer ab. Rund 40 % des jährlichen Abflusses stammen heute aus der Schneedecke. Mit der Erwärmung fällt mehr Niederschlag als Regen und fliesst sofort ab; die Schneeschmelze setzt früher ein; das Gletscherschmelzwasser nimmt bei kleinen Gletschern bereits ab, bei den grossen voraussichtlich spätestens ab 2050 [Q33].

Erwartete Veränderungen 2070–2099 gegenüber 1981–2010 [Q33]:

Grösse	Mit Klimaschutz	Ohne Klimaschutz
Abfluss aus Schneeschmelze	0 bis −30 %	−30 bis −60 %
Im Schnee gespeicherte Wassermenge	−42 %	−78 %

Grösse	Mit Klimaschutz	Ohne Klimaschutz
Winterabflüsse	0 bis +20 %	+10 bis +50 %
Sommer- und Herbstabflüsse	–	−30 bis −50 %
Jahresabflüsse	−5 bis +5 %	0 bis −20 %

Folgen.

- Im **Sommer** trifft weniger Wasser auf höheren Bedarf: Bewässerung, Kühlung, Trinkwasser. Nutzungskonflikte, die die Schweiz bisher kaum kannte, werden regelmässig auftreten, vor allem im Mittelland und im Jura, wo Gletscherwasser fehlt.
- Im **Winter** steigen Abflüsse und mit ihnen das Hochwasserrisiko, wenn Regen auf gesättigte oder gefrorene Böden fällt.
- **Wassertemperaturen** steigen, mit Folgen für Fische und für die Kühlwassernutzung.
- **Grundwasser:** Hoch- und Niedrigstände werden ausgeprägter.

Gletscherschmelze mildert sommerliche Wasserknappheit derzeit noch. Zwischen Juli und September 2026 gaben die Gletscher rund 2200 Milliarden Liter ab, mehr als das Vierfache des jährlichen Trinkwasserverbrauchs aller Schweizer Haushalte. Dieser Effekt nimmt mit der schwindenden Eisfläche bereits ab: 2026 setzten die Gletscher trotz höherer Schmelzraten weniger Wasser frei als im Hitzesommer 2003 [Q14]. Die Schweiz zehrt also von einem Vorrat, der sich nicht erneuert.

Die Schweiz als Oberlieger. Rhein, Rhone, Inn und Tessin entspringen in der Schweiz. Was sich hier am Abfluss ändert, betrifft Schifffahrt, Landwirtschaft und Kraftwerke in Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich und den Niederlanden.

15.5 Hitzewellen und Gesundheit

Beobachtet [Q49]:

Sommer	Hitzebedingte Todesfälle	Bemerkung
2025	410 (Mai–September)	sechstwärmster Sommer seit 1864; 1,5 % aller Todesfälle der warmen Jahreszeit
2026	rund 1260 (Mai–August, provisorisch)	heissester Sommer seit Messbeginn; ähnlich viele wie 2003

2025 waren rund 84 % der Hitzetoten älter als 75 Jahre, obwohl diese Gruppe nur rund 10 % der Bevölkerung ausmacht; rund 60 % waren Frauen. Die höchste Sterberate verzeichnete das Tessin [Q49].

Wirkt Anpassung? Das Monitoring des Bundes erlaubt eine differenzierte Antwort [Q49]:

- Der Anteil hitzebedingter Todesfälle an der Gesamtsterblichkeit der warmen Jahreszeit sank 2004–2025 gegenüber 1980–2002 um 13 %, obwohl die mittlere Sommertemperatur um 1,4 °C stieg. Bei mässig heissen Temperaturen scheint eine Anpassung möglich – körperlich, durch Verhalten oder durch bauliche Massnahmen.

- An heissen und sehr heissen Tagen hat die Sterberate dagegen eher zugenommen, weil solche Tage häufiger werden. Hier greifen die bisherigen Schutzmassnahmen noch wenig.

Der Sommer 2026 bestätigt den zweiten Befund: Trotz zwanzig Jahren Hitzeschutz starben bei Rekordhitze ähnlich viele Menschen wie 2003. Die Zahl für 2026 ist provisorisch; der endgültige Bericht folgt im Frühjahr 2027 [Q49].

Erwartet. Die Hitzebelastung bleibt das grösste Klimarisiko für die Gesundheit und nimmt mit der Alterung der Gesellschaft zu [Q15]. Beide Entwicklungen wirken in dieselbe Richtung: mehr Hitzetage und mehr besonders gefährdete Menschen.

Städte. Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C fällt, verhindern die nächtliche Erholung. Eine Verfünffachung in Zürich [Q13] betrifft vor allem dicht bebaute Quartiere. Massnahmen: Begrünung und Entsiegelung, Beschattung, Frischluftkorridore, angepasste Bauweise, Hitzeaktionspläne mit aufsuchender Betreuung alleinlebender älterer Menschen.

Weitere Gesundheitsfolgen. Die Ausbreitung der Tigermücke und anderer Überträger, längere Pollensaisons und die Belastung durch bodennahes Ozon bei Hitze werden in der Endfassung mit Quellen des Bundes belegt.

15.6 Landwirtschaft und Wald

Landwirtschaft. Bis 2060 fällt im Sommer bis zu einem Viertel weniger Regen, und Trockenperioden dauern länger; landwirtschaftliche Kulturen und Nutztiere leiden unter zunehmendem Hitzestress [Q15]. Daraus ergibt sich:

- **Bewässerungsbedarf** steigt in einem Land, dessen Landwirtschaft bisher überwiegend vom Regen lebt – zur selben Zeit, in der die Sommerabflüsse sinken.
- **Ertragsschwankungen** nehmen zu, mit einzelnen sehr schlechten Jahren.
- **Verschiebungen** der Anbaueignung: Wärmeliebende Kulturen wie Wein und bestimmte Obstsorten gewinnen in höheren Lagen und nördlicheren Regionen; Futterbau im Mittelland leidet in trockenen Sommern.
- **Neue Schädlinge und Krankheiten** breiten sich aus.
- **Die Vegetationsperiode** verlängert sich, was einen Teil der Verluste ausgleichen kann, sofern Wasser verfügbar ist.

Wald. Wälder leiden unter Hitzestress und Trockenheit [Q15]. Bäume, die heute gepflanzt werden, müssen das Klima am Ende des Jahrhunderts ertragen. Arten, die auf feuchtkühle Bedingungen angewiesen sind, geraten im Mittelland unter Druck; Schädlingsbefall nach Trockenjahren verstärkt die Schäden. Besonders bedeutsam ist das für den **Schutzwald**, der im Alpenraum Siedlungen und Verkehrswege vor Lawinen, Steinschlag und Murgängen schützt. Fällt er grossflächig aus, sind die Ersatzbauten sehr teuer.

Die Landnutzung in der Schweiz hat sich in den vergangenen Jahren unter anderem wegen des Klimawandels zunehmend von einer Senke zu einer Quelle von Treibhausgasen entwickelt [Q50]. Die Annahme, der Wald gleiche einen Teil der Emissionen dauerhaft aus, ist damit weniger sicher als früher.

Das Waldbrandrisiko nimmt zu [Q13], bisher vor allem auf der Alpensüdseite und im Wallis, künftig auch nördlich der Alpen.

15.7 Wasserkraft und Stromversorgung

Die Wasserkraft ist die tragende Säule der Schweizer Stromerzeugung. Der Klimawandel verändert ihre Grundlagen in entgegengesetzte Richtungen.

Entlastend: Höhere Winterabflüsse (+10 bis +50 % ohne Klimaschutz [Q33]) fallen in die Jahreszeit, in der Strom knapp ist. Die Risikoanalyse des Bundes nennt die höhere Winterproduktion ausdrücklich als Chance [Q15].

Belastend: - Tiefere Sommer- und Herbstabflüsse verringern die Produktion der Laufkraftwerke. - Der vorübergehende Zusatzertrag aus Gletscherschmelze entfällt bei den grossen Gletschern spätestens ab 2050 [Q33]. - Mehr Geschiebe aus eisfrei gewordenen Gebieten verlandet Stauseen und verschleisst Turbinen. - Naturgefahren bedrohen Anlagen und Zufahrten.

Chancen: In den Vorfeldern zurückweichender Gletscher entstehen Becken, die sich als neue Speicher eignen können. Speicherseen gewinnen an Bedeutung, weil sie Wasser vom Sommer in den Winter und von nassen in trockene Phasen verlagern – für Strom, Bewässerung und Hochwasserschutz zugleich. Die Abwägung mit dem Landschafts- und Gewässerschutz ist politisch umstritten.

Das Stromsystem insgesamt. Die Elektrifizierung von Heizung und Verkehr erhöht den Strombedarf, vor allem im Winter. Photovoltaik liefert überwiegend im Sommer. Die zentrale Aufgabe der Schweizer Energiepolitik ist deshalb die Winterversorgung. Dazu tragen bei: Speicherwasserkraft, alpine Photovoltaik und Windkraft mit hohem Winteranteil, Stromhandel mit den Nachbarländern, Effizienz, der Weiterbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke, solange sie sicher sind, sowie Reservekraftwerke. Die Bewertung dieser Optionen folgt den Kriterien von Kapitel 13; Mengenangaben dazu enthalten die Energieperspektiven 2050+ des Bundesamts für Energie [Q16]; sie sind in dieser Studie nicht ausgewertet.

Im Sommer steigt zugleich der Kühlbedarf, und hohe Flusstemperaturen können den Betrieb flussgekühlter Kraftwerke einschränken.

15.8 Wintertourismus und Schneesicherheit

Die natürliche Schneedecke geht vor allem in tiefen Lagen weiter zurück; die winterliche Nullgradgrenze steigt in einer global 3 °C wärmeren Welt um 550 Meter auf etwa 1450 Meter [Q13]. Die im Schnee gespeicherte Wassermenge nimmt bis Ende des Jahrhunderts um 42 % (mit Klimaschutz) bis 78 % (ohne) ab, und das Maximum der Schneemenge verschiebt sich vom März in den Februar [Q33]. Der Winter 2025/26 gehörte zu den zehn schneeärmsten seit Messbeginn [Q14].

Folgen für den Tourismus.

- **Tiefe Lagen** (unter rund 1500 Meter) verlieren die Schneesicherheit zuerst. Für viele Voralpen- und Juragebiete ist Skibetrieb schon heute nur noch in einzelnen Wintern möglich.
- **Mittlere Lagen** sind zunehmend auf technische Beschneiung angewiesen. Diese braucht Kälte, Wasser und Energie und stösst bei steigenden Temperaturen an physikalische Grenzen.

- **Hohe Lagen** bleiben länger schneesicher und gewinnen Marktanteile, solange die Nachfrage besteht. Die Konzentration auf wenige grosse, hoch gelegene Gebiete setzt sich fort.
- **Die Saison** wird kürzer und unzuverlässiger; das Weihnachtsgeschäft ist besonders gefährdet.

Der Sommertourismus in den Bergen kann profitieren, wenn es in den Städten und am Mittelmeer heisser wird. Ob das die Verluste im Winter ausgleicht, ist offen: Wertschöpfung und Beschäftigung des Winterbetriebs sind in vielen Tälern deutlich höher. Für einzelne Regionen bedeutet der Wandel einen Umbau der wirtschaftlichen Grundlage. Konkrete Zahlen zum Anteil schneesicherer Gebiete wurden für diese Studie nicht am Original geprüft und werden deshalb nicht genannt.

15.9 Infrastruktur und Siedlungsgebiete

Hitzebedingte Schäden können Betrieb und Unterhalt von Bahn-, Strassen- und Stromnetzen verteuern [Q15]. Betroffen sind:

- **Verkehrswege im Alpenraum** durch Steinschlag, Murgänge und Hochwasser. Die Nord-Süd-Achsen sind für die Schweiz und für Europa bedeutsam; längere Sperrungen wirken weit über die Region hinaus.
- **Bahn und Strasse** durch Hitzeschäden an Schienen und Belägen.
- **Siedlungsentwässerung**, die für heutige Niederschlagsintensitäten bemessen ist. Oberflächenabfluss bei Starkregen verursacht Schäden auch fernab von Gewässern.
- **Gebäude**, die für den Sommer nicht ausgelegt sind (Kap. 13.9).
- **Hochgebirgsinfrastruktur** wie Seilbahnstationen, Hütten und Leitungen, die auf Permafrost gegründet sind.

Die Schäden aus schweren Gewittern mit Hagel wachsen in Europa besonders rasch (Kap. 14.7) [Q41]; die Schweiz mit ihrer hohen Wertedichte ist davon direkt betroffen.

15.10 Hochwasser und Trockenperioden

Beide Extreme nehmen zu, was die Wasserwirtschaft vor eine doppelte Aufgabe stellt.

Hochwasser. Heftigere Starkniederschläge [Q13], höhere Winterabflüsse [Q33] und eine steigende Schneefallgrenze, durch die bei Unwettern grössere Flächen Regen statt Schnee erhalten, erhöhen das Risiko. Die Schweiz hat nach den Ereignissen der 1980er- bis 2000er-Jahre viel in Schutzbauten, Gefahrenkarten und mehr Raum für Flüsse investiert. Dieser Vorsprung muss an höhere Bemessungsgrössen angepasst werden.

Trockenheit. Die Risiken durch Sommertrockenheit sind seit 2017 gestiegen [Q15]. Betroffen sind Landwirtschaft, Wald, Ökosysteme, Schifffahrt auf dem Rhein, Wasserkraft und in einzelnen Regionen die Trinkwasserversorgung. Im August 2022 lag der Pegel des Untersees so tief wie noch nie seit Beginn der Aufzeichnungen 1886 [Q15].

Speicher, die beides leisten – Rückhalt bei Hochwasser, Vorrat bei Trockenheit –, gewinnen an Wert. Die Bewirtschaftung der Seen und Stauseen für mehrere Zwecke zugleich wird zu einer zentralen Aufgabe.

15.11 Wirtschaftliche Folgen nach Branchen

Die folgende Übersicht ist eine qualitative Einordnung dieser Studie auf Grundlage der zitierten Befunde.

Branche	Betroffenheit	Wesentliche Wirkungen
Bauwirtschaft	hoch	Produktivitätsverlust bei Hitze [Q15]; zugleich Nachfrage durch Sanierung und Schutzbauten
Landwirtschaft	hoch	Trockenheit, Hitzestress, Ertragsschwankungen [Q15]
Forstwirtschaft	hoch	Trockenstress, Schädlinge, Schutzwaldpflege
Tourismus	hoch, regional sehr unterschiedlich	Winter verliert, Sommer gewinnt
Energiewirtschaft	mittel	saisonale Verschiebung der Wasserkraft; Naturgefahren
Versicherungen	hoch	steigende Elementarschäden; als weltweit tätige Branche zudem globalen Risiken ausgesetzt
Finanzsektor	mittel bis hoch, vor allem über das Ausland	Anlagen und Kredite in klimaexponierten Regionen und Branchen
Exportindustrie	mittel, über das Ausland	Lieferketten, Absatzmärkte, Rohstoffpreise
Gesundheitswesen	mittel	Mehrbelastung in Hitzeperioden bei alternder Bevölkerung
Verkehr und Logistik	mittel	Unterbrüche der Alpenachsen; Niedrigwasser auf dem Rhein

Eine belastbare Gesamtzahl der volkswirtschaftlichen Kosten für die Schweiz wurde für diese Studie nicht am Original geprüft. Für die Einordnung genügt vorerst: Die direkten Schäden im Inland sind für ein reiches Land mit starken Institutionen in Szenario C tragbar und in Szenario A erheblich, aber nicht existenzbedrohend. Das grössere wirtschaftliche Risiko liegt in der Verflechtung mit dem Ausland.

15.12 Abhängigkeit vom Ausland

Die Schweiz ist eine kleine, offene, stark verflochtene Volkswirtschaft. Ein wesentlicher Teil ihrer Klimarisiken entsteht ausserhalb der Landesgrenzen.

Emissionen. Im Inland stiess die Schweiz 2024 40,1 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalente aus, 4,5 Tonnen pro Kopf. Rechnet man die Emissionen hinzu, die im Ausland für den Schweizer Konsum entstehen, sind es rund 15 Tonnen pro Kopf – nach Angabe des BAFU mehr als das Doppelte und deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von rund 6 Tonnen [Q51]. Der grössere Teil des Schweizer Klimafussabdrucks entsteht also im Ausland.

Risiken über den Handel. - *Nahrungs- und Futtermittel:* Die Schweiz importiert einen erheblichen Teil ihrer Nahrungsmittel. Ernteausfälle und Exportbeschränkungen andernorts wirken auf Preise und Verfügbarkeit. - *Lieferketten:* Vorleistungen für die Industrie stammen teils aus klimaexponier-

ten Regionen (Kap. 9.4). - *Energie:* Im Winter ist die Schweiz auf Stromimporte angewiesen. Trockenheit und Hitze in den Nachbarländern – Niedrigwasser, eingeschränkte Kraftwerkskühlung – verringern deren Lieferfähigkeit gerade dann, wenn auch die Schweiz betroffen ist. - *Verkehrswege:* Der Rhein ist die wichtigste Verbindung zu den Seehäfen. Niedrigwasser schränkt die Schifffahrt ein.

Risiken über den Finanzplatz. Schweizer Banken, Versicherungen und Pensionskassen halten Vermögenswerte weltweit. Klimaschäden und der Wertverlust fossiler Anlagen treffen sie unabhängig vom Wetter in der Schweiz. Der Rückversicherungsstandort ist dem weltweiten Schadenstrend direkt ausgesetzt (Kap. 9.2).

Risiken über die Stabilität anderer Regionen. Die Folgen in Südeuropa (Kap. 14) und in verwundbaren Weltregionen (Kap. 11) wirken über Handel, Migration und internationale Politik zurück.

Daraus folgt: Klimapolitik im Interesse der Schweiz endet nicht an der Grenze. Beiträge zu Emissionsminderung und Anpassung im Ausland, die Ausrichtung des Finanzplatzes und die Widerstandsfähigkeit der Lieferketten wiegen gemessen am eigenen Risiko mindestens so schwer wie die Senkung der Inlandsemissionen, die 2024 weniger als ein Tausendstel der weltweiten Treibhausgasemissionen ausmachten (40,1 Millionen Tonnen gegenüber rund 55 Milliarden Tonnen [Q02, Q50]; eigene Rechnung).

15.13 Stand der Klimapolitik

Emissionen 2024 [Q50]:

Sektor	Mio. t CO_2-Äquivalente	Gegenüber 1990	Richtwert 2040 nach Gesetz [Q34]
Gebäude	8,8	−47 %	−82 %
Verkehr	13,4	−10 %	−57 %
Industrie	8,9	−33 %	−50 %
Übrige (Landwirtschaft, Abfall, synthetische Gase)	8,9	−13 %	–
Total	**40,1**	**−27,3 %**	**−75 %**

Hinzu kommen 5,5 Millionen Tonnen aus dem internationalen Flug- und Schiffsverkehr, die separat ausgewiesen werden [Q50].

Ziele. Das Klima- und Innovationsgesetz verpflichtet den Bund, bis 2050 netto null zu erreichen, mit Zwischenzielen von mindestens −64 % im Durchschnitt der Jahre 2031–2040 und mindestens −75 % bis 2040. Die Ziele sollen soweit möglich im Inland erreicht werden; verbleibende Emissionen sind durch Negativemissionstechnologien im In- und Ausland auszugleichen [Q34, Art. 3]. Bis 2030 will die Schweiz ihre Emissionen gegenüber 1990 halbieren [Q51].

Einordnung.

1. **Die Lücke bis 2030 ist gross.** Von 27 % auf 50 % in sechs Jahren verlangt eine Minderung, die deutlich über dem bisherigen Tempo liegt. Das Ziel für 2020 wurde knapp verfehlt [Q51]. Ein Teil der Minderung bis 2030 soll über Massnahmen im Ausland angerechnet werden.

2. **Der Verkehr ist das Hauptproblem.** Er verursacht ein Drittel der Emissionen und hat seit 1990 nur 10 % eingespart; bis 2040 müssten es 57 % sein.
3. **Gebäude zeigen, dass es geht.** Die Halbierung seit 1990 geht wesentlich auf den Ersatz fossiler Heizungen durch Wärmepumpen zurück [Q50].
4. **Negativemissionen stehen am Anfang.** 2024 wurden erstmals 705 Tonnen CO_2 als Negativemission ausgewiesen [Q50] – gegenüber einem Bedarf im Millionen-Tonnen-Bereich um 2050.
5. **Direkte Demokratie verlangsamt und stabilisiert.** 2021 lehnte das Volk ein revidiertes CO_2-Gesetz ab [Q51]; das Klima- und Innovationsgesetz wurde später angenommen. Beschlossene Ziele sind dafür breit abgestützt. Die Erfahrung stützt die Folgerungen aus Kapitel 12: Vorlagen mit Fördermassnahmen fanden Mehrheiten, eine Vorlage mit Abgaben nicht.

15.14 Wie sich das Leben in der Schweiz verändert

Die folgende Darstellung verbindet die belegten Befunde zu einem Bild. Sie ist eine Einschätzung dieser Studie, keine Vorhersage. Für 2050 und 2100 werden zwei Pfade unterschieden: konsequenter Klimaschutz (Szenario C) und geltende Politik (Szenario A).

Bis 2030

Der Unterschied zwischen den Szenarien ist bis 2030 klimatisch noch kaum spürbar; die Entwicklung ist weitgehend vorgezeichnet.

- Sommer wie 2026 treten wiederholt auf. Hitzeschutz wird zu einer Daueraufgabe von Gemeinden, Spitälern, Heimen und Arbeitgebern.
- Die Gletscher verlieren weiter rasch an Volumen; weitere kleine Gletscher verschwinden.
- Skigebiete in tiefen Lagen stellen den Betrieb ein oder stellen um.
- Trockene Sommer führen regional zu Einschränkungen bei der Wasserentnahme.
- Schäden durch Hagel, Starkregen und Oberflächenabfluss nehmen zu; Prämien für Elementarschäden steigen.
- Im Alltag sichtbar wird vor allem der Umbau: Wärmepumpen, Solaranlagen, Elektrofahrzeuge, Baustellen an Netzen und Schutzbauten.

Kurzfristig massgebend sind: Hitzeschutz für die ältere Bevölkerung, Überwachung instabiler Hänge, Wassermanagement in trockenen Sommern und das Tempo der Emissionsminderung im Verkehr.

Bis 2050

Bereich	Mit konsequentem Klimaschutz	Bei geltender Politik
Sommer	deutlich heisser als heute; heutige Rekordsommer sind üblich	noch heisser, mit Hitzewellen ausserhalb der bisherigen Erfahrung
Wohnen	Sonnenschutz, Begrünung und Kühlung gehören zum Standard	Kühlung wird in Städten zur Notwendigkeit
Gletscher	weiter stark zurückgegangen; grosse Gletscher bestehen	wie links, mit schnellerem Rückgang

Bereich	Mit konsequentem Klimaschutz	Bei geltender Politik
Wasser	Sommerknappheit regelmässig, bewirtschaftbar	ausgeprägter; Gletscherwasser nimmt auch bei grossen Gletschern ab
Winter	Schneesport konzentriert sich auf hohe Lagen	wie links, stärker ausgeprägt
Energie	weitgehend elektrifiziert; Winterversorgung als Daueraufgabe	Umbau unvollständig; fossile Abhängigkeit bleibt teilweise
Naturgefahren	zunehmend; einzelne Standorte werden aufgegeben	stärker zunehmend

Bis 2050 liegen die beiden Pfade klimatisch noch nahe beieinander, weil das Klimasystem träge reagiert. Was sich bis dahin unterscheidet, ist vor allem die Richtung: Im einen Fall hat sich die Erwärmung verlangsamt und steuert auf ein Plateau zu, im anderen nimmt sie unvermindert zu.

Notwendige Anpassungen bis 2050: hitzeangepasste Städte und Gebäude, Mehrzweckspeicher und regionale Wasserbewirtschaftung, klimaangepasste Wälder, überarbeitete Gefahrenkarten und Raumplanung, ein winterfestes Stromsystem.

Bis 2100

Bereich	Mit konsequentem Klimaschutz	Bei geltender Politik (global rund 3 °C)
Temperatur Schweiz	stabilisiert, deutlich unter den Werten rechts	rund 4,9 °C über vorindustriell [Q13], weiter steigend
Heissester Tag	–	rund 4,4 °C heisser als 1991–2020 [Q13]
Tropennächte Zürich	–	etwa fünfmal so viele [Q13]
Gletscher	rund 37 % des Volumens von 2017 [Q33]	rund 5 %; Engadin und Tessin eisfrei [Q33]
Schneespeicher	−42 % [Q33]	−78 % [Q33]
Sommerabfluss	mässig verringert	−30 bis −50 % [Q33]
Sommertrockenheit	–	44 % intensiver [Q13]
Winterliche Nullgradgrenze	–	rund 1450 m [Q13]

Leere Felder bedeuten, dass der Wert für das tiefere Erwärmungsniveau noch nicht am Original geprüft wurde.

Das Bild einer Schweiz bei geltender Politik am Ende des Jahrhunderts: Die Sommer im Mittelland ähneln jenen, die man heute aus deutlich südlicheren Regionen kennt, mit langen Trockenphasen und heftigen Gewittern. Die Alpen sind weitgehend eisfrei. Schnee liegt im Winter verlässlich nur noch in hohen Lagen. Flüsse führen im Sommer wenig, im Winter viel Wasser. Landwirtschaft, Wald und Siedlungen haben sich angepasst oder sind verlagert worden – zu hohen Kosten, und nicht überall erfolgreich.

Mit konsequentem Klimaschutz ist die Schweiz ebenfalls ein deutlich wärmeres Land als heute, mit stark geschrumpften Gletschern. Die Veränderungen kommen aber zum Stillstand und bleiben in einem Bereich, an den sich das Land mit seinen Mitteln anpassen kann.

Was unumkehrbar ist

- Der Verlust des grössten Teils der Gletscher, in beiden Pfaden.
- Die Verschiebung der Schneefallgrenze nach oben, solange die Temperatur nicht sinkt.
- Aussterben spezialisierter Arten des Hochgebirges, deren Lebensraum nach oben nicht ausweichen kann.

Was sich noch entscheiden lässt, ist das Ausmass: ob ein Drittel oder ein Zwanzigstel des Eises bleibt, ob die Sommertrockenheit zunimmt oder das Land prägt, ob Anpassung möglich bleibt oder an Grenzen stösst.

15.15 Zwischenfazit

Drei Befunde aus diesem Kapitel sind für die Empfehlungen wesentlich.

1. **Die Schweiz ist überdurchschnittlich betroffen und überdurchschnittlich anpassungsfähig.** Die physischen Veränderungen sind grösser als im Weltmittel; Finanzkraft, Institutionen und Erfahrung mit Naturgefahren sind es auch. Das grösste Gesundheitsrisiko, die Hitze, trifft eine alternde Bevölkerung, und der Sommer 2026 zeigt, dass der bisherige Schutz bei Extremhitze nicht genügt.
2. **Das Wasser wird zur Bewirtschaftungsaufgabe.** Es fehlt künftig nicht insgesamt, aber zur falschen Zeit. Speicher, die mehreren Zwecken dienen, und Regeln für die Verteilung in Trockenzeiten werden nötig.
3. **Der grösste Teil des Risikos und der Verantwortung liegt im Ausland.** Der grössere Teil des Fussabdrucks entsteht jenseits der Grenze, und die wirtschaftlichen Risiken der Schweiz hängen stärker von der globalen als von der inländischen Entwicklung ab.

16 Zeitliche Entwicklung bis 2030, 2050 und 2100

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Das Kapitel führt die Befunde der Kapitel 5–15 und der Simulationen (Kap. 17) entlang der Zeitachse zusammen. Angaben «im Modell» stammen aus Kapitel 17; alle übrigen sind mit ihrer Quelle belegt.

16.1 Warum die Zeitachse entscheidet

Das Klimasystem reagiert träge, die Politik ebenfalls. Daraus ergibt sich ein Muster, das alle folgenden Abschnitte prägt:

Zeitraum	Wodurch bestimmt	Einfluss heutiger Entscheidungen auf das Klima
bis 2030	durch vergangene Emissionen und die Trägheit des Systems	praktisch keiner
bis 2050	überwiegend durch vergangene, zunehmend durch heutige Emissionen	gering – im Modell 0,14 °C zwischen A und C2
bis 2100	durch die Emissionen der nächsten Jahrzehnte	gross – im Modell 1,0 °C
nach 2100	durch die bis dahin erreichte Erwärmung und das Verhalten von Eis und Ozean	sehr gross, aber schlecht bezifferbar

Was in den nächsten Jahren entschieden wird, zeigt sich im Klima also erst in der zweiten Jahrhunderthälfte. Bei den Kosten ist es umgekehrt: Sie fallen sofort an. Diese zeitliche Asymmetrie ist die zentrale Schwierigkeit der Klimapolitik (Kap. 12.1).

16.2 Bis 2030: weitgehend festgelegt

Klima. Die Erwärmung liegt 2030 in allen Szenarien bei rund 1,5 °C (im Modell 1,47–1,48 °C). Die menschengemachte Erwärmung betrug 2025 1,37 °C und nimmt um 0,27 °C pro Jahrzehnt zu [Q02]; die langfristige 1,5-°C-Marke wird also um 2030 erreicht. Einzelne Jahre lagen bereits darüber [Q04].

Was absehbar ist:

- Hitzesommer wie 2022 in Europa oder 2026 in der Schweiz treten wiederholt auf [Q48, Q49].
- Starkniederschläge, Dürren und Waldbrände nehmen weiter zu; 2025 verbrannte in Europa die grösste je erfasste Fläche [Q18].
- Gletscher verlieren weiter rasch an Masse; die Schweizer Gletscher haben in fünf Jahren fast ein Fünftel ihres Volumens verloren [Q14].
- Versicherte Schäden wachsen dem Trend nach um 5–7 % pro Jahr, bisher überwiegend wegen steigender Werte in gefährdeten Lagen [Q41].

- Lebensmittelpreise geraten unter Aufwärtsdruck; für 2035 werden 0,9–3,2 Prozentpunkte zusätzliche Lebensmittelinflation pro Jahr geschätzt [Q39].
- Bis 2030 könnten 32–132 Millionen Menschen zusätzlich in extreme Armut geraten [Q40].

Kurzfristig relevante Risiken: Hitze für ältere Menschen und im Freien Arbeitende; Ernteausfälle in mehreren Regionen zugleich; Schäden an Infrastruktur, vor allem an Stromnetzen [Q10]; im Gebirge instabile Hänge.

Kurzfristig relevante Massnahmen. Weil sich das Klima bis 2030 nicht mehr beeinflussen lässt, wirken in diesem Zeitraum nur Anpassung und Vorsorge: Hitzeaktionspläne, Frühwarnung, Überwachung von Naturgefahren, Wassermanagement. Zugleich fällt in diese Jahre die Entscheidung über den Pfad: Für den ehrgeizigsten Verlauf müssten die Emissionen bis 2030 um 18 % und bis 2035 um 45 % sinken [Q01]. Jedes Jahrfünft Verzögerung erhöht die spätere Spitzenerwärmung um knapp ein Zehntelgrad [Q01; im Modell 0,08 °C].

16.3 Bis 2050: die Pfade trennen sich, das Klima noch kaum

Klima.

	A – geltende Politik	B2 – Ziele erfüllt	C2 – konsequent
Erwärmung 2050 (Modell)	1,84 (1,62–2,11) °C	1,79 °C	1,70 (1,42–2,04) °C
Verlauf	steigend	steigend, abflachend	Höchstwert um 2047 erreicht

Die Unterschiede sind kleiner als die Unsicherheit innerhalb jedes Szenarios. Um 2050 lebt die Welt in jedem Fall in einem Klima, das rund 0,3 bis 0,5 °C wärmer ist als heute.

Was sich bis 2050 verändert:

- **Extreme:** Je weiteres halbes Grad nehmen Hitzeextreme und Starkniederschläge klar erkennbar zu [Q06, B.2.2].
- **Wasser:** Schmelzwasser aus Gletschern nimmt in den Alpen auch bei grossen Gletschern spätestens ab 2050 ab [Q33].
- **Küsten:** Rund eine Milliarde Menschen sind in tief liegenden Städten und Siedlungen küstenspezifischen Gefahren ausgesetzt, in allen Szenarien [Q07, B.4.5].
- **Migration:** Bis zu 216 Millionen Binnenmigranten in sechs Weltregionen im ungünstigsten Fall; bis zu 80 % weniger bei raschem Handeln [Q29].
- **Ökosysteme:** Warmwasser-Korallenriffe erleiden schwere Verluste; mehrere Kipppunkt-Schwellen liegen im erreichten Temperaturbereich [Q22, Q23].

Wirtschaft und Staat. Bis 2050 unterscheiden sich die Szenarien vor allem bei den Kosten, nicht bei den Schäden. Im Modell betragen die Schäden 2050 je nach Schadensfunktion 1–11 % der Wirtschaftsleistung in A und kaum weniger in C2; hinzu kommen in C2 Vermeidungskosten von 3,7 %. Die öffentlichen Haushalte sind in C2 bis etwa zur Jahrhundertmitte stärker belastet als in A, sofern ein Teil der Vermeidung öffentlich und ohne Gegenfinanzierung getragen wird (Kap. 17.6).

Infrastruktur. Was bis 2050 gebaut wird – Kraftwerke, Netze, Gebäude, Verkehrswege – bestimmt die Emissionen und die Verwundbarkeit der zweiten Jahrhunderthälfte. Die Emissionen bestehender und geplanter fossiler Anlagen übersteigen bereits das Budget für 1,5 °C [Q08, B.7].

Notwendige Anpassungen bis 2050, unabhängig vom Szenario: hitzeangepasste Städte und Gebäude; Wasserspeicher und Regeln für die Verteilung in Trockenzeiten; klimaangepasste Land- und Forstwirtschaft; überarbeitete Gefahrenkarten; Küstenschutz; ausgebaute und widerstandsfähige Stromnetze; Gesundheitsversorgung, die auf Hitze eingestellt ist.

Die politische Lage um 2050. In C2 sind die Kosten grösstenteils getragen, der Nutzen aber noch kaum sichtbar. In A ist bisher wenig ausgegeben, die Schäden nehmen aber zu. In beiden Fällen ist die Versuchung gross, den eingeschlagenen Weg in Frage zu stellen – im einen, weil sich der Aufwand scheinbar nicht gelohnt hat, im anderen, weil es scheinbar ohne ging.

16.4 Bis 2100: zwei verschiedene Welten

Bereich	C2 – konsequent	B2 – Ziele erfüllt	A – geltende Politik
Erwärmung 2100 (Modell)	1,59 (1,29–1,97) °C	1,95 (1,59–2,41) °C	2,58 (2,16–3,12) °C
Verlauf 2100	stabil	annähernd stabil	steigend, 0,13 °C pro Jahrzehnt
Über 2 °C	4 % der Läufe	41 %	99 %
Meeresspiegel gegenüber 1995–2014 [Q06, B.5.3]	rund 0,3–0,6 m	rund 0,3–0,7 m	rund 0,45–0,75 m
Hochwasserschäden gegenüber 1,5 °C [Q07, B.4.2]	bis 1,4-fach	1,4- bis 2-fach	2,5- bis 3,9-fach bei 3 °C
Landarten mit sehr hohem Aussterberisiko [Q07, B.4.1]	3–14 %	3–18 %	bis 3–29 %
Wirtschaftliche Schäden (Modell, drei Schadensfunktionen)	0,9 / 2,6 / 8,8 %	1,4 / 3,9 / 16,2 %	2,4 / 6,9 / 26,5 %
Schäden in Ländern mit niedrigem Einkommen (Modell, mittlere Funktion)	5,8 %	–	15,4 %
Schweiz: Gletschervolumen gegenüber 2017 [Q33]	rund 37 %	–	rund 5 %
Schweiz: Sommerabfluss [Q33]	mässig verringert	–	−30 bis −50 %

Szenario C2 beschreibt eine Welt, die deutlich wärmer ist als die heutige, sich aber nicht weiter erwärmt. Die Schäden sind erheblich, bleiben für wohlhabende Gesellschaften aber weitgehend im Bereich des Anpassbaren. Für verwundbare Regionen und empfindliche Ökosysteme gilt das nicht in gleichem Mass.

Szenario A beschreibt eine Welt, in der die Erwärmung am Ende des Jahrhunderts anhält. Die Hitzebelastung in den mittleren Breiten liegt an den heissesten Tagen 4 bis 6 °C über dem vorindustriellen Niveau (Kap. 8.8). Fast alle geschätzten Kipppunkt-Schwellen sind überschritten. Anpas-

sung stösst in armen Regionen an finanzielle und in einzelnen Bereichen an harte Grenzen [Q07, C.3]. Die Belastung der Staatshaushalte wächst im Modell ohne Obergrenze.

Szenario B2 liegt dazwischen und ist nach dem Politikmodell (Kap. 17.8) die Entwicklung, auf die eine von Zustimmung abhängige Politik am ehesten zuläuft.

16.5 Nach 2100

Mehrere Folgen setzen sich fort, auch wenn die Temperatur stabil bleibt:

- **Meeresspiegel.** Er steigt über Jahrhunderte bis Jahrtausende weiter. Über 2000 Jahre sind es rund 2–3 m bei 1,5 °C und 2–6 m bei 2 °C [Q06, B.5.4, geringes Vertrauen]. Bis 2150 liegt der wahrscheinliche Bereich für den mittleren Pfad bei 0,66–1,33 m [Q06, B.5.3].
- **Eis.** Gletscher schmelzen über Jahrzehnte bis Jahrhunderte weiter [Q06, B.5.2].
- **Ozean.** Erwärmung und Versauerung der Tiefe sind über Jahrhunderte bis Jahrtausende unumkehrbar [Q04].
- **Temperatur in Szenario A.** Sie steigt weiter, solange Emissionen anfallen. In der bis 2200 verlängerten Simulation erreicht sie 3,6 (2,9–4,6) °C, wenn die Emissionen im bisherigen Tempo weiter sinken, und 3,4 °C, wenn sie bis 2200 auf null fallen. In C2 bleibt sie bei rund 1,65 °C. Der Abstand zwischen den Pfaden verdoppelt sich damit auf 2 °C (Kap. 17.10). Diese Werte sind Fortschreibungen unter gesetzten Annahmen.

Die Entscheidungen dieses Jahrhunderts legen damit Küstenlinien und Lebensräume ferner Generationen fest. Kostenrechnungen, die 2100 enden, erfassen das nicht: Wird die Rechnung bis 2200 verlängert, kehrt sich bei mittleren Schadensannahmen das Ergebnis zugunsten des Klimaschutzes um (Kap. 17.10).

16.6 Was ist noch vermeidbar, was nicht mehr?

	Bereits weitgehend unvermeidbar	Noch vermeidbar	Unumkehrbar, wenn eingetreten
Temperatur	Überschreiten von 1,5 °C [Q01, Q10]; rund 1,7 °C um 2050	Überschreiten von 2 °C; fortgesetzte Erwärmung nach 2100	auf menschlichen Zeitskalen ja, ohne grossflächige CO_2-Entnahme
Hitze und Extreme	weitere Zunahme bis 2050	die Verdoppelung bis Vervierfachung der Hochwasserschäden gegenüber 1,5 °C	nein – folgt der Temperatur
Meeresspiegel	0,3–0,5 m bis 2100; weiterer Anstieg danach	der obere Teil der Spanne; mehrere Meter über Jahrhunderte	ja
Gletscher	Verlust des grösseren Teils der Alpengletscher	der Unterschied zwischen einem Drittel und einem Zwanzigstel	ja
Korallenriffe	schwere Verluste [Q23]	–	weitgehend
Artenverlust	erste klimabedingte Aussterben [Q07, B.1.2]	die Verdoppelung des Aussterberisikos zwischen 1,5 und 3 °C	ja

	Bereits weitgehend unvermeidbar	Noch vermeidbar	Unumkehrbar, wenn eingetreten
Kipppunkte	einzelne Schwellen möglicherweise erreicht [Q22, Q23]	das Überschreiten der Schwellen um 2 °C und darüber	ja
Wirtschaft	Schäden bis 2050 in ähnlicher Höhe in allen Pfaden	der grössere Teil der Schäden nach 2050	teilweise
Ungleichheit	stärkere Betroffenheit der Ärmsten	ihr Ausmass – durch Anpassungshilfe und Entwicklung	nein

Zwei Folgerungen:

1. **«Unvermeidbar» heisst nicht «unbeeinflussbar».** Auch bei Folgen, die sicher eintreten, entscheidet Anpassung über das Ausmass der Schäden. Das gilt besonders für Hitze, Hochwasser und die Lage der Ärmsten.
2. **Vermeidbar ist vor allem das Ausmass in der zweiten Jahrhunderthälfte und danach.** Der Unterschied zwischen den Szenarien ist kein Unterschied zwischen Schaden und keinem Schaden, sondern zwischen einem Klima, das sich stabilisiert, und einem, das sich weiter verändert.

16.7 Zusammenfassung

- **2030** ist entschieden. Hier zählt Vorsorge.
- **2050** ist klimatisch weitgehend entschieden, wirtschaftlich und politisch aber die Phase, in der die Kosten des einen und die Schäden des anderen Pfades sichtbar werden, ohne dass der Nutzen schon erkennbar wäre.
- **2100 und danach** entscheidet sich an den Emissionen der nächsten zwei bis drei Jahrzehnte.

17 Eigene Computersimulationen und Modellversuche

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Alle Zahlen dieses Kapitels stammen aus dem Gesamtlauf des Modells KLIMGES (`ergebnisse/tabellen/`, `ergebnisse/kalibrierung.json`). Modellbeschreibung, Parameter und Grenzen: Kapitel 23. Angaben in der Form «2,58 (2,16–3,12)» bezeichnen Median und 5–95-%-Bereich des Ensembles.

17.1 Was die Simulationen leisten sollen

Die Simulationen beantworten Fragen, die sich aus der Literatur nicht direkt ablesen lassen: Was kostet Verzögerung? Wie verhalten sich Kosten und Nutzen über die Zeit? Wer trägt die Lasten? Wie wirkt Politik auf sich selbst zurück?

Vier Arten von Aussagen sind zu unterscheiden:

Art	Beispiel in diesem Kapitel
Messdaten	Temperatur- und CO_2-Reihen, gegen die das Modell geprüft wird
Annahmen	Emissionspfade, Schadensfunktionen, Verhaltensregeln der Agenten
Rechenergebnisse	Temperaturen, Kosten, Verteilungen – gültig innerhalb des Modells
Deutungen	Schlüsse daraus, jeweils als solche gekennzeichnet

Eine Simulation ist keine Vorhersage. Sie zeigt, was aus den Annahmen folgt und welche Annahmen das Ergebnis bestimmen.

17.2 Validierung des Klimamoduls

Rückrechnung

Das Modell wird ab 1850 mit den gemessenen Emissionen betrieben. Aus 40 000 zufällig gezogenen Parameterkombinationen bleiben 3112, die Temperatur und CO_2 der Messreihen treffen (Kap. 23.5).

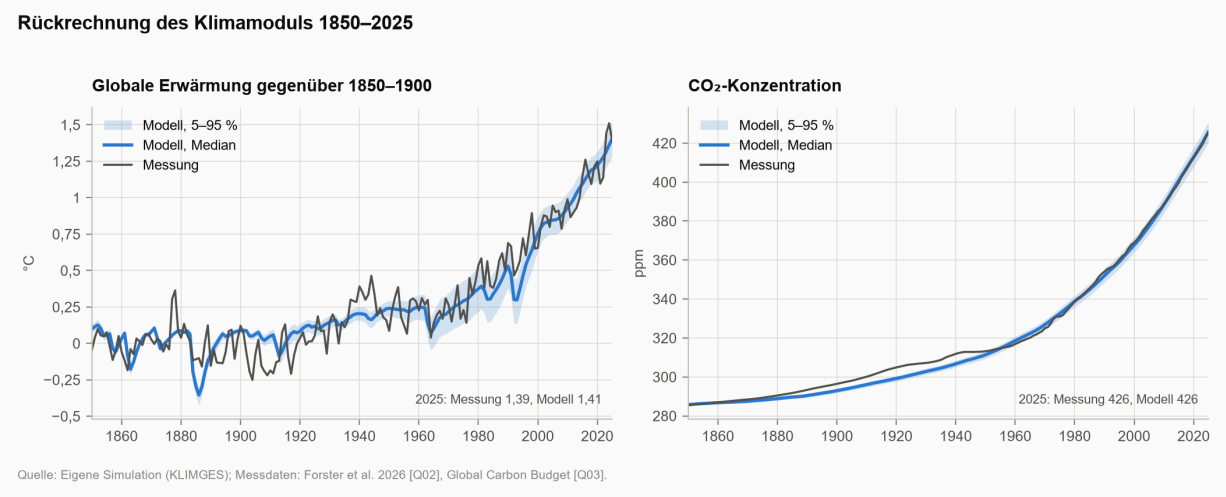


Abbildung 17.1: Rückrechnung von Temperatur und CO_2-Konzentration 1850–2025.

Prüfgrösse	Messung	Modell
CO_2-Konzentration 2025	425,7 ppm	425,8 ppm
Mittlere Abweichung CO_2 1850–2025	–	2,8 ppm
Erwärmung 2016–2025	1,26 °C	1,25 °C
Mittlere Abweichung Temperatur, Jahreswerte	–	0,12 °C
Mittlere Abweichung Temperatur, 10-Jahres-Mittel	–	0,08 °C
Erwärmungstrend 2006–2025	0,30 °C pro Jahrzehnt	0,29 °C pro Jahrzehnt
In der Atmosphäre verbleibender Anteil der Emissionen 1960–2025	44 %	44 %

Die Übereinstimmung bei der Erwärmung 2016–2025 ist kein unabhängiger Test, weil das Ensemble auf diesen Wert abgeglichen wurde. Unabhängig geprüft sind der zeitliche Verlauf, der Trend der letzten 20 Jahre und der Luftanteil. Die Abweichungen der Jahreswerte gehen überwiegend auf natürliche Schwankungen wie El Niño zurück, die das Modell nicht abbildet. Zwischen 1900 und 1950 liegt die modellierte CO_2-Konzentration bis zu 5 ppm unter der gemessenen.

Vergleich mit bewerteten Grössen des IPCC

Grösse	IPCC AR6	Modell
Gleichgewichts-Klimasensitivität	3,0 °C; wahrscheinlich 2,5–4,0; sehr wahrscheinlich 2–5 [Q06, A.4.4]	2,8 °C; 17–83 %: 2,3–3,4; 5–95 %: 2,1–3,9
Erwärmung je 1000 Gt CO_2	0,45 °C; wahrscheinlich 0,27–0,63 [Q06, D.1.1]	0,40 °C; 17–83 %: 0,36–0,45
Temperaturänderung 50 Jahre nach Emissionsstopp	annähernd null	−0,02 °C (−0,10 bis +0,11)
Meeresspiegel 2100, mittlerer Pfad	0,44–0,76 m (SSP2-4.5) [Q06, B.5.3]	0,42–0,48 m (Szenario A, 17–83 %)
Meeresspiegel 2100, sehr tiefer Pfad	0,28–0,55 m (SSP1-1.9) [Q06, B.5.3]	0,36–0,41 m (Szenario C1, 17–83 %)

Befund. Temperatur und Kohlenstoffkreislauf liegen innerhalb der bewerteten Bereiche, jeweils etwas unter dem besten Schätzwert des IPCC. Zwei Abweichungen sind für die Deutung wichtig:

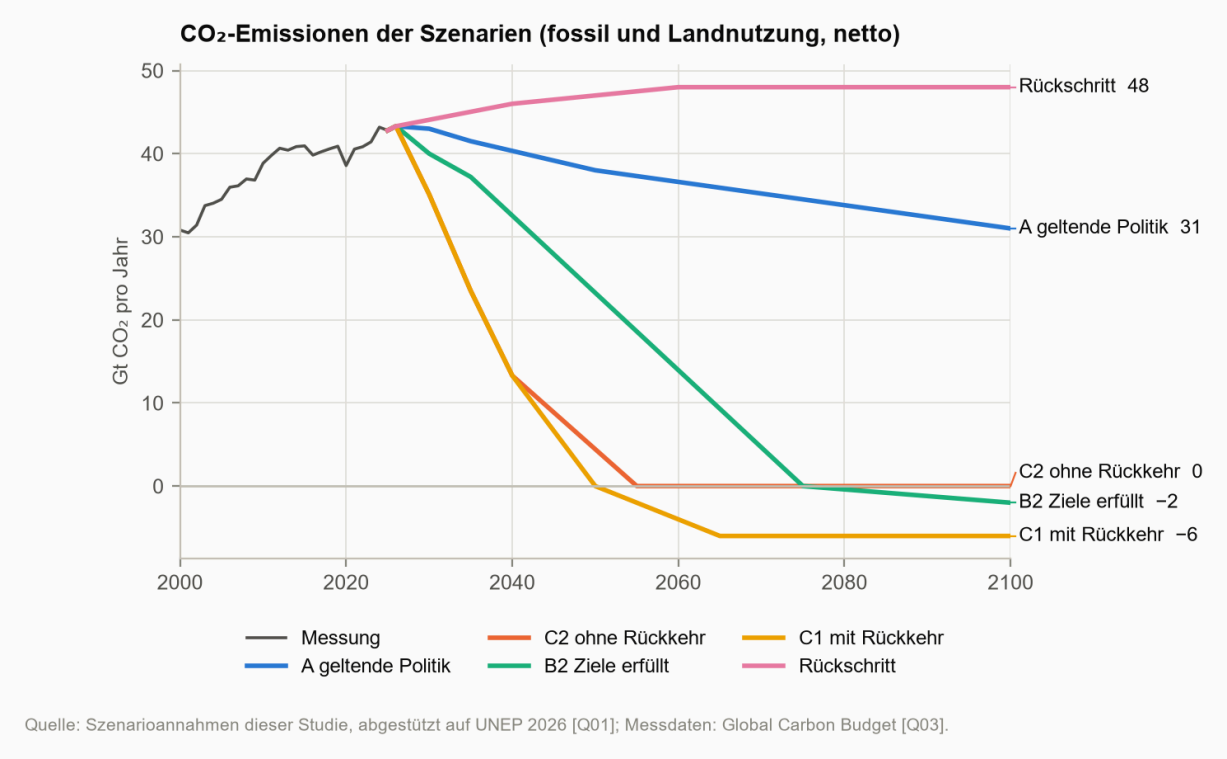
1. **Die Klimasensitivität ist nach dem Abgleich tiefer als beim IPCC** (Median 2,8 statt 3,0 °C), und Werte über 4 °C sind selten. Der Abgleich mit der bisherigen Erwärmung drückt die Sensitivität nach unten; der IPCC stützt sich zusätzlich auf Klimageschichte und Prozessverständnis. Risiken am oberen Rand unterschätzt das Modell deshalb eher.
2. **Der Meeresspiegel liegt für Szenario A am unteren Rand des IPCC-Bereichs,** und die Spanne ist viel zu eng. Das semi-empirische Modul bildet keine beschleunigte Eisschilddynamik ab. Meeresspiegelangaben in dieser Studie stammen deshalb aus dem IPCC (Kap. 8.5), nicht aus dem eigenen Modell.

Vergleich mit den Politikszenarien von UNEP

Grösse	UNEP 2026 [Q01]	Modell
Geltende Politik, Erwärmung 2100	bis 2,8 °C, weiter steigend	2,6 °C im Median, 2,7 °C beim 66. Perzentil; Anstieg 0,13 °C pro Jahrzehnt
Ziele erfüllt (NDC und Netto-Null)	2,1 °C	1,95 °C im Median, 2,05 °C beim 66. Perzentil
Geringstmöglicher Overshoot, Spitze	1,7–1,8 °C	1,71 °C
Geringstmöglicher Overshoot, 2100	1,5 °C mit rund 50 %	1,47 °C; 57 % der Läufe bei höchstens 1,5 °C
Spitzenerwärmung je fünf Jahre Verzögerung	rund +0,1 °C	+0,08 °C

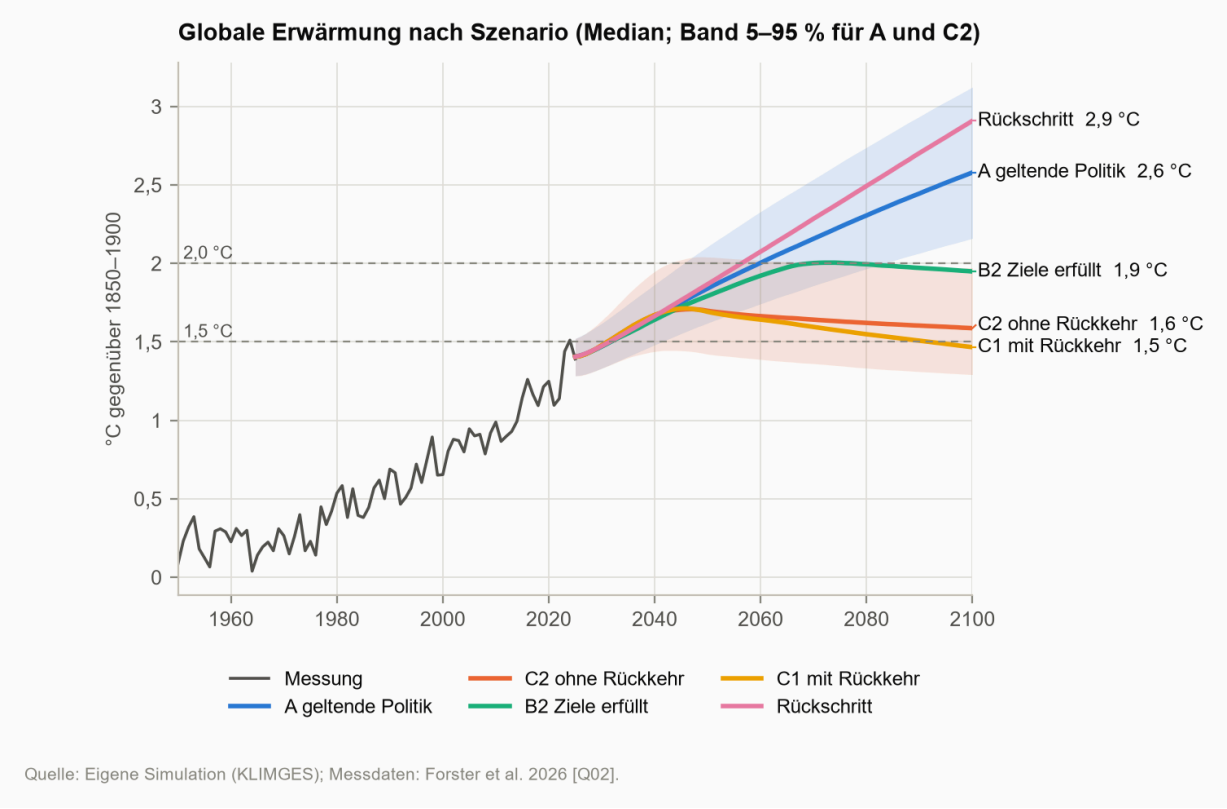
Das Modell gibt die Ergebnisse der UNEP-Szenarien auf etwa ein Zehntelgrad wieder. Da die Emissionspfade A und B2 auf die UNEP-Aussagen abgestimmt wurden, ist das bei diesen beiden eine Konsistenzprüfung; für C1 und die Verzögerungswirkung ist es ein unabhängiger Vergleich.

17.3 Versuch 1: Weiter wie bisher



Quelle: Szenarioannahmen dieser Studie, abgestützt auf UNEP 2026 [Q01]; Messdaten: Global Carbon Budget [Q03].

Abbildung 17.2: CO_2-Emissionen der Szenarien.



Quelle: Eigene Simulation (KLIMGES); Messdaten: Forster et al. 2026 [Q02].

Abbildung 17.3: Globale Erwärmung nach Szenario.

	2030	2050	2100
A – geltende Politik	1,47 °C	1,84 (1,62–2,11) °C	2,58 (2,16–3,12) °C

	2030	2050	2100
Rückschritt	1,47 °C	1,87 (1,66–2,12) °C	2,91 (2,47–3,49) °C

Unter geltender Politik überschreitet die Erwärmung 2 °C bis 2100 in 99 % der Läufe, 2,5 °C in 61 % und 3 °C in 9 %. Die Temperatur steigt 2100 weiter, um 0,13 °C pro Jahrzehnt. Die CO_2-Konzentration erreicht rund 590 ppm. Im Rückschritt-Fall wird 3 °C in 38 % der Läufe überschritten.

Wirtschaftliche Schäden in Szenario A als Anteil der Wirtschaftsleistung:

Schadensfunktion	2050	2100
S1 – aufzählend (DICE-2023)	1,1 %	2,4 (1,7–3,5) %
S2 – Meta-Analyse, hoch	3,1 %	6,9 (4,8–10,1) %
S3 – ökonometrisch (Bilal & Känzig)	10,6 %	26,5 (19,2–35,0) %

Zwischen der tiefsten und der höchsten Schadensfunktion liegt ein Faktor elf. Die physikalische Unsicherheit innerhalb einer Schadensfunktion (Faktor zwei zwischen dem 5. und dem 95. Perzentil) ist dagegen klein. Die Frage «Was kostet der Klimawandel?» wird also weit stärker von der ökonomischen Methode bestimmt als von der Unsicherheit des Klimasystems.

Verteilung. Schäden 2100 in Szenario A nach Einkommensgruppe (Schadensfunktion S2): hohes Einkommen 3,6 %, oberes mittleres 6,9 %, unteres mittleres 11,1 %, niedriges Einkommen 15,4 %. Das Gefälle folgt aus den angenommenen Verwundbarkeiten und Anpassungsausgaben; es ist eine Umsetzung der Aussage des IPCC [Q07, B.4.6], kein eigenständiges Ergebnis.

17.4 Versuch 2: Konsequenter Klimaschutz

Klima

	2050	Spitze	2100	Über 2 °C im Jahr 2100
A – geltende Politik	1,84 °C	2,58 °C (2100, steigend)	2,58 (2,16–3,12) °C	99 %
B2 – Ziele erfüllt	1,79 °C	2,01 °C (um 2072)	1,95 (1,59–2,41) °C	41 %
C2 – konsequent, ohne Rückkehr	1,70 °C	1,71 °C (um 2047)	1,59 (1,29–1,97) °C	4 %
C1 – konsequent, mit Rückkehr	1,69 °C	1,71 °C (um 2046)	1,47 (1,19–1,83) °C	1 %

Drei Befunde:

1. **Bis 2050 unterscheiden sich die Pfade kaum.** Zwischen A und C2 liegen 2050 nur 0,14 °C, 2100 dagegen 1,0 °C. Der Nutzen des Klimaschutzes fällt überwiegend in der zweiten Jahrhunderthälfte an – die Kosten vorher.
2. **Auch konsequenter Klimaschutz überschreitet 1,5 °C.** In C2 liegt die Erwärmung 2100 in 67 % der Läufe über 1,5 °C, in C1 in 43 %. Die Rückkehr unter 1,5 °C in C1 beruht auf 258 Gt netto-negativen Emissionen.

3. **Die Spitze fällt in den Minderungspfaden früh an,** um 2046, auch weil mit sinkenden Emissionen die kühlende Wirkung der Aerosole wegfällt.

Kosten und vermiedene Schäden

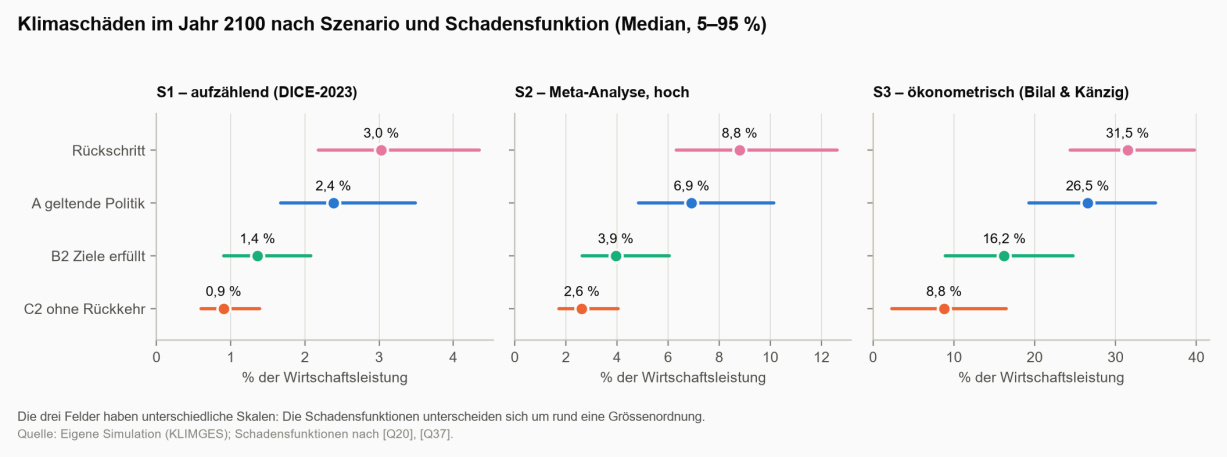
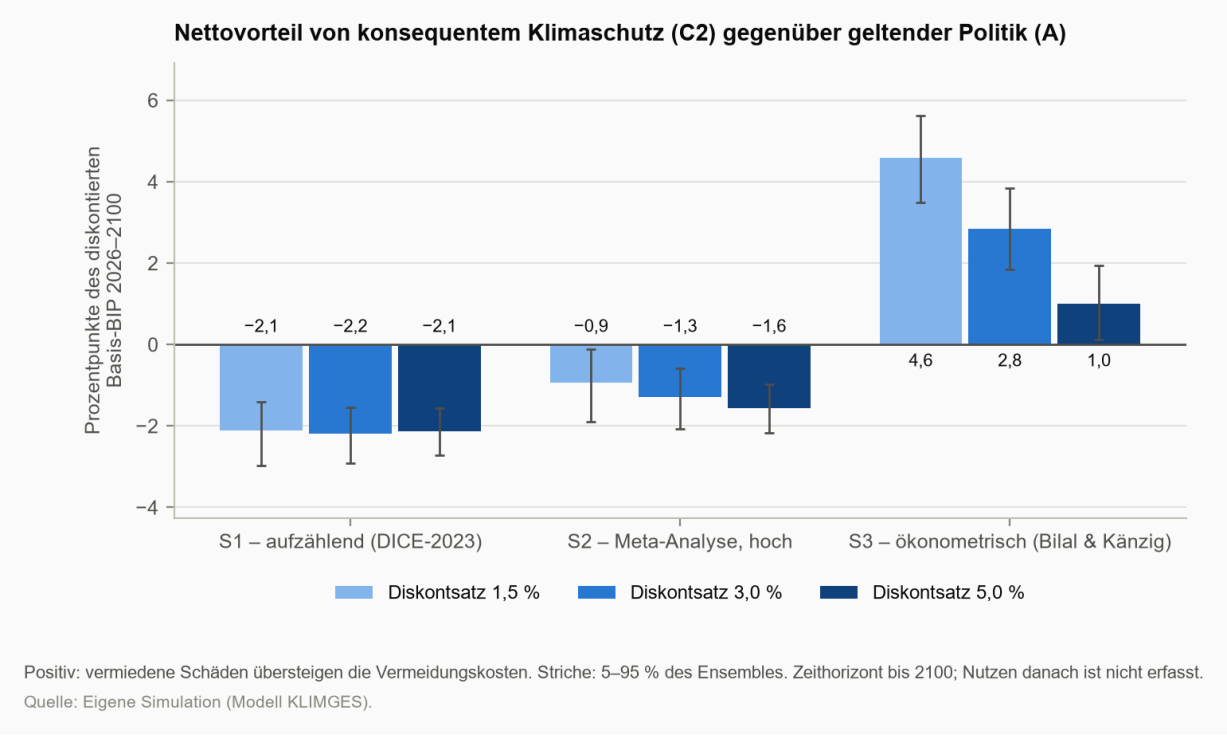


Abbildung 17.4: Klimaschäden 2100 nach Szenario und Schadensfunktion.

Vermeidungskosten in C2: 3,7 % der Wirtschaftsleistung im Jahr 2050 und 1,9 % im Jahr 2100. Sie sind auf die Angaben des IPCC kalibriert (Kap. 23.6) und enthalten keinen Zusatznutzen wie sauberere Luft.

Jährliche Gesamtlast aus Schäden, Vermeidung und Anpassung, in Prozent der Wirtschaftsleistung:

Schadensfunktion	A 2050	C2 2050	A 2100	C2 2100	C2 dauerhaft günstiger ab
S1	1,4	5,0	2,7	3,2	nicht vor 2100
S2	3,4	6,7	7,2	5,0	2081
S3	11,0	13,6	26,8	11,1	2059



Positiv: vermiedene Schäden übersteigen die Vermeidungskosten. Striche: 5–95 % des Ensembles. Zeithorizont bis 2100; Nutzen danach ist nicht erfasst.
Quelle: Eigene Simulation (Modell KLIMGES).

Abbildung 17.5: Nettovorteil von C2 gegenüber A über den Zeitraum 2026–2100.

Über den ganzen Zeitraum 2026–2100 zusammengefasst und diskontiert:

Schadensfunktion	Nettovorteil von C2 gegenüber A (Diskontsatz 1,5 % / 3 % / 5 %)	Anteil der Läufe, in denen C2 besser abschneidet
S1	−2,1 / −2,2 / −2,1 Prozentpunkte	0 %
S2	−0,9 / −1,3 / −1,6	0–3 %
S3	+4,6 / +2,8 / +1,0	97–100 %

Deutung. Ob sich konsequenter Klimaschutz innerhalb dieses Jahrhunderts rein rechnerisch «lohnt», hängt im Modell an der Schadensfunktion, nicht am Diskontsatz und nicht an der Klimaunsicherheit. Mit der aufzählenden Funktion S1 schneidet die geltende Politik besser ab – das entspricht dem Ergebnis des zugrunde liegenden Modells DICE-2023 selbst, dessen kostenoptimaler Pfad bei 2,6 °C liegt [Q20]. Mit der ökonometrischen Funktion S3 ist konsequenter Klimaschutz in praktisch allen Läufen überlegen. Bei S2 überwiegen bis 2100 knapp die Kosten, ab 2081 kehrt sich das Verhältnis um.

Dieses Ergebnis ist mit vier Einschränkungen zu lesen, die alle in dieselbe Richtung wirken – zugunsten des Klimaschutzes:

- **Der Horizont endet 2100.** In A steigt die Temperatur dann noch, in C2 nicht mehr. Bei S2 liegt die jährliche Last in A im Jahr 2100 bereits 2,3 Prozentpunkte über jener in C2, und dieser Abstand wächst danach weiter. Versuch 8 (Kap. 17.10) verlängert die Rechnung bis 2200; bei S2 kehrt sich das Ergebnis dadurch um.
- **Zusatznutzen fehlt.** Sauberere Luft und geringere Brennstoffimporte sind nicht bewertet.
- **Kipppunkte und irreversible Verluste** sind in S1 und S2 nur pauschal oder gar nicht enthalten (Versuch 7).
- **Die Klimasensitivität** ist im Modell eher tief (Kap. 17.2).

In die Gegenrichtung wirkt, dass die Vermeidungskosten eine weltweit abgestimmte, effiziente Politik unterstellen.

Der Befund, dass die Wirtschaftlichkeit von der Schadensfunktion abhängt, stimmt mit der Literatur überein: Der IPCC hält den Nutzen einer Begrenzung auf 2 °C in den meisten Studien für grösser als die Kosten, mit mittlerem Vertrauen [Q08, C.12]. Für das 2-°C-nahe Szenario B2 ergibt das Modell bei S3 einen Vorteil (+0,3 bis +1,5 Prozentpunkte), bei S1 und S2 einen Nachteil (−0,6 bis −1,4).

17.5 Versuch 3: Verzögerter Klimaschutz

Szenario A gilt bis zum Startjahr; danach folgt derselbe Minderungsverlauf wie in C2.

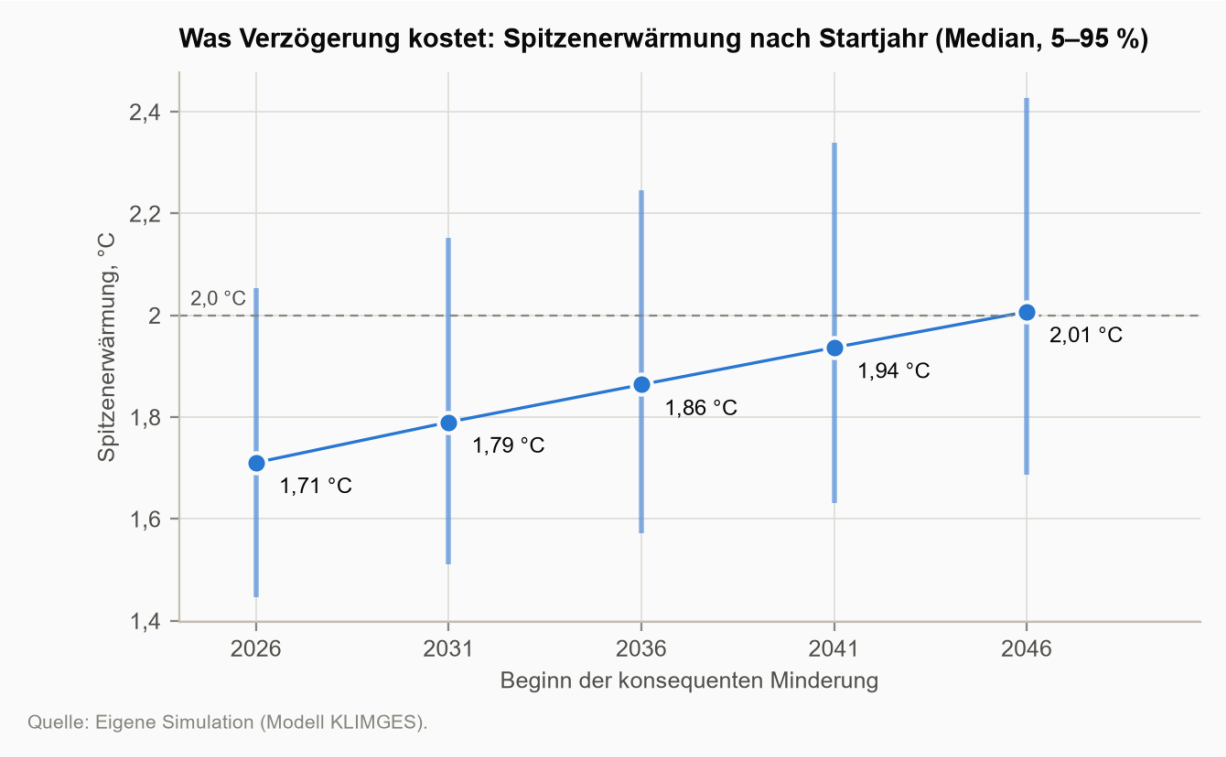


Abbildung 17.6: Spitzenerwärmung nach Beginn der konsequenten Minderung.

Beginn	Kumulierte Emissionen 2026–2100	Spitzenerwärmung	Erwärmung 2100	Spitze über 2 °C
2026	517 Gt CO_2	1,71 (1,45–2,05) °C	1,59 °C	8 %
2031	725 Gt	1,79 °C	1,67 °C	15 %
2036	919 Gt	1,86 °C	1,75 °C	26 %
2041	1109 Gt	1,94 °C	1,83 °C	38 %
2046	1293 Gt	2,01 (1,69–2,43) °C	1,90 °C	51 %

Physikalisch ist der Zusammenhang nahezu linear: Jedes Jahrfünft Verzögerung fügt rund 200 Gt CO_2 und 0,08 °C hinzu. Die Wahrscheinlichkeit, 2 °C zu überschreiten, steigt in 20 Jahren von 8 % auf 51 %. Dieser Verlust lässt sich später nur durch CO_2-Entnahme ausgleichen.

Wirtschaftlich ist das Bild uneinheitlich. Der diskontierte Gesamtaufwand bis 2100 (Diskontsatz 3 %) verändert sich mit zwanzig Jahren Verzögerung wie folgt: bei S1 von 3,9 auf 2,8 %, bei S2 von 5,5 auf 4,8 %, bei S3 von 11,0 auf 12,9 %. Bei tiefen Schadensannahmen senkt Verzögerung also den rechnerischen Aufwand, weil Kosten später anfallen und stärker diskontiert werden; bei hohen Schadensannahmen erhöht sie ihn.

Deutung. Verzögerung ist kein neutrales Aufschieben. Sie erkauft eine geringere Belastung in den nächsten Jahrzehnten mit einer dauerhaft höheren Temperatur. Ob das als Gewinn oder Verlust erscheint, hängt davon ab, wie hoch man Schäden ansetzt und wie stark man die Zukunft abwertet – also an Wertungen, nicht an Fakten.

17.6 Versuch 4: Wirtschaftliche Belastbarkeit der Staatshaushalte

Berechnet wird die zusätzliche Belastung der öffentlichen Haushalte durch ihren Anteil an Schäden, Anpassung und Vermeidung (Kap. 23.7). Die Ausgangswerte sind stilisiert; aussagekräftig sind die Verläufe und Verhältnisse.

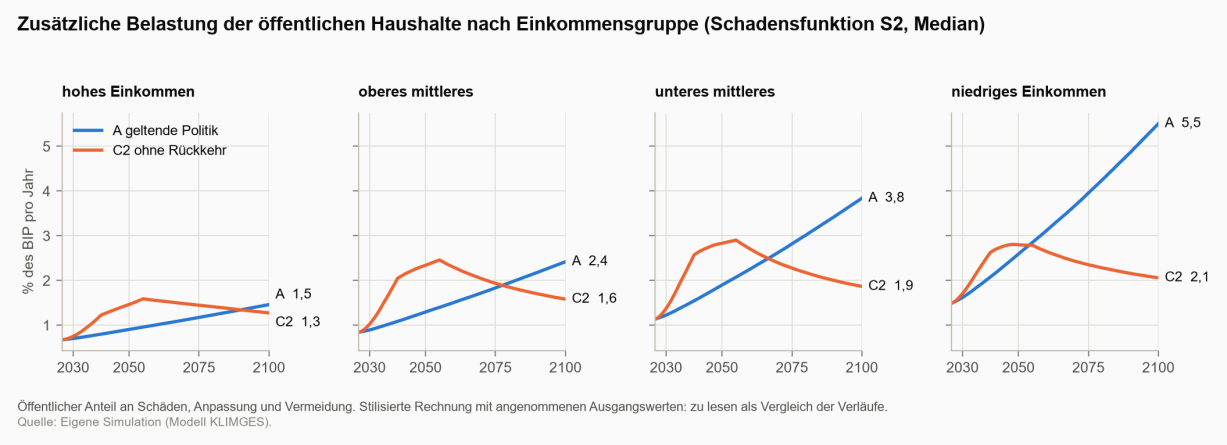


Abbildung 17.7: Zusätzliche Belastung der öffentlichen Haushalte nach Einkommensgruppe (Schadensfunktion S2).

Zusätzliche Haushaltsbelastung in Prozent der Wirtschaftsleistung pro Jahr, Schadensfunktion S2:

Einkommensgruppe	A 2035	A 2100	C2 2035	C2 2050	C2 2100
hoch	0,8	1,5	1,0	1,5	1,3
oberes mittleres	1,0	2,4	1,5	2,3	1,6
unteres mittleres	1,4	3,8	2,0	2,8	1,9
niedrig	1,8	5,5	2,2	2,8	2,1

Befunde.

1. **Die Lasten fallen zeitlich gegenläufig an.** In C2 ist die Belastung bis etwa zur Jahrhundertmitte höher, danach tiefer als in A. Der Kreuzungspunkt liegt je nach Gruppe zwischen etwa 2055 und 2090.
2. **In Szenario A wächst die Last ohne Obergrenze,** am stärksten in den ärmsten Ländern: von 1,8 auf 5,5 % der Wirtschaftsleistung. In C2 erreicht sie um 2050 einen Höchstwert und sinkt dann.

3. **Arme Länder tragen in beiden Pfaden relativ mehr,** in A am Ende aber ein Mehrfaches.

Wer bezahlt die Vermeidung? Das Ergebnis hängt stark davon ab, welcher Teil der Vermeidungskosten die öffentlichen Haushalte belastet. Weltweite mittlere Zusatzlast bei S2:

Öffentlicher Anteil an den Vermeidungskosten	A 2026–2060	C2 2026–2060	A 2061–2100	C2 2061–2100
0 % (privat getragen oder durch CO_2-Einnahmen gedeckt)	1,1	1,0	2,0	1,1
25 % (Grundannahme)	1,1	1,6	2,0	1,8
50 %	1,1	2,3	2,0	2,5

Wird die Vermeidung über CO_2-Einnahmen oder privat finanziert, belastet konsequenter Klimaschutz die Haushalte von Anfang an weniger als die geltende Politik. Wird die Hälfte öffentlich und ohne Gegenfinanzierung getragen, belastet er sie dauerhaft mehr.

Verschuldung. Ohne Gegenmassnahmen stiege die Schuldenquote bei S2 um 50 Prozentpunkte: in Szenario A um 2069 (hohes Einkommen) bis 2045 (niedriges Einkommen), in C2 um 2058 bis 2043. Diese Jahreszahlen sind keine Prognosen. Sie zeigen, dass die Tragfähigkeit in ärmeren Ländern in beiden Pfaden früh unter Druck gerät und dass ein grosser öffentlicher Anteil an der Vermeidung den Druck in der ersten Jahrhunderthälfte erhöht.

Deutung. Aus Sicht der Staatsfinanzen ist konsequenter Klimaschutz eine Vorfinanzierung. Ob sie tragbar ist, entscheidet sich an der Finanzierungsform. Für Länder mit geringer Finanzkraft ist sie aus eigener Kraft kaum zu leisten – ein rechnerischer Beleg für die Bedeutung internationaler Finanzierung (Kap. 11.7).

17.7 Versuch 5: Soziale Ungleichheit

Im Agentenmodell erleiden 4000 Haushalte mit ungleichem Einkommen Schadensereignisse und entscheiden, ob sie sich schützen (Kap. 23.8).

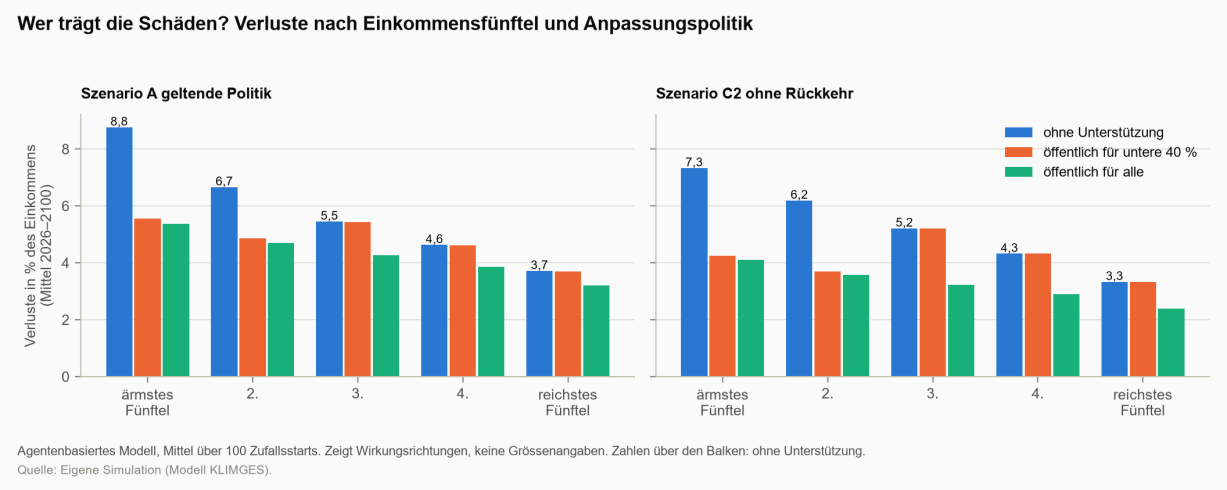


Abbildung 17.8: Verluste nach Einkommensfünftel und Anpassungspolitik.

	Szenario A			Szenario C2		
Unterstützung	keine	untere 40 %	alle	keine	untere 40 %	alle
Verlust ärmstes Fünftel, % des Einkommens	8,8	5,6	5,4	7,3	4,3	4,1
Verlust reichstes Fünftel	3,7	3,7	3,2	3,3	3,3	2,4
Verhältnis ärmstes zu reichstem Fünftel	2,4	1,5	1,7	2,2	1,3	1,7
Öffentliche Kosten, % des Gesamteinkommens	0	0,19	0,67	0	0,19	0,67
Vermiedene Verluste je eingesetzter öffentlicher Einheit	–	2,1	1,5	–	2,3	2,3
Ungleichheit der Vermögen 2100 (Gini; Ausgangswert 0,48)	0,57	0,51	0,50	0,54	0,49	0,48

Die Streuung zwischen den 100 Zufallsstarts ist klein (Standardabweichung des Verhältnisses rund 0,05).

Befunde.

1. **Ohne Unterstützung tragen die Ärmsten relativ mehr als das Doppelte.** Zwei Mechanismen wirken: höhere Exposition (eine Annahme) und fehlende Mittel für Schutzmassnahmen (ein Ergebnis). Privat schützen sich in Szenario A 99 % des reichsten Fünftels, aber nur 18 % des ärmsten.
2. **Klimaschäden vergrössern die Vermögensungleichheit.** Der Gini-Koeffizient steigt in A ohne Unterstützung von 0,48 auf 0,57.
3. **Gezielte Unterstützung ist wirksamer je eingesetztem Franken als allgemeine,** verringert die Ungleichheit fast ebenso stark und kostet weniger als ein Drittel.
4. **Weniger Erwärmung senkt den privaten Anpassungsanreiz.** In C2 schützen sich aus eigenem Antrieb deutlich weniger Haushalte (im reichsten Fünftel 65 statt 99 %), weil es sich seltener lohnt. Die Verluste des ärmsten Fünftels sind in C2 ohne Unterstützung (7,3 %) deshalb höher als in A mit gezielter Unterstützung (5,6 %).
5. **Emissionsminderung und Anpassungshilfe ergänzen sich.** Die tiefsten Verluste der Ärmsten entstehen, wenn beides zusammenkommt (4,3 %).

Robustheit. Über neun Varianten mit anderer Einkommensabhängigkeit der Exposition (keine, mittlere, starke) und anderer Schadenshöhe (halb, einfach, anderthalbfach) liegt das Verhältnis ohne Unterstützung stets über 1 (1,3 bis 3,2) und sinkt mit gezielter Unterstützung in allen neun

Fällen (auf 0,7 bis 2,5). Selbst wenn Arme und Reiche gleich exponiert sind, tragen die Ärmsten relativ mehr, weil sie sich seltener schützen können. Die Richtung der Befunde 1 bis 3 ist also robust; die Zahlenwerte sind es nicht.

17.8 Versuch 6: Politische Reaktionsfähigkeit

Im zweiten Agentenmodell entsteht die Strenge der Klimapolitik aus der Unterstützung der Bevölkerung in fünf Regionen (Kap. 23.8). Variiert wurden fünf Stellgrössen in 108 Kombinationen mit je 100 Zufallsstarts.

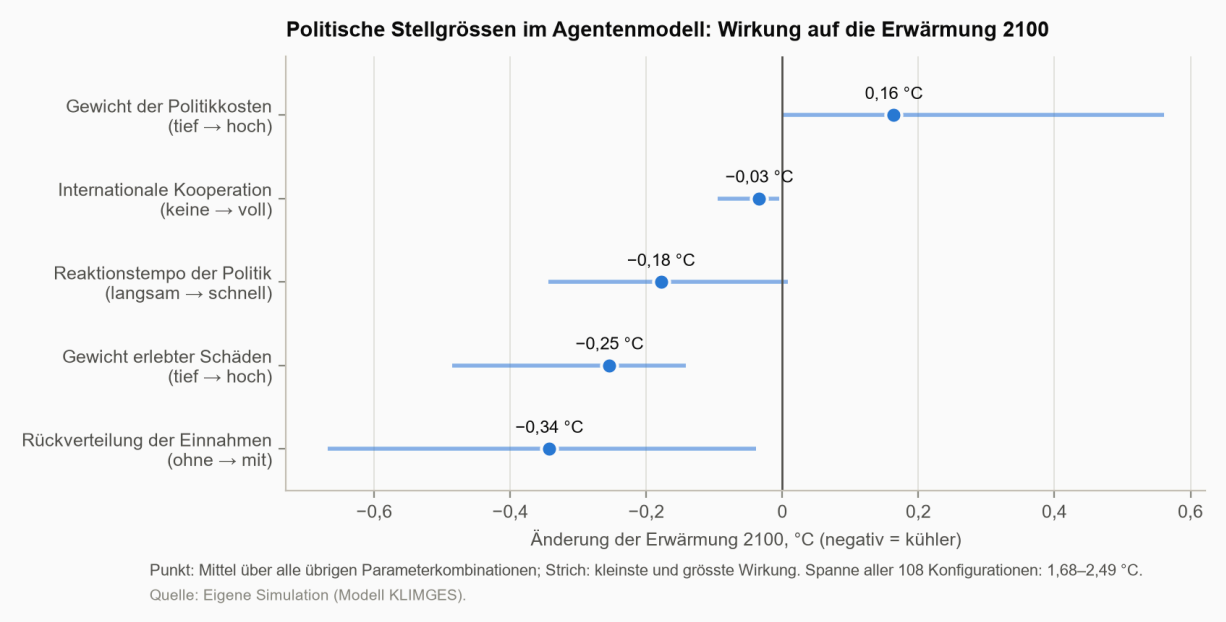


Abbildung 17.9: Wirkung politischer Stellgrössen auf die Erwärmung 2100.

Stellgrösse	Mittlere Wirkung auf die Erwärmung 2100	Spanne über alle übrigen Kombinationen	Kühlend in
Rückverteilung der Einnahmen (ohne → mit)	−0,34 °C	−0,67 bis −0,04	100 % der Fälle
Gewicht erlebter Schäden (tief → hoch)	−0,25 °C	−0,49 bis −0,14	100 %
Reaktionstempo der Politik (langsam → schnell)	−0,18 °C	−0,34 bis +0,01	78 %
Internationale Kooperation (keine → voll)	−0,03 °C	−0,10 bis 0,00	89 %
Gewicht der Politikkosten (tief → hoch)	+0,16 °C	0,00 bis +0,56	0 % (wärmend in 58 %)

Die Erwärmung 2100 liegt über alle 108 Konfigurationen zwischen 1,68 und 2,49 °C. Der Zufall spielt kaum eine Rolle (Standardabweichung höchstens 0,02 °C); entscheidend sind die Verhaltensannahmen.

Befunde.

1. **Keine Konfiguration erreicht den Pfad C2 (1,59 °C), und keine bleibt bei A (2,58 °C).** Politik, die auf Zustimmung angewiesen ist, landet im Modell dazwischen: Sie verschärft sich,

wenn Schäden spürbar werden, aber zu spät und zu langsam für den ehrgeizigsten Pfad.

2. **Die Rückverteilung der Einnahmen ist die wirksamste Stellgrösse** und die einzige mit eindeutiger Richtung in allen 54 Vergleichen. Sie verdoppelt die mittlere Politikstrenge im Jahr 2060 etwa (von 0,3 auf 0,65).
3. **Schäden erzeugen Zustimmung – aber das ist ein teurer Lernweg.** Je stärker erlebte Schäden die Haltung prägen, desto strenger wird die Politik. Die Schäden sind dann bereits eingetreten.
4. **Ein einmaliger Kostenschock** (hier 2032) senkt die Politikstrenge 2040 um rund 0,07 und erhöht die Erwärmung 2100 um 0,02 bis 0,05 °C. Die Wirkung hält über Jahrzehnte an, ist aber begrenzt.
5. **Kooperation wirkt im Modell schwach.** Sie verringert die Unterschiede zwischen den Regionen deutlich, die Erwärmung aber nur um 0,03 °C.

Vorbehalt zu Befund 5. Die geringe Wirkung der Kooperation ist mit Vorsicht zu lesen. Das Modell enthält Wettbewerbsnachteile und Zurückhaltung von Vorreitern, aber kein strategisches Trittbrettfahren und keine Verlagerung von Emissionen. Die Literatur misst der internationalen Abstimmung mehr Gewicht bei. Der Befund ist deshalb als Eigenschaft des Modells zu werten, nicht als Aussage über die Wirklichkeit.

Abgleich mit der Literatur. Die Befunde 2 und 3 decken sich mit der Forschung zur Akzeptanz: Sichtbare Rückverteilung erhöht die Zustimmung [Q08, E.4.2], und die Bereitschaft der Bevölkerung ist höher, als sie gegenseitig vermutet [Q43]. Neu ist die Grössenordnung im Verhältnis zu anderen Hebeln: Im Modell wiegt die Verteilungsgestaltung schwerer als das Reaktionstempo der Institutionen. Das ist eine Hypothese, die sich empirisch prüfen liesse.

17.9 Versuch 7: Stresstest zu Rückkopplungen und Kipppunkten

Dieser Versuch ist explorativ. Die Stärke der Effekte ist angenommen, nicht hergeleitet (Kap. 23).

Zusätzliche Emissionen aus dem Erdsystem. Angenommen werden 4 bzw. 8 Gt CO_2 pro Jahr je Grad über 1,5 °C, etwa aus auftauendem Permafrost oder geschwächten Senken.

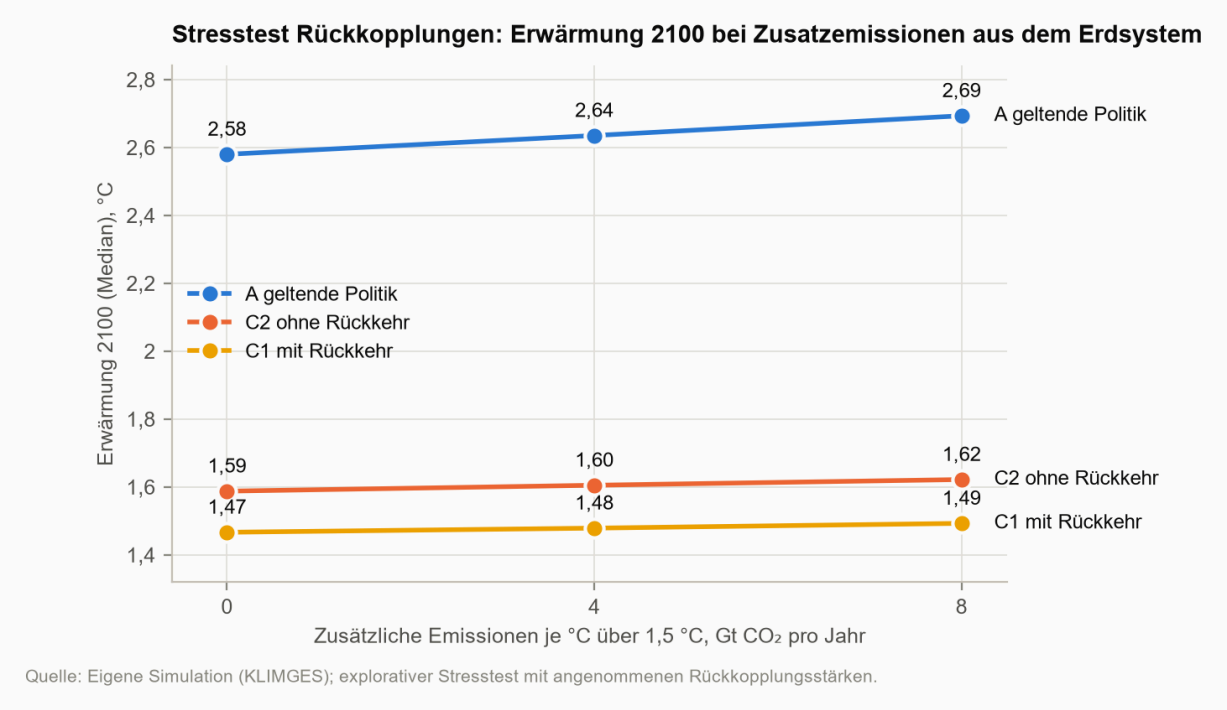


Abbildung 17.10: Erwärmung 2100 bei zusätzlichen Emissionen aus dem Erdsystem.

Rückkopplung	A: Erwärmung 2100	A: 95. Perzentil	C2: Erwärmung 2100	Zusatzemissionen A / C2
keine	2,58 °C	3,12 °C	1,59 °C	–
4 Gt je Grad	2,64 °C	3,23 °C	1,60 °C	161 / 40 Gt CO_2
8 Gt je Grad	2,69 °C	3,35 °C	1,62 °C	332 / 86 Gt CO_2

Die Rückkopplung wirkt asymmetrisch: In Szenario A fügt sie bis zu 0,11 °C im Median und 0,23 °C am oberen Rand hinzu, in C2 nur 0,03 °C. Wer wenig über 1,5 °C hinausgeht, löst wenig aus.

Sprunghafte Zusatzschäden. Angenommen wird, dass jede von vier Schwellen (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 °C, je mit Unsicherheit) beim Überschreiten dauerhaft 2 % der Wirtschaftsleistung kostet. In Szenario A werden im Median drei Schwellen überschritten, in C2 eine.

Diskontierter Gesamtaufwand bis 2100 (3 %)	A	C2	Abstand
S1 ohne Sprünge	1,7 %	3,9 %	2,2 Punkte zugunsten A
S1 mit Sprüngen	4,5 %	5,6 %	1,1 Punkte zugunsten A
S2 ohne Sprünge	4,2 %	5,5 %	1,3 Punkte zugunsten A
S2 mit Sprüngen	7,0 %	7,2 %	0,2 Punkte – praktisch gleich

Deutung. Bereits mässige Schwelleneffekte verschieben den Kostenvergleich deutlich. Bei S2 heben sie den rechnerischen Vorteil der geltenden Politik auf. Das Ergebnis zeigt, wie empfindlich Kosten-Nutzen-Rechnungen auf Annahmen reagieren, die in den gängigen Schadensfunktionen fehlen.

17.10 Versuch 8: Verlängerung der Rechnung bis 2200

Anlass. Die Kostenrechnung in Versuch 2 endet 2100. Zu diesem Zeitpunkt steigt die Temperatur in Szenario A noch, in C2 nicht mehr; der grösste Teil der Kosten des Klimaschutzes ist dann getragen, der grösste Teil seines Nutzens liegt erst danach. Versuch 8 prüft, wie stark dieser Schnitt das Ergebnis bestimmt.

Zusätzliche Annahmen. Für die Zeit nach 2100 gibt es keine Politikszenarien, auf die sich die Rechnung stützen könnte. Alles Folgende ist gesetzt:

Grösse	Annahme nach 2100
Emissionen in A	drei Varianten: Rückgang im bisherigen Tempo auf 17 Gt CO_2 im Jahr 2200 («Trend»); konstant bei 31 Gt; Rückgang auf netto null bis 2200
Emissionen in B2 und C2	netto null
Übrige Antriebe, Luftreinhaltung	auf dem Stand von 2100
Wirtschaftswachstum	alle Einkommensgruppen nähern sich bis 2200 einem Prozent pro Jahr
Vermeidungskosten	sinken im gleichen Tempo weiter wie vor 2100
Schadensfunktionen	unverändert – das heisst: über den Temperaturbereich hinaus verlängert, für den sie geschätzt wurden

Bis 2100 ist die Rechnung mit dem Hauptlauf identisch; ein automatischer Test prüft das.

Klima.

Pfad	CO_2 2026–2200	2100	2150	2200 (5–95 %)	über 3 °C im Jahr 2200
A – Trend	5140 Gt	2,58 °C	3,17 °C	3,64 (2,92–4,63) °C	92 % der Läufe
A – konstant	5840 Gt	2,58	3,18	3,77 (3,04–4,75)	96 %
A – netto null bis 2200	4280 Gt	2,58	3,15	3,41 (2,71–4,37)	81 %
B2	1050 Gt	1,95	1,98	2,04 (1,60–2,64)	1 %
C2	520 Gt	1,59	1,62	1,65 (1,30–2,16)	unter 0,1 %

Der Abstand zwischen A und C2 verdoppelt sich von 1,0 °C im Jahr 2100 auf 2,0 °C im Jahr 2200. Selbst wenn die Emissionen in A im 22. Jahrhundert auf null sinken, liegt die Erwärmung 2200 bei 3,4 °C. In C2 steigt die Temperatur nach 2100 trotz netto null CO_2 noch um wenige Hundertstelgrad, weil die übrigen Antriebe bestehen bleiben und der tiefe Ozean sich weiter anpasst.

Kostenvergleich.

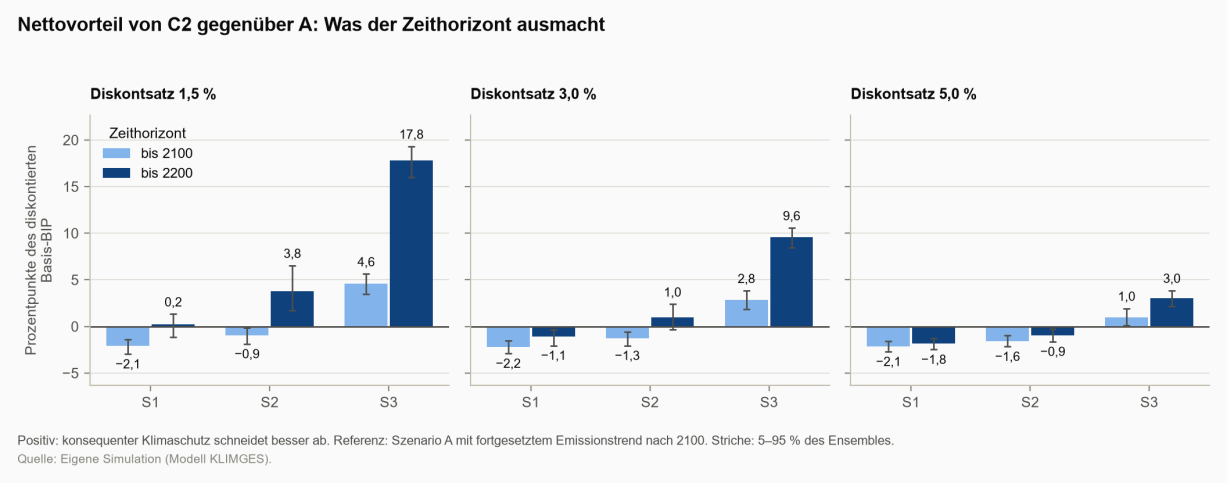


Abbildung 17.11: Nettovorteil von C2 gegenüber A für die Zeiträume 2026–2100 und 2026–2200.

Nettovorteil von C2 gegenüber A (Trend) in Prozentpunkten des diskontierten Basis-BIP; in Klammern der Anteil der Läufe, in denen C2 besser abschneidet:

Schadensfunktion	Diskontsatz	bis 2100	bis 2200
S1	1,5 %	−2,1 (0 %)	+0,2 (63 %)
S1	3 %	−2,2 (0 %)	−1,1 (0,5 %)
S1	5 %	−2,1 (0 %)	−1,8 (0 %)
S2	1,5 %	−0,9 (3 %)	+3,8 (100 %)
S2	3 %	−1,3 (0 %)	+1,0 (89 %)
S2	5 %	−1,6 (0 %)	−0,9 (0,5 %)
S3	1,5 %	+4,6 (100 %)	+17,8 (100 %)
S3	3 %	+2,8 (100 %)	+9,6 (100 %)
S3	5 %	+1,0 (97 %)	+3,0 (100 %)

Die jährliche Gesamtlast von C2 liegt bei S3 ab 2059, bei S2 ab 2081 und bei S1 ab 2108 dauerhaft unter jener von A. Im Jahr 2200 betragen die jährlichen Schäden in A je nach Funktion 5 %, 15 % oder 48 % der Wirtschaftsleistung, in C2 1 %, 3 % oder 11 %.

Welche der drei Fortsetzungen von A gewählt wird, ändert den Nettovorteil um höchstens 0,1 Prozentpunkte bei S1, 0,3 bei S2 und 0,6 bei S3. Für B2 ergibt sich das gleiche Muster in abgeschwächter Form (bei 3 % bis 2200: −0,5 / +0,9 / +5,8 Prozentpunkte für S1 / S2 / S3).

Deutung.

1. **Der Zeithorizont ist für das Vorzeichen so wichtig wie die Schadensfunktion.** Bei der mittleren Funktion S2 und einem Diskontsatz von 3 % kehrt die Verlängerung das Ergebnis um: aus einem Nachteil von 1,3 Prozentpunkten wird ein Vorteil von 1,0. Die Aussage aus Versuch 2, der Diskontsatz spiele eine geringe Rolle, gilt nur für den kurzen Horizont. Über 175 Jahre entscheidet er mit.
2. **Mit der tiefsten Schadensfunktion bleibt die geltende Politik rechnerisch im Vorteil,** ausser bei tiefem Diskontsatz, und auch dann nur knapp. Wer die Schäden für so gering hält wie

die aufzählenden Schätzungen und künftige Generationen mit 3 % oder mehr abzinst, findet auch über zwei Jahrhunderte kein Kosten-Nutzen-Argument für C2.

3. **Mit einem Diskontsatz von 5 % ändert die Verlängerung wenig.** Was nach 2100 geschieht, zählt dann fast nicht: Ein Schaden im Jahr 2150 geht mit weniger als einem Vierhundertstel seines Wertes ein. Die Wahl des Diskontsatzes ist bei diesem Horizont keine technische, sondern eine ethische Entscheidung darüber, wie viel das Wohlergehen späterer Generationen gilt.
4. **Die Zahlen für das 22. Jahrhundert sind Fortschreibungen, keine Projektionen.** Bei 3,6 °C liegen alle drei Schadensfunktionen ausserhalb des Bereichs, für den sie geschätzt wurden; die 48 % bei S3 sind eine rechnerische Verlängerung, kein belastbarer Wert. Wachstum, Technik und Politik über 175 Jahre sind nicht vorhersehbar. Belastbar ist die Richtung: Jede Verlängerung des Horizonts verschiebt den Vergleich zugunsten des Klimaschutzes, weil der Temperaturabstand weiter wächst, während die Vermeidungskosten sinken.

17.11 Robustheit und Sensitivität

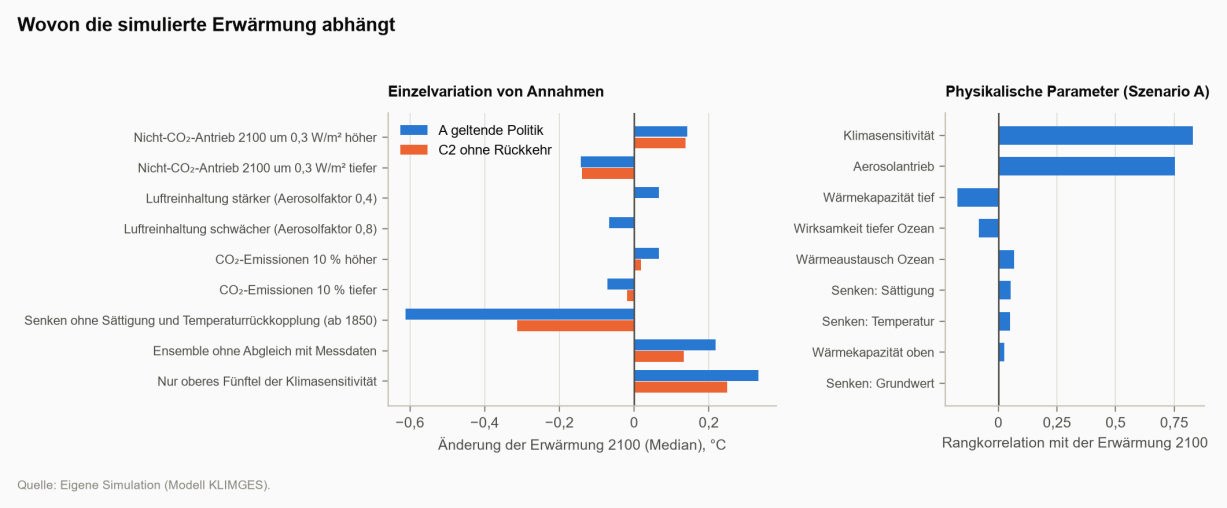


Abbildung 17.12: Einfluss von Annahmen und Parametern auf die Erwärmung 2100.

Welche physikalischen Parameter zählen? Die Erwärmung 2100 hängt im Ensemble fast ausschliesslich an zwei Grössen: der Klimasensitivität (Rangkorrelation 0,83) und der Stärke des Aerosolantriebs (0,75). Alle übrigen Parameter liegen unter 0,2.

Einzelvariation von Annahmen (Änderung der Erwärmung 2100 im Median):

Annahme	Szenario A	Szenario C2	Abstand A − C2
Grundlauf	2,58 °C	1,59 °C	0,99 °C
Nicht-CO_2-Antrieb 2100 um 0,3 W/m² höher / tiefer	±0,14	±0,14	unverändert
Stärkere / schwächere Luftreinhaltung	±0,07	0	0,93–1,06
CO_2-Emissionen 10 % höher / tiefer	±0,07	±0,02	0,94–1,04
Senken ohne Sättigung und Temperaturrückkopplung	−0,61	−0,31	0,69

Annahme	Szenario A	Szenario C2	Abstand A − C2
Ensemble ohne Abgleich mit Messdaten	+0,22	+0,13	1,08
Nur oberes Fünftel der Klimasensitivität	+0,33	+0,25	1,08

Befunde.

1. **Der Abstand zwischen den Szenarien ist robuster als ihr Niveau.** Das Niveau schwankt je nach Annahme um mehrere Zehntelgrad; der Abstand zwischen A und C2 bleibt in allen Varianten ausser einer bei 0,9 bis 1,1 °C.
2. **Die grösste Einzelannahme ist das Verhalten der natürlichen Senken.** Ohne ihre Sättigung läge Szenario A 0,6 °C tiefer. Diese Annahme ist aus der Literatur übernommen und stützt sich auf die gut passende CO_2-Rückrechnung, bleibt aber die wichtigste Strukturunsicherheit des Klimamoduls.
3. **Der Abgleich mit Messdaten senkt die Projektionen** um 0,1 bis 0,2 °C. Ohne ihn läge A bei 2,8 °C.

Übersicht: Was ist robust?

Ergebnis	Robust gegenüber	Abhängig von
A führt bis 2100 auf rund 2,6 °C und steigt weiter	Klimaparametern (2,2–3,1), Szenarioannahmen (±0,15)	Senkenverhalten (bis −0,6)
C2 hält die Erwärmung unter 2 °C (96 % der Läufe)	allen geprüften Varianten	Einhaltung des Emissionspfads
Abstand A − C2 rund 1 °C im Jahr 2100, 0,1 °C im Jahr 2050	allen Varianten ausser Senken	–
+0,08 °C Spitzenerwärmung je fünf Jahre Verzögerung	Zielpfad (C1 und C2 gleich)	–
Höhe der wirtschaftlichen Schäden	–	Schadensfunktion (Faktor elf)
Vorzeichen des Kostenvergleichs A gegen C2 bis 2100	Diskontsatz, Klimaparametern	Schadensfunktion, Schwelleneffekten, Zeithorizont
Vorzeichen des Kostenvergleichs A gegen C2 bis 2200	Fortsetzung von A nach 2100, Klimaparametern (bei S3)	Schadensfunktion, Diskontsatz
Eine Verlängerung des Horizonts begünstigt C2	allen neun Kombinationen aus Schadensfunktion und Diskontsatz	Grösse: Annahmen nach 2100
Arme tragen relativ mehr; gezielte Hilfe wirkt	neun Parametervarianten	Zahlenwerte: Annahmen
Rückverteilung erhöht die Politikstrenge	54 von 54 Vergleichen	Stärke: Verhaltensannahmen
Kooperation wirkt schwach	–	Modellstruktur

17.12 Antwort auf die Leitfrage dieses Kapitels

> Welche gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen erscheinen unter welchen Bedingungen besonders wahrscheinlich, und wie robust sind diese Ergebnisse gegenüber veränderten Annahmen?

Sehr robust – gilt unter allen geprüften Annahmen:

- Bei Fortsetzung der geltenden Politik wird 2 °C überschritten, und die Erwärmung hält 2100 an.
- Konsequenter Klimaschutz begrenzt die Erwärmung auf deutlich unter 2 °C, überschreitet aber 1,5 °C zumindest vorübergehend.
- Der Nutzen des Klimaschutzes zeigt sich im Klima erst nach 2050; die Kosten fallen vorher an. Daraus entsteht die politische Kernschwierigkeit.
- Jedes Jahrfünft Verzögerung erhöht die Spitzenerwärmung um knapp ein Zehntelgrad.

Robust in der Richtung, unsicher in der Grösse:

- Klimaschäden treffen ärmere Länder und Haushalte relativ stärker und vergrössern die Ungleichheit; gezielte Anpassungshilfe mindert das wirksam.
- Die Belastung der Staatshaushalte wächst in Szenario A ohne Obergrenze; in C2 erreicht sie einen Höchstwert und sinkt.
- Politik, die ihre Einnahmen sichtbar zurückverteilt, hält mehr Zustimmung und erreicht mehr.

Nicht robust – hängt an umstrittenen Annahmen:

- Die Höhe der wirtschaftlichen Schäden.
- Ob sich konsequenter Klimaschutz rein rechnerisch auszahlt. Bis 2100: mit tiefen und mittleren Schadensannahmen nicht, mit hohen deutlich. Bis 2200: mit mittleren und hohen Schadensannahmen ja, sofern der Diskontsatz 3 % nicht übersteigt; mit tiefen nur bei sehr tiefem Diskontsatz und knapp. Schwelleneffekte verschieben das Ergebnis zusätzlich zugunsten des Klimaschutzes.
- Wie stark internationale Kooperation wirkt.

Was daraus für die Bewertung folgt. Die Simulationen liefern kein einfaches Kosten-Nutzen-Argument für konsequenten Klimaschutz. Sie zeigen etwas anderes: Die physikalischen Folgen der Pfade sind gut bestimmt, ihre ökonomische Bewertung nicht. Eine Entscheidung für die geltende Politik ist deshalb eine Wette darauf, dass die tiefen Schadensschätzungen zutreffen, dass keine Schwellen überschritten werden und dass, was nach 2100 geschieht, wenig zählt. Fällt eine dieser Annahmen, kehrt sich das Ergebnis bei der mittleren Schadensfunktion um (Versuche 7 und 8) – und die Erwärmung lässt sich dann nicht mehr zurücknehmen. Umgekehrt gilt: Wer die tiefsten Schadensschätzungen für richtig hält und die Zukunft mit 3 % oder mehr abzinst, findet im Modell auch über zwei Jahrhunderte keinen rechnerischen Vorteil des konsequenten Klimaschutzes. Die Studie kann diese Position nicht widerlegen, nur ihre Voraussetzungen benennen. Diese Asymmetrie zwischen einem korrigierbaren und einem nicht korrigierbaren Irrtum ist der eigentliche Ertrag der Modellversuche. Sie wird in den Kapiteln 18 bis 20 aufgenommen.

17.13 Neue Hypothesen und offene Fragen

1. **Verteilungsgestaltung vor Reaktionstempo.** Im Politikmodell wiegt die Rückverteilung schwerer als die Geschwindigkeit der Institutionen. Empirisch prüfbar wäre das an Ländern mit und ohne Rückverteilung von CO_2-Einnahmen.
2. **Weniger Erwärmung, weniger private Anpassung.** Wenn Klimaschutz gelingt, sinkt der Anreiz zur Eigenvorsorge, und die Ärmsten bleiben ohne Hilfe ungeschützt. Anpassungshilfe wäre dann auch in günstigen Szenarien nötig.
3. **Finanzierungsform als Schlüssel für die Staatsfinanzen.** Ob Klimaschutz die Haushalte be- oder entlastet, hängt im Modell stärker an der Finanzierung als am Klimapfad.
4. **Endogene Politik bleibt zwischen den Pfaden.** Wenn Zustimmung erst durch erlebte Schäden entsteht, sind rund 2 °C wahrscheinlicher als 1,6 oder 2,6 °C. Das spräche dafür, Szenario B2 als plausibelste Entwicklung zu behandeln – eine Einschätzung, die über das Modell hinausgeht.

Offen bleibt, was das Modell nicht abbildet: regionale Klimafolgen, Finanzmärkte, Handel, technischer Fortschritt als Ergebnis von Politik. Entwicklungen nach 2100 sind nur als Fortschreibung erfasst (Versuch 8).

18 Systematische Risikobewertung

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Die Einstufungen dieses Kapitels sind Wertungen dieser Studie. Sie stützen sich auf die in den Kapiteln 5–15 belegten Befunde und auf die Simulationen in Kapitel 17; die Fundstellen sind je Risiko angegeben.

18.1 Vorgehen

Keine Zahlenwahrscheinlichkeiten. Für die meisten gesellschaftlichen Folgen des Klimawandels gibt es keine belastbaren Eintrittswahrscheinlichkeiten. Sie hängen von Entscheidungen ab, die noch nicht getroffen sind, und von Zusammenhängen, die nur teilweise verstanden werden. Eine Angabe wie «30 % Wahrscheinlichkeit» würde Wissen vortäuschen, das nicht vorhanden ist. Die Studie stuft deshalb in Worten ein und nennt, worauf die Einstufung beruht.

Sechs Merkmale je Risiko.

Merkmal	Stufen	Bedeutung
Eintritt	bereits beobachtet · sehr wahrscheinlich · wahrscheinlich · möglich · nicht auszuschliessen	bezogen auf das jeweilige Szenario
Ausmass	begrenzt · erheblich · schwer · sehr schwer	Zahl der Betroffenen, Tiefe des Schadens, Tragweite für das Funktionieren von Gesellschaften
Zeithorizont	heute · bis 2050 · bis 2100 · danach	wann das Risiko voll wirksam wird
Umkehrbarkeit	umkehrbar · teilweise · unumkehrbar	auf der Zeitskala von Generationen
Betroffene	–	Regionen und Gruppen
Belegstufe	gut belegt · plausibel · spekulativ	siehe unten

Die drei Belegstufen.

- **Gut belegt:** beobachtet oder von mehreren unabhängigen Quellen mit hohem Vertrauen projiziert; der Wirkungsweg ist verstanden.
- **Plausibel:** der Wirkungsweg ist verstanden und durch einzelne Studien oder Modelle gestützt; Ausmass oder Zeitpunkt sind unsicher, oder die Befunde gehen auseinander.
- **Spekulativ:** denkbar und nicht widerlegt, aber ohne tragfähige empirische Grundlage; Aussagen dazu sind Szenarien.

Die Belegstufe beschreibt die Qualität des Wissens, nicht die Grösse der Gefahr. Ein spekulatives Risiko kann schwerer wiegen als ein gut belegtes – es lässt sich nur schlechter beurteilen.

Bezug auf die Szenarien. Wo nichts anderes steht, gilt die Einstufung für Szenario A (geltende Politik, rund 2,6 °C im Jahr 2100, weiter steigend). In einer eigenen Spalte steht, wie sich das Risiko in Szenario C (rund 1,6 °C, stabil) verändert.

18.2 Die Risiken im Einzelnen

Physikalische und ökologische Risiken

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
P1	Häufigere und stärkere Hitzeextreme	bereits beobachtet	schwer	heute	ja, folgt der Temperatur	alle Regionen; Städte, Tropen, Südeuropa	gut belegt	deutlich geringer, nicht beseitigt	Kap. 6, 8, 14
P2	Stärkere Starkniederschläge und Hochwasser	bereits beobachtet	erheblich bis schwer	heute	ja	Flusstäler, Städte, Berggebiete	gut belegt	Schäden bis 1,4-fach statt 2,5- bis 3,9-fach	Kap. 8; [Q07, B.4.2]
P3	Längere und intensivere Dürren, Wasserknappheit	bereits beobachtet	schwer	bis 2050	teilweise	Mittelmeerraum, Subtropen, Regenfeldbau	gut belegt für die Richtung, plausibel für regionale Ausprägung	geringer	Kap. 8, 10, 14
P4	Meeresspiegelanstieg 0,3–0,75 m bis 2100	sehr wahrscheinlich	schwer	bis 2100	nein	Deltas, Inselstaaten, Küstenstädte; rund eine Milliarde Menschen exponiert	gut belegt	unteres Ende der Spanne; Anstieg setzt sich dennoch fort	Kap. 8; [Q06, B.5.3]
P5	Meeresspiegelanstieg um mehrere Meter über Jahrhunderte	wahrscheinlich	sehr schwer	danach	nein	alle Küsten	plausibel (Ausmass mit geringem Vertrauen)	2–3 statt mehr Meter über 2000 Jahre	Kap. 16.5; [Q06, B.5.4]
P6	Verlust der Gebirgsgletscher	bereits beobachtet	erheblich (regional schwer)	bis 2100	nein	Alpen, Anden, Hochasien; Wasserversorgung im Sommer	gut belegt	rund ein Drittel der Alpengletscher bleibt statt rund 5 %	Kap. 15; [Q33]

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
P7	Verlust von Arten und Ökosystemen	bereits beobachtet	sehr schwer	bis 2100	nein	Korallenriffe, Gebirge, Polargebiete, Tropenwälder	gut belegt	Aussterberisiko etwa halbiert; Korallenriffe dennoch schwer geschädigt	Kap. 8; [Q07, B.4.1]
P8	Schwächung der natürlichen Kohlenstoffsenken	wahrscheinlich	erheblich	bis 2100	teilweise	weltweit (verstärkt die Erwärmung)	plausibel	deutlich geringer	Kap. 5; Kap. 17.9
P9	Überschreiten von Kipppunkten der Eisschilde	möglich	sehr schwer	Auslösung in diesem Jahrhundert, Wirkung über Jahrhunderte	nein	alle Küsten	plausibel; Schwellenwerte unsicher	geringer, nicht ausgeschlossen	Kap. 8.7; [Q22, Q23]
P10	Abrupter Zusammenbruch der atlantischen Umwälzzirkulation vor 2100	nicht auszuschliessen	sehr schwer	bis 2100 oder danach	nein	Europa, Westafrika, Tropen	spekulativ bezüglich des Zeitpunkts; Abschwächung gut belegt	geringer	Kap. 8.7; [Q06, C.3.4]
P11	Kaskaden zwischen Kippelementen	nicht auszuschliessen	sehr schwer	danach	nein	weltweit	spekulativ	geringer	Kap. 8.7

Wirtschaftliche Risiken

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
W1	Steigende Schäden aus Extremereignissen	bereits beobachtet	erheblich	heute	ja	Eigentümer, Versicherer, Staat	gut belegt (bisher überwiegend wegen steigender Werte)	geringerer Zuwachs	Kap. 9.2; [Q41]

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
W2	Rückzug der Versicherung aus gefährdeten Lagen	bereits beobachtet in einzelnen Märkten	erheblich	bis 2050	teilweise	Hauseigentümer, Banken, öffentliche Hand	plausibel	geringer	Kap. 9.4, 14
W3	Dauerhafter Verlust an Wirtschaftsleistung von einigen Prozent	sehr wahrscheinlich	erheblich	bis 2100	teilweise	weltweit; stärker in armen und heissen Ländern	gut belegt für die Richtung	etwa ein Drittel des Wertes von A	Kap. 9.3, 17.4
W4	Verlust an Wirtschaftsleistung von einem Fünftel und mehr	möglich	sehr schwer	bis 2100	teilweise	weltweit	plausibel – gestützt auf eine einzelne ökonometrische Schätzung [Q37]; zwischen den Ansätzen liegt der Faktor elf	rund 9 statt 27 % im Modell	Kap. 9.3, 17.4
W5	Höhere und schwankende Lebensmittelpreise	bereits beobachtet	erheblich	heute	ja	Haushalte mit geringem Einkommen; importabhängige Länder	gut belegt für Einzelereignisse, plausibel für den Trend	geringer	Kap. 9.4; [Q39]
W6	Gleichzeitige Ernteausfälle in mehreren Anbauregionen	möglich	schwer	bis 2050	ja	importabhängige, zahlungsschwache Länder	plausibel	geringer	Kap. 10.3, 11.6

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
W7	Wachsende Belastung der Staatshaushalte durch Schäden	wahrscheinlich	erheblich (in armen Ländern schwer)	bis 2100	teilweise	Länder mit geringer Finanzkraft; im Modell 5,5 % der Wirtschaftsleistung pro Jahr gegenüber 1,5 % in reichen Ländern	plausibel (stilisiertes Modell)	bis etwa 2050 höher, danach tiefer	Kap. 17.6
W8	Entwertung fossiler Anlagen und Vorräte	möglich (in A gering)	erheblich	bis 2050	nein	Förderländer, Eigentümer, Standortregionen	gut belegt für den Mechanismus	**höher** – ein Risiko des Klimaschutzes	Kap. 12.3; [Q08, B.7]
W9	Abrupte Neubewertung an den Finanzmärkten	nicht auszuschliessen	schwer	unbestimmt	ja	Finanzsystem	spekulativ	unklar	Kap. 9.4
W10	Engpässe bei Netzen, Rohstoffen, Fachkräften verteuern den Umbau	bereits beobachtet	erheblich	bis 2050	ja	Länder im Umbau	gut belegt	**höher** – ein Risiko des Klimaschutzes	Kap. 13; [Q10]

Gesellschaftliche Risiken

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
G1	Mehr hitzebedingte Todesfälle und Erkrankungen	bereits beobachtet	schwer	heute	ja, durch Anpassung beeinflussbar	Menschen über 75, chronisch Kranke, im Freien Arbeitende	gut belegt	geringer; Anpassung bleibt nötig	Kap. 10.2, 14, 15

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
G2	Ausbreitung von Infektionskrankheiten	bereits beobachtet	erheblich	bis 2050	teilweise	Tropen und Subtropen; zunehmend Europa	gut belegt für die Richtung	geringer	Kap. 10.2; [Q07, B.4.4]
G3	Ernährungsunsicherheit und Mangelernährung	bereits beobachtet	schwer	bis 2050	teilweise	Afrika südlich der Sahara, Südasien, Mittel- und Südamerika, kleine Inseln	gut belegt	geringer	Kap. 10.3; [Q07, B.4.3]
G4	Zunahme extremer Armut	wahrscheinlich	schwer	bis 2030 und danach	teilweise	32–132 Millionen Menschen bis 2030	plausibel (Modellschätzung; durch Entwicklungspolitik halbierbar)	geringer nach 2050	Kap. 10.6; [Q40]
G5	Wachsende Ungleichheit innerhalb und zwischen Ländern	sehr wahrscheinlich	schwer	bis 2100	teilweise	ärmste Haushalte und Länder; im Modell verliert das ärmste Fünftel relativ 2,4-mal so viel	gut belegt für die Richtung, plausibel für das Ausmass	geringer; die Verteilung der Kosten des Klimaschutzes wird dafür zur Frage	Kap. 10.6, 17.7
G6	Psychische Belastung	bereits beobachtet	begrenzt bis erheblich	heute	ja	Katastrophenbetroffene; junge Menschen	gut belegt nach Katastrophen, plausibel für Zukunftssorge	geringer	Kap. 10.2
G7	Verlust der Bewohnbarkeit einzelner Gebiete	wahrscheinlich	schwer (örtlich)	bis 2100	nein	tief liegende Inseln und Küsten, einzelne Berg- und Trockengebiete	plausibel	deutlich geringer	Kap. 10.4, 11.5

Risiken für Migration, Sicherheit und internationale Ordnung

Nr.	Risiko	Eintritt (A)	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	In Szenario C	Fundstelle
M1	Mehr Vertreibung durch Katastrophen	bereits beobachtet	schwer	heute	teilweise	Süd- und Südostasien, Afrika, Inselstaaten	gut belegt	geringer	Kap. 11.2; [Q19]
M2	Mehr dauerhafte Binnenmigration, bis zu 216 Millionen Menschen bis 2050	wahrscheinlich; das Ausmass ist die Obergrenze eines ungünstigen Szenarios	schwer	bis 2050	teilweise	Afrika südlich der Sahara, Süd- und Ostasien	plausibel (Modellschätzung)	bis zu 80 % weniger, zusammen mit Entwicklungspolitik	Kap. 11.3; [Q29]
M3	Stark steigende Fernmigration in wohlhabende Länder	nicht auszuschliessen	unbestimmt	bis 2100	–	Zielländer	spekulativ – belastbare Projektionen fehlen	unklar	Kap. 11.3
M4	Verschärfung innerstaatlicher Gewaltkonflikte	möglich	schwer (örtlich)	bis 2050	teilweise	fragile Staaten mit Regenfeldbau	plausibel – Klima als Verstärker, nicht als Hauptursache	geringer	Kap. 11.4; [Q31]
M5	Zwischenstaatliche Kriege um Wasser oder Land	nicht auszuschliessen	sehr schwer	unbestimmt	–	geteilte Flussgebiete	spekulativ	unklar	Kap. 11.8
M6	Existenzbedrohung kleiner Inselstaaten	wahrscheinlich	sehr schwer für die Betroffenen	bis 2100 und danach	nein	kleine Inselstaaten	gut belegt	geringer, nicht beseitigt	Kap. 11.5; [Q07, B.4.5]
M7	Erosion der internationalen Klimazusammenarbeit	bereits beobachtet	erheblich	heute	ja	alle	gut belegt	Voraussetzung für C ist, dass sie nicht eintritt	Kap. 11.7; [Q01]

Politische Risiken

Nr.	Risiko	Eintritt	Ausmass	Horizont	Umkehrbar	Betroffene	Belegstufe	Szenario	Fundstelle
D1	Rücknahme beschlossener Klimapolitik nach Abwehrreaktionen	bereits beobachtet	erheblich	heute	ja	Länder mit sichtbar ungleich verteilten Lasten	gut belegt für Einzelfälle; im Modell bestätigt	Risiko des Klimaschutzes; bestimmt, ob C erreichbar ist	Kap. 12.2, 17.8
D2	Überforderung staatlicher Leistungsfähigkeit durch wiederkehrende Schäden	möglich	schwer	bis 2100	teilweise	Staaten mit geringer Finanzkraft; in A auch wohlhabende	plausibel	in C deutlich geringer	Kap. 12.5, 12.8
D3	Vertrauensverlust in Institutionen und Polarisierung	möglich	erheblich	heute	ja	Demokratien mit ausgeprägter Lagerbildung	plausibel; Datenlage dünn	in beiden Szenarien, aus unterschiedlichen Gründen	Kap. 12.7
D4	Schleichende Schwächung demokratischer Verfahren durch Dauerkrisen	nicht auszuschliessen	schwer	bis 2100	teilweise	Demokratien	spekulativ	in A eher als in C	Kap. 12.8
D5	Scheitern der grossflächigen CO_2-Entnahme, auf die Zielpfade bauen	möglich	erheblich	nach 2050	–	alle; betrifft die Rückkehr unter 1,5 °C	plausibel – die heutige Kapazität liegt rund zwei Grössenordnungen unter dem Bedarf	Risiko des Pfades C1	Kap. 13.7

18.3 Risikomatrix

Die Matrix ordnet die Risiken nach Eintritt und Ausmass für Szenario A. Die Belegstufe ist durch die Schrift gekennzeichnet: **fett** = gut belegt, normal = plausibel, *kursiv* = spekulativ.

Ausmass ↓ / Eintritt →	**nicht auszuschliessen**	**möglich**	**wahrscheinlich**	**sehr wahrscheinlich oder bereits beobachtet**
sehr schwer	*P10 Umwälzzirkulation* · *P11 Kaskaden* · *M5 zwischenstaatliche Kriege*	P9 Eisschilde · W4 Verlust von einem Fünftel der Wirtschaftsleistung	P5 Meeresspiegel über Jahrhunderte · **M6 Inselstaaten**	**P7 Arten und Ökosysteme**
schwer	*W9 Finanzmärkte* · *D4 demokratische Verfahren*	W6 gleichzeitige Ernteausfälle · M4 innerstaatliche Konflikte · D2 staatliche Überforderung	G4 extreme Armut · G7 Bewohnbarkeit · M2 Binnenmigration	**P1 Hitze** · **P3 Dürre** · **P4 Meeresspiegel bis 2100** · **G1 Hitzetote** · **G3 Ernährung** · **G5 Ungleichheit** · **M1 Vertreibung**
erheblich		**W8 Entwertung fossiler Anlagen** · D3 Vertrauensverlust · D5 Scheitern der CO_2-Entnahme	P8 Kohlenstoffsenken · W2 Versicherbarkeit · W7 Staatshaushalte	**P2 Hochwasser** · **P6 Gletscher** · **W1 Extremschäden** · **W3 Wirtschaftsleistung** · **W5 Lebensmittelpreise** · **W10 Engpässe** · **G2 Infektionskrankheiten** · **M7 Zusammenarbeit** · **D1 Rücknahme von Klimapolitik**
begrenzt				G6 psychische Belastung
unbestimmt	*M3 Fernmigration*			

Was die Matrix zeigt und was nicht.

1. **Das obere rechte Feld ist besetzt.** Mehrere schwere Risiken sind nicht ungewiss, sondern beobachtet oder sehr wahrscheinlich. Die Hauptlast des Klimawandels liegt nicht in fernen Katastrophenszenarien, sondern in der Summe gut belegter, bereits sichtbarer Entwicklungen.
2. **Die oberste Zeile ist am schlechtesten belegt.** Je schwerer das mögliche Ausmass, desto unsicherer das Wissen. Das ist kein Zufall: Die folgenschwersten Vorgänge – Eisschilde, Ozeanzirkulation, tiefe wirtschaftliche Einbrüche – liegen ausserhalb dessen, was beobachtet wurde.
3. **Die Matrix behandelt die Risiken, als wären sie unabhängig.** Das sind sie nicht (Kap. 18.5).
4. **Die Lage eines Risikos in der Matrix ist keine Rangfolge der Dringlichkeit.** Dafür zählen zusätzlich Umkehrbarkeit und Beeinflussbarkeit (Kap. 18.4).

18.4 Ordnung nach Umkehrbarkeit und Beeinflussbarkeit

Für Entscheidungen ist weniger wichtig, wie gross ein Risiko ist, als was sich daran ändern lässt.

	Vor allem durch Emissionsminderung beeinflussbar	Vor allem durch Anpassung und Entwicklung beeinflussbar	Kaum noch beeinflussbar
Unumkehrbar	P5 Meeresspiegel über Jahrhunderte · P7 Arten · P9 Eisschilde · P10 Umwälzzirkulation · M6 Inselstaaten · G7 Bewohnbarkeit	–	P6 grösserer Teil der Alpengletscher · Korallenriffe · Meeresspiegelanstieg bis 2100 am unteren Ende der Spanne
Teilweise umkehrbar	W3/W4 Wirtschaftsleistung · P8 Kohlenstoffsenken · W7 Staatshaushalte (nach 2050)	G3 Ernährung · G4 Armut · G5 Ungleichheit · M2 Binnenmigration · M4 Konflikte · D2 staatliche Überforderung · W2 Versicherbarkeit	–
Umkehrbar	P1–P3 Extreme (langfristig)	G1 Hitzetote · P2 Hochwasserschäden · W5 Lebensmittelpreise · G6 psychische Belastung · D1, D3 politische Risiken	Extreme bis 2050

Drei Folgerungen:

1. **Emissionsminderung ist das einzige Mittel gegen die unumkehrbaren Risiken.** Was in der obersten Zeile der linken Spalte steht, lässt sich später weder durch Geld noch durch Technik zurückholen. Das ist das stärkste Argument für Klimaschutz, und es ist von der Wahl der Schadensfunktion unabhängig.
2. **Anpassung und Entwicklung entscheiden über die Lage der Verwundbarsten bis 2050** – in jedem Szenario, weil sich das Klima bis dahin kaum unterscheidet (Kap. 16.3).
3. **Die beiden Mittel sind nicht austauschbar.** Sie wirken auf verschiedene Risiken und zu verschiedenen Zeiten.

18.5 Verkettung von Risiken

Risiken treten nicht einzeln auf. Vier Verkettungen sind in der Literatur beschrieben oder folgen aus den Simulationen:

Hitze – Dürre – Ernährung – Preise – Politik. Hitze und Trockenheit senken Erträge (P1, P3); fallen mehrere Anbauregionen zugleich aus, steigen die Weltmarktpreise (W6); Exportbeschränkungen verstärken den Anstieg; importabhängige Länder erleben Versorgungskrisen (G3), wohlhabende Länder Teuerung (W5). Belegstufe der Kette als Ganzes: plausibel.

Schäden – Staatshaushalt – Anpassungsfähigkeit. Wiederkehrende Schäden belasten den Staatshaushalt (W7); höhere Schulden verteuern die Kreditaufnahme; die Mittel für Vorsorge schrumpfen; die nächsten Schäden fallen höher aus (D2). In der Simulation wächst die Haushaltslast von Ländern mit niedrigem Einkommen in Szenario A auf mehr als das Dreifache jener der reichen Länder (Kap. 17.6). Belegstufe: plausibel.

Versicherung – Immobilien – Banken. Wird ein Gebiet unversicherbar (W2), sinken die Immobilienwerte, Hypotheken verlieren ihre Deckung, Banken und öffentliche Hand tragen die Verluste. Belegstufe: plausibel; in einzelnen Märkten in Ansätzen beobachtet.

Verwundbarkeit – Vertreibung – Instabilität. Wo Armut, schwache Institutionen und Klimastress zusammentreffen (G3, G4), nehmen Vertreibung (M1, M2) und das Risiko von Gewalt (M4) zu, was die Institutionen weiter schwächt. Belegstufe: plausibel; Klima ist dabei Verstärker, nicht Hauptursache.

Eine Verkettung auf der Seite des Klimaschutzes. Ungleich verteilte Kosten (G5) führen zu Abwehrreaktionen (D1), die Rücknahme von Massnahmen führt auf einen Pfad mit höheren Schäden. In der Simulation ist die Rückverteilung der Einnahmen an die Haushalte die wirksamste Stellgrösse gegen diese Kette (Kap. 17.8).

Verkettete Risiken sind schlechter belegt als einzelne, weil sie selten beobachtet werden. Sie sind aber der wahrscheinlichste Weg, auf dem aus «erheblichen» Einzelrisiken «schwere» Gesamtlagen werden.

18.6 Sonderfall Kipppunkte

Kipppunkte passen nicht in die Matrix. Die Autoren des Global Tipping Points Report halten selbst fest, dass herkömmliche Risikomatrizen dafür ungeeignet sind [Q23]. Drei Gründe:

- **Die Wahrscheinlichkeit ist nicht bestimmbar,** sondern nur ein Bereich von Erwärmungsschwellen, der sich zwischen den Studien unterscheidet [Q22, Q23].
- **Der Schaden ist nicht begrenzt** und tritt über Jahrhunderte ein.
- **Es gibt keine Korrekturmöglichkeit.** Ist eine Schwelle überschritten, läuft der Vorgang auch bei sinkender Temperatur weiter.

Für solche Risiken ist die übliche Abwägung von erwarteten Kosten und Nutzen wenig geeignet, weil sich ein Erwartungswert nicht bilden lässt. Angemessener ist die Frage, wie viel eine Gesellschaft aufzuwenden bereit ist, um einen nicht korrigierbaren Schaden unbekannter Wahrscheinlichkeit zu vermeiden – eine Wertung, die diese Studie nicht vorgibt.

Was sich sagen lässt:

Aussage	Belegstufe
Das Risiko, Schwellen zu überschreiten, steigt mit jedem Zehntelgrad	gut belegt [Q06, C.3.2]
Zwischen 1,5 und 2 °C liegen die geschätzten Schwellen mehrerer Elemente, darunter beider Eisschilde	plausibel [Q22, Q23]
In Szenario A wird dieser Bereich durchschritten und verlassen, in Szenario C2 erreicht und nicht überschritten	Ergebnis der Simulation (Kap. 17.3)
Rückkopplungen aus dem Kohlenstoffkreislauf erhöhen die Erwärmung in Szenario A um rund 0,1 °C und in Szenario C2 um rund 0,03 °C	explorativ (Stresstest, Kap. 17.9)
Zeitpunkt und Tempo einzelner Kippvorgänge	offen

Der Befund aus der Simulation stützt eine einfache Aussage: Je höher die Erwärmung, desto stärker wirken Rückkopplungen zusätzlich. Die Unsicherheit über Kipppunkte ist deshalb nicht symmetrisch – sie macht den Pfad mit hoher Erwärmung riskanter und den mit tiefer Erwärmung kaum.

18.7 Risiken des Handelns

Eine unabhängige Bewertung muss auch die Risiken der Klimapolitik selbst benennen.

Risiko	Beschreibung	Belegstufe	Minderung
Kosten ohne entsprechenden Nutzen	Mindert nur ein Teil der Staaten, tragen diese die Kosten, ohne das Klima entscheidend zu beeinflussen	gut belegt als Anreizproblem (Kap. 11.7)	Massnahmen mit eigenem Nutzen; Abkommen unter Willigen; Grenzausgleich
Verteilungswirkung	Preise auf Energie belasten Haushalte mit geringem Einkommen anteilig stärker	gut belegt [Q08, E.4.2]	Rückverteilung, gezielte Hilfen
Abwehrreaktion (D1)	Als ungerecht empfundene Massnahmen werden zurückgenommen und schaden der Klimapolitik insgesamt	gut belegt für Einzelfälle	Verteilungswirkung von Anfang an planen; Alternativen bereitstellen
Versorgungssicherheit	Rascher Ausstieg aus steuerbaren Kraftwerken ohne ausreichenden Ersatz gefährdet die Stromversorgung im Winter	plausibel; länderspezifisch (Kap. 13.3, 15)	Reihenfolge einhalten: erst Ersatz, dann Abschaltung
Neue Abhängigkeiten	Konzentrierte Lieferketten für Module, Batterien, kritische Rohstoffe	gut belegt [Q10]	Diversifizierung, Wiederverwertung, Lagerhaltung
Fehlinvestitionen (W8)	Förderung von Technologien, die sich nicht durchsetzen; vorzeitige Stilllegung von Anlagen	plausibel	technologieoffene Instrumente; verlässliche Zeitpläne
Umweltfolgen	Flächenbedarf, Eingriffe in Landschaft und Biodiversität, Rohstoffabbau; grossflächige Bioenergie	gut belegt [Q07, B.5.4]	Standortwahl, Nutzung bebauter Flächen
Vertrauen auf künftige CO_2-Entnahme (D5)	Die Aussicht auf spätere Entnahme verzögert heutige Minderung	plausibel	Entnahme nur für Restemissionen einplanen
Fehlanpassung	Schutzbauten verleiten zu mehr Bebauung im Gefahrengebiet	gut belegt [Q07, C.4]	Raumplanung vor Schutzbau

Diese Risiken sind real, unterscheiden sich aber in einem Punkt grundlegend von den Risiken des Klimawandels: Sie sind **umkehrbar und durch Gestaltung beeinflussbar**. Eine schlecht gestaltete Abgabe lässt sich ändern, ein abgeschmolzener Eisschild nicht.

18.8 Gesamtbild

1. **Gut belegt und schwer** sind vor allem Hitze, Dürre, Meeresspiegel, Artenverlust, Ernährungsunsicherheit, Vertreibung und wachsende Ungleichheit. Sie sind keine Prognose, sondern die Fortsetzung des Beobachteten.
2. **Plausibel und möglicherweise sehr schwer** sind tiefe wirtschaftliche Verluste, das Überschreiten von Eisschild-Schwellen, staatliche Überforderung und verkettete Krisen. Hier ent-

scheidet sich, ob Szenario A eine teure oder eine gefährliche Welt beschreibt. Das Wissen reicht für eine Entscheidung zwischen beiden Lesarten nicht aus.

3. **Spekulativ** sind ein Zusammenbruch der Umwälzzirkulation in diesem Jahrhundert, Kaskaden von Kipppunkten, Massenmigration über Kontinente, zwischenstaatliche Ressourcenkriege und der Zerfall demokratischer Ordnungen. Die Studie stützt keine Empfehlung auf diese Risiken. Sie lassen sich aber nicht ausschliessen, und ihre Wahrscheinlichkeit steigt mit der Erwärmung.
4. **Szenario C verringert fast alle Risiken, beseitigt aber keines.** Es tauscht einen Teil der Klimarisiken gegen Risiken des Umbaus ein, die kleiner, früher und umkehrbar sind.
5. **Der Unterschied zwischen den Szenarien liegt vor allem bei den unumkehrbaren Risiken.** Bei den umkehrbaren entscheidet bis zur Jahrhundertmitte die Anpassung.

19 Vergleich möglicher Handlungsmöglichkeiten

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Das Kapitel vergleicht, es empfiehlt noch nicht. Die Einstufungen sind Wertungen dieser Studie; ihre Begründung und die Fundstellen stehen bei jedem Instrument. Die Empfehlungen folgen in Kapitel 20.

19.1 Vorgehen

Was verglichen wird. Drei Ebenen sind zu trennen:

1. **Politikinstrumente** – wie der Staat Verhalten und Investitionen lenkt (Kap. 19.3).
2. **Handlungsfelder** – wo Emissionen gemindert oder Schäden begrenzt werden (Kap. 19.4, gestützt auf Kap. 13).
3. **Strategien** – wie Instrumente und Felder zu einem Gesamtansatz verbunden werden (Kap. 19.5).

Sieben Kriterien.

Kriterium	Leitfrage
Klimawirkung	Wie viel Erwärmung oder Schaden wird vermieden, und wie sicher?
Kosten und Nutzen	Was kostet die Massnahme je vermiedene Tonne oder je vermiedenen Schaden; entsteht Zusatznutzen?
Soziale Gerechtigkeit	Wer trägt die Lasten, wer hat den Nutzen – innerhalb von Ländern und zwischen ihnen?
Politische Umsetzbarkeit	Findet die Massnahme Mehrheiten, und hält sie Regierungswechsel aus?
Langfristige Wirksamkeit	Wirkt sie dauerhaft, oder lässt sie sich leicht zurücknehmen oder umgehen?
Technologische Machbarkeit	Sind die nötigen Techniken verfügbar und rasch genug ausbaubar?
Internationale Übertragbarkeit	Funktioniert sie auch in Ländern mit geringer Finanzkraft und schwächerer Verwaltung?

Skala. ++ sehr günstig · + günstig · ○ gemischt oder von der Ausgestaltung abhängig · − ungünstig · −− sehr ungünstig.

Grenzen des Verfahrens. Die Einstufungen sind grob und beruhen teils auf gut belegten Befunden, teils auf Einschätzung. Sie werden nicht zu einer Gesamtnote verrechnet: Eine Summe würde eine Gewichtung der Kriterien voraussetzen, und diese ist eine politische, keine wissenschaftliche Entscheidung. Kapitel 19.6 zeigt deshalb, wie sich die Rangfolge mit der Gewichtung verschiebt.

19.2 Was aus den bisherigen Kapiteln in den Vergleich eingeht

Befund	Folge für den Vergleich	Fundstelle
Bis 2050 unterscheidet sich das Klima zwischen den Pfaden kaum	Minderung und Anpassung sind beide nötig und ersetzen einander nicht	Kap. 16, 18.4
Der grösste Teil der Minderung bis 2035 ist mit reifen, günstigen Techniken möglich	Der Engpass liegt bei Umsetzung, Netzen, Kapital und Akzeptanz, weniger bei der Technik	Kap. 13; [Q08, C.12.1]
Jedes Jahrfünft Verzögerung erhöht die Spitzenerwärmung um knapp 0,1 °C	Geschwindigkeit ist ein eigenes Kriterium; langsame Instrumente haben einen Preis	Kap. 17.5
Rückverteilung der Einnahmen ist im Politikmodell die wirksamste Stellgrösse	Verteilungswirkung entscheidet mit über die Klimawirkung	Kap. 17.8
Gezielte Anpassungshilfe senkt die relative Mehrbelastung der Ärmsten von 2,4 auf 1,5	Zielgenauigkeit zählt mehr als Umfang	Kap. 17.7
Die Belastung der Staatshaushalte hängt stärker an der Finanzierungsform als am Klimapfad	Instrumente mit Einnahmen und solche mit Ausgaben sind fiskalisch grundverschieden	Kap. 17.6
Politik, die auf Zustimmung angewiesen ist, landet zwischen den Pfaden	Umsetzbarkeit ist keine Nebenbedingung, sondern bestimmt das Ergebnis	Kap. 17.8
In der Schweiz fanden Vorlagen mit Förderung Mehrheiten, eine mit Abgaben nicht	Der Befund aus dem Modell hat ein reales Gegenstück	Kap. 15; [Q51]

19.3 Politikinstrumente

Übersicht

Instrument	Klimawirkung	Kosten/Nutzen	Gerechtigkeit	Umsetzbarkeit	Dauerhaftigkeit	Technik	Übertragbarkeit
CO_2-Preis ohne Rückverteilung	+	++	−	−−	−	++	○
CO_2-Preis mit Rückverteilung pro Kopf	+	++	+	○	○	++	○
Emissionshandel mit sinkender Obergrenze	++	++	○	○	+	++	−
Abbau fossiler Subventionen	+	++	○	−−	○	++	+
Standards und Vorschriften	+	○	○	○	+	+	+

Instrument	Klimawirkung	Kosten/Nutzen	Gerechtigkeit	Umsetzbarkeit	Dauerhaftigkeit	Technik	Übertragbarkeit
Förderung und Investitionshilfen	+	−	○	++	○	+	−
Öffentliche Infrastruktur (Netze, Verkehr, Wärme)	+ (ermöglichend)	○	+	+	++	+	○
Forschung und Entwicklung	○ (spät, unsicher)	○	○	++	+	–	++ (Wissen verbreitet sich)
Grenzausgleich und Abkommen unter Willigen	○	○	−	○	○	++	–
Internationale Klima- und Anpassungsfinanzierung	+	+	++	−	−	++	++
Raumplanung und Bauvorschriften für Anpassung	+ (gegen Schäden)	++	○	−	++	++	○
Information, Beteiligung, Transparenz	○	+	+	++	○	++	++

Begründung im Einzelnen

CO_2-Bepreisung. Ein Preis auf Emissionen setzt überall dort an, wo fossile Energie verbraucht wird, und überlässt die Wahl der Mittel den Betroffenen. Deshalb gilt er als das kostengünstigste Einzelinstrument. Drei Einschränkungen:

- *Verteilung.* Haushalte mit geringem Einkommen geben einen grösseren Teil ihres Budgets für Energie aus. Ohne Ausgleich wirkt der Preis deshalb belastend für die Ärmeren. Werden die Einnahmen gleichmässig pro Kopf zurückgegeben, kehrt sich das um; der IPCC hält fest, dass sich die Verteilungswirkungen so ausgleichen lassen [Q08, E.4.2].
- *Akzeptanz.* Der Preis ist sichtbar, der Nutzen nicht. Abgaben auf Treibstoffe und Heizen haben in mehreren Ländern heftigen Widerstand ausgelöst (Kap. 12.2). Im Politikmodell senkt Rückverteilung die Erwärmung 2100 im Mittel um 0,34 °C, weil die Politik weniger oft zurückgenommen wird (Kap. 17.8) – als Mechanismus plausibel, als Zahl nicht belastbar.
- *Wirkungsgrenzen.* Wo Alternativen fehlen oder Entscheider und Zahler nicht dieselben sind – Mietwohnungen, fehlender öffentlicher Verkehr –, verteuert der Preis, ohne zu lenken (Kap. 12.2, 13.5).

Emissionshandel. Die Obergrenze legt die Menge fest, was die Klimawirkung sicherer macht als bei einer Abgabe; dafür schwankt der Preis. Der Handel braucht eine leistungsfähige Verwaltung für Messung und Kontrolle und ist deshalb schlechter übertragbar. Wo er Unternehmen und nicht Haushalte unmittelbar trifft, ist er politisch weniger sichtbar als eine Abgabe.

Abbau fossiler Subventionen. Er senkt Emissionen und verbessert die öffentlichen Einnahmen [Q08, E.4.2]. Die direkten Subventionen werden für 2024 auf 725 Mrd. USD beziffert; ihr Abbau würde die CO_2-Emissionen bis 2035 um 6 % unter den Referenzverlauf senken [Q47, Zusammenfassung]. Politisch ist der Abbau eines der schwierigsten Vorhaben, weil er sofort spürbare Preisanstiege auslöst. Als Hilfe für Arme sind die Subventionen dabei wenig zielgenau: Von jedem Dollar erreichen nur 8 Cent das ärmste Fünftel der Haushalte [Q47, Zusammenfassung]. Die Gerechtigkeitswirkung des Abbaus hängt davon ab, ob die frei werdenden Mittel gezielt an diese Haushalte gehen.

Standards und Vorschriften – Grenzwerte für Fahrzeuge, Gebäude und Geräte, Verbote neuer fossiler Heizungen. Sie wirken auch dort, wo Preise nicht lenken, und sind für die Betroffenen berechenbar. Dafür sind sie weniger kostengünstig, weil sie allen die gleiche Lösung vorschreiben, und sie können als Bevormundung empfunden werden. Die Kosten sind für die Betroffenen weniger sichtbar als bei einer Abgabe, aber nicht geringer. Gerecht sind sie, wenn Übergangsfristen und Härtefallhilfen bestehen.

Förderung und Investitionshilfen. Politisch das am leichtesten durchsetzbare Instrument, weil es Gewinner sichtbar macht. Es hat drei Nachteile: Es belastet den Staatshaushalt (Kap. 17.6); es fördert auch, was ohnehin geschehen wäre; und es kommt oft jenen zugute, die sich die Investition leisten können – Eigentümer statt Mietende. Wo die öffentliche Hand knapp bei Kasse ist, steht das Instrument kaum zur Verfügung. Zielgenauigkeit – Förderung nach Einkommen – verbessert Wirkung und Gerechtigkeit.

Öffentliche Infrastruktur. Stromnetze, öffentlicher Verkehr, Wärmenetze und Ladeinfrastruktur mindern selbst wenig, sind aber Voraussetzung dafür, dass Preise und Vorschriften wirken können. Die Investitionen in Netze sind seit 2015 weniger als halb so schnell gewachsen wie jene in die Erzeugung [Q10]. Infrastruktur wirkt über Jahrzehnte und wird kaum zurückgebaut – das macht sie zum dauerhaftesten Instrument.

Forschung und Entwicklung. Unverzichtbar für die schwierigen Reste – Industrieprozesse, Langzeitspeicher, CO_2-Entnahme (Kap. 13.12). Die Wirkung tritt spät und ungewiss ein. Als alleinige Strategie ist Forschung deshalb ungeeignet; als Ergänzung ist sie die Massnahme mit dem grössten Nutzen für andere Länder, weil günstigere Technik weltweit verfügbar wird. Der Preisverfall bei Solarenergie und Batterien um je 85 % in einem Jahrzehnt [Q08, B.4.1] ist das wichtigste Beispiel.

Grenzausgleich und Abkommen unter Willigen. Sie sollen verhindern, dass Produktion in Länder mit schwächeren Auflagen abwandert, und Anreize zum Mitmachen setzen. Sie sind aufwendig, handelspolitisch umstritten und belasten Exporteure aus ärmeren Ländern (Kap. 12.4). Im Politikmodell wirkt Kooperation schwach (−0,03 °C); das ist vermutlich eine Eigenschaft der Modellstruktur und wird nicht als Befund gewertet (Kap. 17.8).

Internationale Finanzierung. Minderung ist in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern günstiger als in Industriestaaten, scheitert aber an teurem Kapital (Kap. 12.6). Anpassungsfinanzierung erreicht die Verwundbarsten. Der Bedarf von rund 305 Mrd. USD pro Jahr steht Mitteln gegenüber,

die zuletzt um 1 Mrd. USD pro Jahr wuchsen [Q42]. Sachlich gehört das Instrument zu den wirksamsten und gerechtesten; politisch ist es in den Geberländern schwer zu vermitteln und von Haushaltslage und Regierungswechseln abhängig.

Raumplanung für Anpassung. Gefährdete Flächen von Bebauung freizuhalten ist die wirksamste und günstigste Form des Hochwasserschutzes und zugleich die am schwersten durchsetzbare, weil sie in Eigentum eingreift (Kap. 13.10).

Information und Beteiligung. Menschen unterschätzen weltweit die Bereitschaft ihrer Mitbürger, zum Klimaschutz beizutragen [Q43]. Diese Lücke sichtbar zu machen kostet wenig. Beteiligungsverfahren erhöhen die Legitimität [Q08, D.3.3]. Eine eigene Klimawirkung ist nicht belegt; das Instrument stützt die anderen.

Was der Instrumentenvergleich zeigt

1. **Kein Instrument ist in allen Kriterien günstig.** Die kostengünstigsten (Preis, Subventionsabbau) sind politisch am schwierigsten; die politisch einfachsten (Förderung, Forschung) sind teuer oder langsam.
2. **Die Ausgestaltung zählt mehr als die Wahl des Instruments.** Derselbe CO_2-Preis ist mit und ohne Rückverteilung in zwei Kriterien um zwei Stufen verschieden.
3. **Instrumente ergänzen sich.** Ein Preis lenkt nur, wo Infrastruktur Alternativen bietet; Vorschriften wirken, wo der Preis nicht ankommt; Förderung federt ab, was beide an Härten erzeugen.
4. **Fiskalisch gibt es zwei Gruppen:** Instrumente, die Einnahmen bringen (Preis, Subventionsabbau), und solche, die kosten (Förderung, Infrastruktur, Finanzierung). Eine Strategie, die nur auf die zweite Gruppe setzt, stösst an Haushaltsgrenzen – am schnellsten in Ländern mit teurem Kapital.

19.4 Handlungsfelder

Die technische Beurteilung steht in Kapitel 13.12. Hier werden die Felder nach den sieben Kriterien eingeordnet.

Handlungsfeld	Klimawirkung	Kosten/Nutzen	Gerechtigkeit	Umsetzbarkeit	Dauerhaftigkeit	Technik	Übertragbarkeit
Ausbau von Solar- und Windenergie mit Netzen und Speichern	++	++	+	+	++	++	++
Elektrifizierung von Verkehr und Wärme	++	+	○	○	++	++	+
Energieeffizienz, Gebäudesanierung	+	++	○	○	++	++	+

Handlungsfeld	Klimawirkung	Kosten/Nutzen	Gerechtigkeit	Umsetzbarkeit	Dauerhaftigkeit	Technik	Übertragbarkeit
Ausstieg aus der Kohleverstromung	++	+	− (regional)	−	+	++	○
Minderung von Methan aus Energie und Abfall	+ (rasch)	++	+	+	+	++	+
Schutz von Wäldern und Mooren	+	++	○	−	− (umkehrbar)	++	+
Industrie: Wasserstoff, CO_2-Abscheidung	+	−	○	○	+	○	−
Kernenergie – Weiterbetrieb	+	+	○	○	○	++	–
Kernenergie – Neubau	+ (nach 2040)	−	○	−	+	+	−
Änderung von Ernährung und Konsum	+	++	○	−−	−	++	○
CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre	○ (nach 2050)	−−	− (verschiebt Last auf Spätere)	+	○	−	−
Hitzeschutz, Frühwarnung	+ (gegen Schäden)	++	++	++	+	++	++
Hochwasser- und Küstenschutz	+ (gegen Schäden)	+	○	+	+	++	− (teuer)
Soziale Sicherung und Entwicklung in verwundbaren Ländern	+ (gegen Schäden)	++	++	−	+	++	++

Anmerkungen.

- **Solar, Wind, Netze.** Mehr als 90 % der 2025 zugebauten erneuerbaren Grosskapazität war günstiger als die günstigste neue fossile Alternative [Q45]. Das Feld ist in allen Kriterien günstig; begrenzend sind Netze, Bewilligungen und der Ausgleich im Winter (Kap. 13.2, 13.3).
- **Kohleausstieg.** Hohe Klimawirkung und grosser Gesundheitsnutzen, aber konzentrierte Verluste in einzelnen Regionen – der klassische Fall, in dem wenige Betroffene viel zu verlieren

haben (Kap. 12.1).

- **Methan.** Die Minderung wirkt innert Jahren auf die Temperatur und zählt zu den günstigsten Optionen [Q08, C.12.1]. Sie ersetzt die CO_2-Minderung nicht, weil die langfristige Erwärmung an den kumulierten CO_2-Emissionen hängt (Kap. 5).
- **Waldschutz.** Günstig und wirksam, aber umkehrbar: Der gespeicherte Kohlenstoff kann durch Brand, Dürre oder Rodung wieder frei werden (Kap. 13.7, 13.8).
- **Ernährung und Konsum.** Hohes Potenzial – nachfrageseitige Strategien könnten die Emissionen in Gebäuden, Landverkehr und Ernährung bis 2050 um 40–70 % senken [Q08, C.10.2] –, aber Eingriffe in Lebensgewohnheiten sind politisch am heikelsten. Wirksam sind hier eher Angebote und Infrastruktur als Vorschriften.
- **CO_2-Entnahme.** Für Restemissionen nötig [Q08, C.11], als Ersatz für Minderung ungeeignet. Die heutige Kapazität liegt rund zwei Grössenordnungen unter dem Bedarf des Pfades C1 (Kap. 13.7). Wer heute auf spätere Entnahme setzt, überträgt Kosten und Risiko des Scheiterns auf spätere Generationen.
- **Anpassung.** Hitzeschutz ist das Feld mit dem günstigsten Verhältnis von Aufwand und Nutzen. Die Erfahrung zeigt aber seine Grenze: Im Sommer 2022 starben in Europa trotz zwanzig Jahren Hitzeschutzplänen rund 60 000 Menschen [Q48].

19.5 Strategien im Vergleich

Vier Gesamtansätze werden in der politischen Debatte vertreten. Sie werden hier in zugespitzter Form verglichen; reale Politik mischt sie.

	1 Abwarten und anpassen	**2 Vorrang für Technologie**	**3 Vorrang für den Preis**	**4 Abgestimmtes Bündel**
Kern	Geltende Politik fortführen; Mittel in Anpassung und Wachstum lenken	Forschung, Förderung, Industriepolitik; keine Verteuerung	umfassender CO_2-Preis; wenig sonstige Eingriffe	Preis mit Rückverteilung, Infrastruktur, Standards, gezielte Förderung, Anpassung, internationale Finanzierung
Führt etwa zu Szenario	A	zwischen A und B2	B2 bis C, wenn der Preis hält	B2 bis C
Klimawirkung	−−	○	+ bis ++	++
Kosten/Nutzen	○ – hängt an der Schadensannahme (Kap. 17.4, 17.10)	− (teuer je Tonne)	++	+
Soziale Gerechtigkeit	−− (Schäden treffen die Ärmsten; Kap. 17.7)	○	− bis +, je nach Rückverteilung	+
Politische Umsetzbarkeit	++ kurzfristig; − wenn Schäden zunehmen	++	−	○ – anspruchsvoll, aber mit mehr Stützen
Langfristige Wirksamkeit	−− (unumkehrbare Folgen)	○	○ (rücknahmegefährdet)	+
Technologische Machbarkeit	++	○ (setzt auf Künftiges)	++	++

	1 Abwarten und anpassen	2 Vorrang für Technologie	3 Vorrang für den Preis	4 Abgestimmtes Bündel
Internationale Übertragbarkeit	− (arme Länder können sich Anpassung am wenigsten leisten)	− (teuer für arme Staaten), aber Technik verbreitet sich	○	+ mit Finanzierung
Hauptrisiko	nicht korrigierbar, falls die Schäden höher sind als angenommen	zu langsam; Haushaltsgrenzen	Abwehrreaktion und Rücknahme	Komplexität; Überforderung der Verwaltung

Strategie 1 – Abwarten und anpassen. Sie hat einen ernst zu nehmenden Kern: Bis 2050 lässt sich das Klima kaum beeinflussen, Anpassung und Entwicklung schützen die Verwundbarsten in dieser Zeit am wirksamsten (Kap. 16, 18.4), und mit den tiefsten Schadensschätzungen ist sie bis 2100 rechnerisch im Vorteil (Kap. 17.4). Ihre Schwäche ist die Unumkehrbarkeit. Sie setzt voraus, dass die Schäden so gering bleiben wie in den aufzählenden Schätzungen, dass keine Schwellen überschritten werden und dass die Zeit nach 2100 wenig zählt. Trifft eine dieser Annahmen nicht zu, ist der Irrtum nicht mehr zu beheben: In der verlängerten Simulation liegt die Erwärmung 2200 bei 3,4 bis 3,8 °C (Kap. 17.10). Anpassung wird zudem mit steigender Erwärmung teurer und weniger wirksam [Q07, C.3].

Strategie 2 – Vorrang für Technologie. Sie vermeidet die politischen Kosten von Preisen und Vorschriften und hat reale Erfolge vorzuweisen: Der Preisverfall erneuerbarer Energien geht wesentlich auf Förderung zurück. Als alleinige Strategie reicht sie nicht. Sie ist teuer je vermiedene Tonne, belastet die Staatshaushalte und lässt die bestehenden fossilen Anlagen in Betrieb, solange deren Nutzung nichts kostet. Für die bis 2035 nötige Minderung kommt neue Technik zu spät; die dafür nötige ist vorhanden (Kap. 13.12).

Strategie 3 – Vorrang für den Preis. Die ökonomisch überzeugendste und politisch verletzlichste Strategie. Ihr Risiko ist nicht, dass der Preis nicht wirkt, sondern dass er nicht eingeführt oder wieder abgeschafft wird. Im Politikmodell entscheidet die Rückverteilung darüber, ob eine kostenwirksame Politik Bestand hat (Kap. 17.8). Zudem lenkt ein Preis nur, wo Alternativen bestehen.

Strategie 4 – Abgestimmtes Bündel. Sie verbindet die Instrumente so, dass jedes die Schwäche eines anderen ausgleicht: Preis für die Kostenwirksamkeit, Rückverteilung für die Akzeptanz, Infrastruktur für die Alternativen, Standards für Bereiche ohne Preiswirkung, Förderung für Härtefälle und frühe Technik, Anpassung für das nicht mehr Vermeidbare. Ihr Nachteil ist die Komplexität: Viele Massnahmen zugleich verlangen eine leistungsfähige Verwaltung (Kap. 12.5) und sind anfällig für Widersprüche und Überregulierung. Ein Bündel ist nicht deshalb gut, weil es viel enthält.

19.6 Wie die Gewichtung der Kriterien die Rangfolge bestimmt

Die Strategien lassen sich nicht ohne Wertentscheidung in eine Reihenfolge bringen. Vier typische Gewichtungen:

Wer vor allem gewichtet …	… stuft am höchsten ein	… und nimmt in Kauf
Kostenwirksamkeit heute	Strategie 3, bei tiefen Schadensannahmen Strategie 1	Akzeptanzrisiken bzw. unumkehrbare Folgen

Wer vor allem gewichtet …	… stuft am höchsten ein	… und nimmt in Kauf
Vermeidung unumkehrbarer Schäden	Strategie 4 oder 3, konsequent umgesetzt	höhere Kosten bis 2050
Soziale Gerechtigkeit	Strategie 4 mit Rückverteilung und internationaler Finanzierung	geringere Kostenwirksamkeit
Politische Machbarkeit in der nächsten Wahlperiode	Strategie 2 oder 1	geringere Klimawirkung, höhere Kosten später

Zwei Feststellungen sind von der Gewichtung unabhängig:

1. **Strategie 1 ist die einzige, deren Hauptrisiko nicht korrigierbar ist.** Die Risiken der anderen drei – zu teuer, zu langsam, politisch gescheitert – lassen sich durch Nachsteuern beheben (Kap. 18.7).
2. **Keine Strategie kommt ohne Anpassung aus.** Die Erwärmung bis 2050 ist in allen Pfaden nahezu gleich.

19.7 Zielkonflikte

Die folgenden Konflikte lassen sich nicht auflösen, nur gestalten. Sie sind in Kapitel 20 offenzulegen.

Zielkonflikt	Inhalt	Wo er sich zeigt
Kostenwirksamkeit gegen Akzeptanz	Die günstigsten Instrumente sind die am wenigsten beliebten	CO_2-Preis gegen Förderung
Tempo gegen Sorgfalt	Raschere Bewilligungen beschneiden Mitsprache und Naturschutz	Netze, Wind- und Wasserkraft
Klimaschutz gegen Landschaft und Biodiversität	Erneuerbare Energien brauchen Fläche	alpine Solaranlagen, Wasserkraft, Bioenergie
Heute gegen morgen	Kosten jetzt, Nutzen nach 2050	Diskontsatz; Staatshaushalte (Kap. 17.6, 17.10)
Inland gegen Ausland	Eine Tonne lässt sich im Ausland oft günstiger mindern; Verantwortung und Kontrolle sprechen für das Inland	Auslandkompensation
Minderung gegen Anpassung	Beide beanspruchen dieselben knappen Mittel	öffentliche Haushalte, internationale Finanzierung
Versorgungssicherheit gegen Ausstiegstempo	Steuerbare Leistung im Winter gegen rasche Stilllegung	Kernenergie, Gaskraftwerke
Verursacherprinzip gegen Zahlungsfähigkeit	Wer verursacht, soll zahlen – aber einkommensschwache Haushalte können es am wenigsten	Heizen, Mobilität auf dem Land
Nationale Souveränität gegen Wirksamkeit	Wirksame internationale Regeln schränken nationale Spielräume ein	Grenzausgleich, verbindliche Ziele

19.8 Zwischenergebnis

Der Vergleich legt die Grundlage für die Empfehlungen, nimmt sie aber nicht vorweg. Fest steht:

1. **Die Wahl der Instrumente ist weniger entscheidend als ihre Verbindung und Ausgestaltung.** Verteilungswirkung, Verfügbarkeit von Alternativen und Verlässlichkeit bestimmen, ob eine Politik Bestand hat – und damit ihre Klimawirkung.
2. **Technisch ist der grössere Teil der Aufgabe lösbar.** Die günstigen Felder – erneuerbarer Strom, Elektrifizierung, Effizienz, Methan, Waldschutz – tragen die Hauptlast; die teuren werden für die Reste gebraucht.
3. **Anpassung und Minderung gehören in dieselbe Strategie,** wirken aber auf verschiedene Risiken und Zeiträume.
4. **Die Rangfolge der Strategien hängt an Wertentscheidungen:** am Gewicht künftiger Generationen, am Gewicht unumkehrbarer Verluste und an der Bereitschaft, heutige Lasten für einen ungewissen, aber möglicherweise grossen künftigen Nutzen zu tragen. Diese Entscheidungen kann die Studie benennen, aber nicht ersetzen.
5. **Offen bleibt die Kernfrage der Kosten-Nutzen-Abwägung.** Bei tiefen Schadensannahmen und hohem Diskontsatz spricht die Rechnung für Strategie 1, bei mittleren und hohen Schadensannahmen und längerem Horizont dagegen (Kap. 17.10). Für die Empfehlung ist deshalb zu entscheiden, wie mit dieser Unsicherheit umzugehen ist – nach dem erwarteten Wert oder nach der Vermeidung nicht korrigierbarer Fehler.

20 Handlungsempfehlungen

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Dieses Kapitel enthält Wertungen. Sie sind aus den Befunden der Kapitel 5–19 abgeleitet und als Wertungen gekennzeichnet. Wo eine Empfehlung von einer Wertentscheidung abhängt, wird diese genannt.

20.1 Die Entscheidungsregel

Bevor Massnahmen empfohlen werden können, ist zu klären, nach welcher Regel entschieden wird. Die Befunde lassen zwei Lesarten zu.

Lesart 1 – erwarteter Wert. Man wählt den Pfad mit den geringsten erwarteten Gesamtkosten. Dafür müssen Schäden beziffert und künftige Kosten abgezinst werden. Das Ergebnis hängt dann an Annahmen, über die die Forschung uneins ist: Mit tiefen Schadensschätzungen und einem Diskontsatz von 3 % oder mehr ist die Fortsetzung der geltenden Politik rechnerisch im Vorteil, auch über zwei Jahrhunderte. Mit mittleren Schätzungen kehrt sich das Ergebnis bei längerem Horizont um, mit hohen ist konsequenter Klimaschutz in jedem Fall überlegen (Kap. 17.4, 17.10).

Lesart 2 – Vorsorge. Man wählt den Pfad, bei dem ein Irrtum korrigierbar bleibt. Massgebend ist dann nicht der erwartete Wert, sondern die Asymmetrie der möglichen Fehler:

	Die Schäden sind tatsächlich tief	**Die Schäden sind tatsächlich hoch**
Konsequenter Klimaschutz gewählt	Es wurde mehr ausgegeben als nötig: im Modell 1 bis 2 Prozentpunkte der diskontierten Wirtschaftsleistung. Der Fehler ist begrenzt, und die Politik lässt sich lockern.	Schwere, teils unumkehrbare Schäden wurden vermieden.
Geltende Politik gewählt	Es wurde gespart.	Verluste bis zu einem Fünftel der Wirtschaftsleistung und mehr, über 3 °C Erwärmung im 22. Jahrhundert, überschrittene Schwellen. Der Fehler lässt sich nicht beheben.

Die Studie folgt der zweiten Lesart. Das ist eine Wertentscheidung, keine Rechnung. Sie stützt sich auf vier Befunde:

1. **Das Wissen reicht für Lesart 1 nicht aus.** Die Schadensschätzungen unterscheiden sich um den Faktor elf, und das Modell kann zwischen ihnen nicht entscheiden (Kap. 17.4). Ein Erwartungswert über Grössen, deren Verteilung unbekannt ist, täuscht Genauigkeit vor.
2. **Die schwersten Risiken sind unumkehrbar** – Meeresspiegel, Eisschilde, Artenverlust (Kap. 18.4). Gegen sie hilft später weder Geld noch Technik.
3. **Die Unsicherheit ist nicht symmetrisch.** Rückkopplungen und Schwelleneffekte verschlechtern den Pfad mit hoher Erwärmung stark und den mit tiefer kaum (Kap. 17.9, 18.6).
4. **Die Risiken des Klimaschutzes sind umkehrbar** (Kap. 18.7).

Die Gegenposition ist nicht unvernünftig und wird hier ausdrücklich festgehalten: Wer die aufzählenden Schadensschätzungen für zutreffend hält, die Wahrscheinlichkeit von Schwelleneffekten für gering und das Wohl heutiger Armer höher gewichtet als das künftiger Generationen, kann begründet zu einer anderen Empfehlung kommen – mehr Mittel für Entwicklung und Anpassung, weniger für rasche Minderung. Die Studie kann diese Position nicht widerlegen. Sie hält sie für die riskantere, weil sie auf drei Annahmen zugleich angewiesen ist und ihr Irrtum nicht korrigierbar wäre.

Was aus der Regel folgt und was nicht. Vorsorge heisst nicht «um jeden Preis». Aus ihr folgt, die Erwärmung so tief zu halten, wie es mit verfügbaren Mitteln und tragbaren Kosten möglich ist, und dabei Massnahmen zu bevorzugen, die auch dann sinnvoll sind, wenn die Schäden geringer ausfallen als befürchtet. Sie rechtfertigt keine Massnahmen, die mehr schaden als nützen, und keine Empfehlungen, die sich auf spekulative Risiken stützen (Kap. 18.8).

20.2 Der empfohlene Ansatz im Überblick

Zielpfad. Die Studie empfiehlt, auf einen Pfad zwischen den Szenarien B2 und C2 hinzuarbeiten: Erwärmung deutlich unter 2 °C, ohne sich auf grossflächige CO_2-Entnahme zu verlassen. Begründung:

- C2 hält die Erwärmung in 96 % der Läufe unter 2 °C und stabilisiert sie (Kap. 17.4).
- C1 – Rückkehr auf 1,5 °C – setzt eine CO_2-Entnahme voraus, die rund zwei Grössenordnungen über der heutigen Kapazität liegt (Kap. 13.7). Darauf zu bauen wäre mit dem Vorsorgegedanken nicht vereinbar.
- Politik, die auf Zustimmung angewiesen ist, erreicht im Modell von sich aus rund 2 °C (Kap. 17.8). Der Abstand zu C2 ist die Aufgabe, die durch bessere Gestaltung zu schliessen ist.

Strategie. Empfohlen wird das abgestimmte Bündel (Strategie 4, Kap. 19.5), nicht weil es am meisten enthält, sondern weil jedes seiner Teile eine Schwäche eines anderen ausgleicht. Vier Grundsätze ordnen die Massnahmen:

Grundsatz	Inhalt	Begründung
1 Zuerst, was sich in jedem Fall lohnt	Massnahmen mit eigenem Nutzen – saubere Luft, tiefere Energiekosten, Versorgungssicherheit, Schutz vor Hitze und Hochwasser	Sie sind auch bei tiefen Klimaschäden richtig und hängen nicht vom Handeln anderer Staaten ab (Kap. 12.9)
2 Früh statt später	Verfügbare, günstige Minderung jetzt umsetzen	Jedes Jahrfünft Verzögerung kostet knapp 0,1 °C Spitzenerwärmung (Kap. 17.5)
3 Verteilung von Anfang an	Lasten sichtbar ausgleichen, Alternativen vor Verteuerung bereitstellen	Politik, die als ungerecht empfunden wird, hat keinen Bestand – und damit keine Klimawirkung (Kap. 17.8)
4 Minderung und Anpassung zugleich	Anpassung für das nicht mehr Vermeidbare, Minderung gegen das Unumkehrbare	Bis 2050 ist das Klima in allen Pfaden nahezu gleich (Kap. 16)

Aufbau der Empfehlungen. Für jede der drei Ebenen – Welt, Industriestaaten, Schweiz – werden unterschieden:

- **kurzfristig wirksame Massnahmen** (Wirkung in den nächsten zehn Jahren),

- **langfristige strukturelle Veränderungen** (Wirkung über Jahrzehnte),
- **ergänzende Massnahmen** (stützen die anderen, wirken allein wenig).

20.3 Globale Ebene

Kurzfristig wirksam

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
G1	**Ausbau von Solar- und Windenergie mit Netzen und Speichern beschleunigen**, vor allem in Schwellen- und Entwicklungsländern	In allen sieben Kriterien günstig; über 90 % der neuen Kapazität günstiger als fossile Alternativen; Engpass sind Netze und Kapitalkosten	Kap. 13.2, 19.4; [Q45], [Q10]
G2	**Methanemissionen aus Öl, Gas, Kohle und Abfall mindern**	Wirkt innert Jahren auf die Temperatur; gehört zu den günstigsten Optionen	Kap. 19.4; [Q08, C.12.1]
G3	**Entwaldung stoppen**	Günstig und wirksam; Erfolg hängt an Durchsetzung und an Einkommen für die Bevölkerung vor Ort	Kap. 13.8; [Q03]
G4	**Keine neuen Kohlekraftwerke ohne Abscheidung; bestehende schrittweise ersetzen**	Bestehende und geplante fossile Anlagen übersteigen bereits das Budget für 1,5 °C	Kap. 12.3; [Q08, B.7]
G5	**Frühwarnsysteme und Hitzeschutz weltweit ausbauen**	Günstigstes Verhältnis von Aufwand und Nutzen; schützt bis 2050 unabhängig vom Emissionspfad	Kap. 13.10, 19.4; [Q07, C.2.11]

Langfristig strukturell

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
G6	**Kapitalkosten für Klimaschutz in ärmeren Ländern senken** – durch Garantien, Entwicklungsbanken, Risikoteilung	Kapital ist dort am teuersten, wo es am dringendsten gebraucht wird; die Investitionslücke ist dort am grössten	Kap. 12.6; [Q08, E.5.1]
G7	**Anpassungsfinanzierung an den Bedarf heranführen und auf die Verwundbarsten ausrichten**	Bedarf rund 305 Mrd. USD pro Jahr; die beschlossene Verdreifachung deckt 20–29 %. Gezielte Hilfe wirkt im Modell stärker als breite	Kap. 11.7, 17.7; [Q42]
G8	**Entwicklung und Anpassung zusammen planen**: Grundversorgung, soziale Sicherung, Gesundheit	Rasche, breit verteilte Entwicklung halbiert die Armutswirkung des Klimawandels und senkt das Konfliktrisiko	Kap. 9.6, 11.4; [Q40], [Q07, B.4.7]

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
G9	**Fossile Subventionen schrittweise abbauen und die Mittel an einkommensschwache Haushalte zurückgeben**	Senkt Emissionen und entlastet Staatshaushalte; nur 8 Cent je Subventionsdollar erreichen das ärmste Fünftel; ohne Ausgleich politisch nicht haltbar	Kap. 12.3, 19.3; [Q08, E.4.2], [Q47]
G10	**CO_2-Bepreisung ausweiten, mit sichtbarer Rückverteilung**	Kostengünstigstes Instrument; Rückverteilung entscheidet über den Bestand	Kap. 17.8, 19.3

Ergänzend

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
G11	**Abkommen unter willigen Staaten** zu einzelnen Branchen und Technologien, statt auf einen umfassenden bindenden Vertrag zu warten	Das Pariser Abkommen kennt keine Sanktionen und ist verwundbar gegenüber dem Rückzug grosser Emittenten	Kap. 11.7
G12	**Forschung zu den schwierigen Resten**: Industrieprozesse, Langzeitspeicher, CO_2-Entnahme	Nötig für die Zeit nach 2035; günstigere Technik kommt allen Ländern zugute	Kap. 13.12
G13	**CO_2-Entnahme nur für Restemissionen einplanen**, nicht als Ersatz für Minderung	Heutige Kapazität weit unter dem Bedarf; Risiko des Scheiterns läge bei späteren Generationen	Kap. 13.7
G14	**Rechtliche Vorsorge für Staaten, deren Gebiet unbewohnbar wird**	Für einige Inselstaaten ist der Meeresspiegelanstieg existenzbedrohend; das Völkerrecht hat keine fertige Antwort	Kap. 11.5; [Q07, B.4.5]

Was auf globaler Ebene nicht empfohlen wird. Verfahren zur Abschwächung der Sonneneinstrahlung werden nicht als Handlungsoption bewertet (Kap. 13.7). Ein weltweit einheitlicher CO_2-Preis wäre wirksam, ist aber auf absehbare Zeit nicht erreichbar; die Empfehlungen setzen ihn nicht voraus.

20.4 Industriestaaten

Industriestaaten haben die höchsten historischen Emissionen, die grösste Finanzkraft und die leistungsfähigsten Verwaltungen. Ihre Rolle ist dreifach: die eigenen Emissionen senken, Technik verbilligen und Minderung und Anpassung andernorts mitfinanzieren.

Kurzfristig wirksam

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
I1	**Netzausbau und Bewilligungsverfahren beschleunigen**	Der Engpass der Energiewende liegt bei der Umsetzung: Netzinvestitionen wachsen weniger als halb so schnell wie jene in die Erzeugung	Kap. 12.5; [Q10]
I2	**Ersatz fossiler Heizungen und Elektrifizierung des Strassenverkehrs**, mit einkommensabhängiger Förderung	Technik ist reif und im Betrieb meist günstiger; die Anschaffung ist die Hürde. Förderung nach Einkommen vermeidet, dass vor allem Wohlhabende profitieren	Kap. 13.4, 19.3
I3	**Hitzeaktionspläne mit aufsuchender Betreuung; Arbeitsschutz bei Hitze**	Hitze ist das Gesundheitsrisiko, bei dem Vorsorge am meisten bewirkt; bestehende Pläne reichen nicht aus (rund 60 000 Hitzetote in Europa 2022)	Kap. 14; [Q48], [Q17]
I4	**Effizienzstandards für Geräte, Fahrzeuge und Gebäude anheben**	Effizientere Geräte sind ohne oder mit geringen Mehrkosten verfügbar und werden dennoch nicht gekauft	Kap. 13.5; [Q10]

Langfristig strukturell

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
I5	**CO_2-Preis auf alle Sektoren ausdehnen und die Einnahmen überwiegend pro Kopf zurückgeben**	Kostengünstig; mit Rückverteilung für die Mehrheit der Haushalte mit geringem Einkommen entlastend und politisch stabiler	Kap. 19.3; [Q08, E.4.2]
I6	**Gesetzlich verankerte Ziele mit Zwischenschritten und unabhängiger Überprüfung**	Schafft Verlässlichkeit über Wahlperioden hinweg; Investitionen brauchen berechenbare Bedingungen	Kap. 12.9
I7	**Gebäudebestand sanieren und zugleich an Hitze anpassen**; Mietrecht so gestalten, dass Eigentümer investieren und Mietende nicht überlastet werden	Gebäude sind langlebig; Sanierung dient Minderung und Anpassung; geteilte Anreize sind das Haupthindernis	Kap. 13.9
I8	**Raumplanung an künftige Gefahren anpassen**: gefährdete Flächen freihalten, Städte begrünen und entsiegeln	Wirksamste und günstigste Form der Schadensvermeidung; Schutzbauten allein verleiten zu mehr Bebauung im Gefahrengebiet	Kap. 13.10; [Q07, C.4]
I9	**Übergang für betroffene Regionen und Beschäftigte gestalten**	Konzentrierte Verlierer organisieren Widerstand; neue Stellen entstehen nicht zwingend am selben Ort	Kap. 10.5, 12.1

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
I10	**Zusagen zur internationalen Finanzierung einhalten und verstetigen**	Glaubwürdigkeit ist Voraussetzung für Zusammenarbeit; Minderung im Ausland ist oft günstiger	Kap. 12.6; [Q42]

Ergänzend

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
I11	**Bestehende Kernkraftwerke weiterbetreiben, solange sie sicher sind**; Neubau als Option offenhalten, ohne den Ausbau schnellerer Alternativen davon abhängig zu machen	Weiterbetrieb ist günstige emissionsarme Erzeugung; Neubauten kommen für 2035 zu spät und sind teuer	Kap. 13.6
I12	**Lieferketten für kritische Rohstoffe und Anlagen verbreitern**	Starke Konzentration ist eine Schwachstelle der Energiesicherheit	Kap. 11.6; [Q10]
I13	**Versicherbarkeit erhalten**: Prävention fördern, Risiken offenlegen	Zieht sich die Versicherung zurück, fallen Schäden auf Eigentümer, Banken und Staat	Kap. 9.4; [Q41]
I14	**Tatsächliche Zustimmung sichtbar machen; Betroffene beteiligen**	Menschen unterschätzen die Bereitschaft ihrer Mitbürger; Beteiligung erhöht die Legitimität	Kap. 12.2; [Q43]

20.5 Schweiz

Ausgangslage. Die Schweiz hat sich um 2,9 °C erwärmt, rund doppelt so stark wie die Welt im Mittel [Q13]. Ihre Inlandemissionen lagen 2024 27 % unter jenen von 1990; gesetzlich verlangt sind netto null bis 2050 und mindestens −75 % bis 2040 [Q50, Q34]. Drei Eigenheiten prägen die Empfehlungen (Kap. 15):

1. **Das eigene Klima kann die Schweiz nicht bestimmen.** Ihre Inlandemissionen machen weniger als ein Tausendstel der weltweiten aus. Der Nutzen eigener Minderung liegt in Glaubwürdigkeit, Technikentwicklung, geringerer Abhängigkeit von Energieimporten und sauberer Luft – nicht in einem messbar kühleren Schweizer Klima.
2. **Der grössere Teil des Fussabdrucks und der Risiken liegt im Ausland**: rund 15 Tonnen pro Kopf mit Importen gegenüber 4,5 im Inland [Q51]; Risiken über Handel, Finanzplatz und Stabilität anderer Regionen.
3. **Direkte Demokratie.** Massnahmen brauchen Mehrheiten an der Urne. Vorlagen mit Förderung fanden sie, eine mit Abgaben nicht [Q51].

Kurzfristig wirksam

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
S1	**Hitzeschutz verstärken**: Aktionspläne in allen Kantonen, aufsuchende Betreuung alleinlebender älterer Menschen, Hitzeschutz in Heimen und Spitälern, Begrünung und Beschattung dicht bebauter Quartiere	Hitze ist heute und künftig das grösste Klimarisiko der Schweiz; 84 % der Hitzetoten sind über 75; im Rekordsommer 2026 starben trotz zwanzig Jahren Hitzeschutz ähnlich viele Menschen wie 2003 (provisorisch)	Kap. 15; [Q15], [Q49]
S2	**Emissionen des Verkehrs senken**: Elektrifizierung mit Ladeinfrastruktur auch für Mietende, Ausbau des öffentlichen Verkehrs, Anreize bei der Fahrzeugbesteuerung	Der Verkehr verursacht ein Drittel der Emissionen und hat seit 1990 nur 10 % eingespart; verlangt sind 57 % bis 2040	Kap. 15.13; [Q50], [Q34]
S3	**Heizungsersatz fortführen**, mit Unterstützung für Eigentümer mit geringem Einkommen und Schutz der Mietenden vor Überwälzung	Der Gebäudesektor zeigt, dass es geht (−47 %); verlangt sind −82 % bis 2040	Kap. 15.13; [Q50]
S4	**Überwachung von Naturgefahren im Hochgebirge ausbauen**; Gefahrenkarten an tauenden Permafrost und heftigere Niederschläge anpassen	Wachsendes Risiko von Naturgefahren ist eine der fünf zentralen Herausforderungen	Kap. 15; [Q15], [Q33]
S5	**Wasserbewirtschaftung für trockene Sommer regeln**: Vorrangordnung, regionale Planung	Die Risiken durch Sommertrockenheit sind seit 2017 gestiegen; bis zu einem Viertel weniger Sommerregen bis 2060	Kap. 15; [Q15]

Langfristig strukturell

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
S6	**Winterstromversorgung sichern**: Speicherwasserkraft, Photovoltaik und Windkraft mit hohem Winteranteil, Effizienz, gesicherter Stromaustausch mit den Nachbarländern, Weiterbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke, solange sie sicher sind	Elektrifizierung erhöht den Winterbedarf, Photovoltaik liefert vor allem im Sommer; der Winter ist die eigentliche Herausforderung	Kap. 13.3, 15.7
S7	**Mehrzweckspeicher planen** – für Strom, Bewässerung und Hochwasserrückhalt zugleich –, mit früher und offener Abwägung gegenüber Landschafts- und Gewässerschutz	Schmelzwasser aus Gletschern nimmt spätestens ab 2050 ab; Sommerabflüsse sinken, Winterabflüsse steigen	Kap. 15.7, 15.10; [Q33]

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
S8	**Lenkungsabgabe mit vollständiger, sichtbarer Rückverteilung pro Kopf weiterentwickeln** und mit Alternativen verbinden	Kostengünstig und für die Mehrheit entlastend; ohne sichtbare Rückgabe und ohne Alternativen an der Urne nicht mehrheitsfähig	Kap. 15.13, 17.8, 19.3
S9	**Den Fussabdruck im Ausland angehen**: Klimawirkung von Importen und Lieferketten ausweisen; Ausrichtung des Finanzplatzes an den Klimazielen mit überprüfbaren Angaben	Der grössere Teil der Schweizer Emissionen und Risiken entsteht im Ausland	Kap. 15.12; [Q51]
S10	**Internationale Klima- und Anpassungsfinanzierung als Eigeninteresse behandeln** und verstetigen	Gemessen am eigenen Risiko wiegen Beiträge im Ausland mindestens so schwer wie die Senkung der Inlandsemissionen	Kap. 15.12
S11	**Raumplanung und Bauen**: gefährdete Gebiete freihalten, Siedlungsentwässerung auf Starkregen auslegen, Gebäude sommertauglich bauen und sanieren	Gebäude und Infrastruktur sind für das Klima des 20. Jahrhunderts gebaut	Kap. 15.9, 15.10
S12	**Wald und Landwirtschaft anpassen**: standortgerechte Baumarten, Schutzwaldpflege, trockenheitsverträgliche Kulturen, sparsame Bewässerung	Trockenstress und Hitze treffen beide Sektoren stark	Kap. 15; [Q15]

Ergänzend

Nr.	Massnahme	Begründung	Fundstelle
S13	**Bergregionen beim Umbau des Tourismus begleiten** – keine Förderung von Beschneiung in Lagen, die absehbar nicht schneesicher bleiben	Tiefe Lagen verlieren die Schneesicherheit zuerst; technische Beschneiung stösst an physikalische Grenzen	Kap. 15.8; [Q13]
S14	**Negativemissionen entwickeln**, im Umfang der schwer vermeidbaren Restemissionen	Das Gesetz sieht sie für Restemissionen vor; 2024 erst 705 Tonnen ausgewiesen	Kap. 15.13; [Q34], [Q50]
S15	**Auslandkompensation nur ergänzend und mit strenger Prüfung**	Günstig je Tonne, aber schwer kontrollierbar; das Gesetz verlangt Minderung soweit möglich im Inland	Kap. 15.13; [Q34]
S16	**Forschung und Messnetze erhalten**: Klimaszenarien, Gletscher- und Permafrostbeobachtung, Monitoring der Hitzesterblichkeit	Sie sind die Grundlage jeder Anpassung und haben diese Studie erst möglich gemacht	Kap. 15

Vorbehalt. Die Empfehlungen für die Schweiz nennen Stossrichtungen, keine Mengen- oder Kostenziele. Zahlen zu Strombedarf, Schneesicherheit und volkswirtschaftlichen Kosten sind in dieser Studie nicht am Original geprüft (Kap. 15) und werden deshalb nicht in Empfehlungen umgesetzt.

20.6 Zielkonflikte und wie die Empfehlungen damit umgehen

Zielkonflikt	Entscheid dieser Studie	Preis dieses Entscheids
Kostenwirksamkeit gegen Akzeptanz	Preis mit Rückverteilung, ergänzt durch Förderung und Standards	Teurer je vermiedene Tonne als ein reiner Preis
Heute gegen morgen	Vorsorge: heutige Kosten für die Vermeidung unumkehrbarer Schäden	Bis etwa 2050 höhere Gesamtlast und höhere Belastung der Staatshaushalte (Kap. 17.4, 17.6)
Minderung gegen Anpassung	Beides; kurzfristig Vorrang für Anpassung bei den Verwundbarsten, strukturell Vorrang für Minderung	Mittel werden geteilt; keines von beiden wird maximal verfolgt
Tempo gegen Sorgfalt	Verfahren straffen, Mitsprache früh statt spät	Einzelne Eingriffe in Landschaft und Natur werden in Kauf genommen
Klimaschutz gegen Landschaft und Biodiversität	Zuerst bebaute Flächen und bestehende Anlagen nutzen; neue Standorte nach offener Abwägung	Langsamerer Ausbau als technisch möglich
Inland gegen Ausland	Minderung vorrangig im Inland; Finanzierung im Ausland zusätzlich, nicht als Ersatz	Höhere Kosten je Tonne
Versorgungssicherheit gegen Ausstiegstempo	Erst Ersatz, dann Abschaltung	Fossile und nukleare Anlagen laufen länger, als manche wünschen
Verursacherprinzip gegen Zahlungsfähigkeit	Verursacher zahlen; Einnahmen fliessen pro Kopf zurück; Härtefallhilfen	Geringere Lenkungswirkung bei jenen, die Hilfe erhalten
Zustimmung heute gegen Wirkung	Lieber eine etwas schwächere Massnahme, die Bestand hat, als eine starke, die zurückgenommen wird	Der Pfad liegt näher bei B2 als bei C2, wenn die Gestaltung nicht gelingt

Der letzte Punkt verdient Betonung. Die Simulation zeigt, dass eine Politik, die an der Zustimmung scheitert, weniger erreicht als eine, die weniger verlangt und bleibt (Kap. 17.8). Daraus folgt keine Empfehlung für Zurückhaltung, sondern für Sorgfalt bei der Verteilung.

20.7 Was die Empfehlungen voraussetzen und was sie gefährdet

Voraussetzungen.

- Die grossen Emittenten unter den Schwellenländern senken ihre Emissionen ebenfalls. Klimaschutz in Industriestaaten ist notwendig, entscheidet das Ergebnis aber nicht allein (Kap. 12.6).
- Die Kosten erneuerbarer Energien und von Speichern bleiben tief oder sinken weiter.
- Verwaltungen sind in der Lage, Bewilligungen, Netze und Förderprogramme umzusetzen.

Gefährdungen.

- **Rückzug grosser Staaten** aus der Zusammenarbeit. Die Empfehlungen sind deshalb so gewählt, dass möglichst viele auch ohne das Handeln anderer sinnvoll sind (Grundsatz 1).

- **Abwehrreaktionen** gegen ungleich verteilte Lasten (Kap. 18.7).
- **Haushaltsengpässe**, die Förderung und Finanzierung beschneiden – daher das Gewicht auf Instrumenten, die Einnahmen bringen.
- **Vertrauen auf künftige Technik**, das heutige Minderung verzögert.

Wann die Empfehlungen zu überprüfen wären. Die Studie nennt drei Entwicklungen, die eine Neubewertung verlangen würden:

1. Neue Belege, dass die wirtschaftlichen Schäden nahe an den tiefen Schätzungen liegen und Schwelleneffekte unwahrscheinlich sind – das spräche für mehr Gewicht auf Anpassung und Entwicklung.
2. Neue Belege für nahe Kipppunkte oder Schäden nahe den hohen Schätzungen – das spräche für rascheres Handeln, als hier empfohlen.
3. Ein Durchbruch bei günstiger, grossflächiger CO_2-Entnahme – das würde die Rückkehr auf tiefere Temperaturen realistischer machen, aber die Minderung nicht ersetzen.

20.8 Die Empfehlungen in Kürze

1. **Entscheidungsregel:** Vorsorge. Den Pfad wählen, dessen Irrtum korrigierbar bleibt.
2. **Ziel:** Erwärmung deutlich unter 2 °C, ohne sich auf grossflächige CO_2-Entnahme zu verlassen.
3. **Zuerst** die verfügbaren, günstigen Massnahmen: erneuerbarer Strom mit Netzen, Elektrifizierung, Effizienz, Methan, Waldschutz – und Hitzeschutz und Frühwarnung.
4. **Strukturell:** CO_2-Preis mit Rückverteilung, verlässliche gesetzliche Ziele, Infrastruktur, angepasste Raumplanung, tiefere Kapitalkosten und Anpassungsfinanzierung für ärmere Länder.
5. **Durchgehend:** Verteilungswirkung von Anfang an gestalten. Sie entscheidet darüber, ob Klimapolitik Bestand hat.
6. **Für die Schweiz:** Hitzeschutz, Verkehr, Winterstrom, Wasser und Naturgefahren im Inland; Fussabdruck, Finanzplatz und Finanzierung im Ausland.
7. **Nicht:** auf künftige Technik warten, Anpassung als Ersatz für Minderung behandeln oder Empfehlungen auf spekulative Risiken stützen.

21 Fazit

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Das Fazit beantwortet die Leitfrage und die neun Teilfragen aus Kapitel 3 und benennt, was die Studie nicht leisten konnte.

21.1 Antwort auf die Leitfrage

> Wie verändert der menschengemachte Klimawandel unsere Gesellschaft, und welche ökologischen, wirtschaftlichen, politischen und sozialen Folgen entstehen, wenn die Menschheit ihre bisherigen Emissions- und Wirtschaftsweisen weitgehend fortsetzt?

Bei Fortsetzung der geltenden Politik erwärmt sich die Erde bis 2100 um rund 2,6 °C (2,2–3,1 °C in der eigenen Simulation; bis 2,8 °C nach UNEP [Q01]) – und die Erwärmung hält dann an. Das ist keine Katastrophe im Sinn eines plötzlichen Zusammenbruchs. Es ist eine fortschreitende Verschlechterung der Lebensbedingungen, die drei Eigenschaften hat:

1. **Sie trifft ungleich.** Die Folgen fallen dort am stärksten aus, wo die Mittel zu ihrer Bewältigung am geringsten sind – zwischen Ländern wie innerhalb von ihnen.
2. **Sie ist zu einem wesentlichen Teil unumkehrbar.** Meeresspiegel, Gletscher, Arten und möglicherweise Eisschilde lassen sich nicht zurückholen.
3. **Sie kommt nicht zum Stillstand.** Der Unterschied zwischen den Pfaden ist nicht der zwischen Schaden und keinem Schaden, sondern zwischen einem Klima, das sich stabilisiert, und einem, das sich weiter verändert.

Für wohlhabende, gut regierte Gesellschaften ist diese Entwicklung in diesem Jahrhundert teuer, aber voraussichtlich zu bewältigen. Für arme und fragile Gesellschaften ist sie es in Teilen nicht. Wie hoch die wirtschaftlichen Kosten insgesamt ausfallen, lässt sich nach heutigem Wissen nur auf den Faktor zehn genau sagen.

21.2 Die neun Teilfragen

F1 – Wie weit ist der Klimawandel fortgeschritten? Die menschengemachte Erwärmung beträgt 1,37 °C und nimmt um 0,27 °C pro Jahrzehnt zu [Q02]. Die langfristige 1,5-°C-Marke wird um 2030 erreicht. Die Emissionen liegen auf einem Höchststand [Q03]. Hitzeextreme, Starkniederschläge, Gletscherschwund und Meeresspiegelanstieg sind gemessen und dem Menschen zugeordnet (Kap. 5, 6).

F2 – Was ist bei Fortsetzung der geltenden Politik zu erwarten? Rund 2,6 °C bis 2100, weiter steigend um 0,13 °C pro Jahrzehnt; in der Fortschreibung 3,4 bis 3,8 °C bis 2200. Die Schwelle von 2 °C wird in 99 % der Simulationsläufe überschritten (Kap. 7, 17).

F3 – Wie verändern sich Lebensbedingungen, Wirtschaft und politische Stabilität? Hitze, Wasserknappheit und Ernährungsunsicherheit nehmen zu; die wirtschaftlichen Schäden liegen 2100 je nach Schätzansatz zwischen 2 und 27 % der Wirtschaftsleistung; die Belastung der

Staatshaushalte wächst ohne Obergrenze, in armen Ländern um ein Mehrfaches stärker. Politisch ist weniger ein Bruch zu erwarten als eine schrittweise Überforderung staatlicher Leistungsfähigkeit – eine Einschätzung, die sich nicht beziffern lässt (Kap. 9–12).

F4 – Welche Folgen bis 2030, 2050 und 2100? 2030 ist entschieden: rund 1,5 °C in allen Pfaden. 2050 ist klimatisch weitgehend entschieden: 1,7 bis 1,8 °C; die Pfade unterscheiden sich um 0,14 °C. 2100 trennen sie sich: 1,6 °C stabil gegenüber 2,6 °C steigend (Kap. 16).

F5 – Wer ist besonders betroffen? Global: Afrika südlich der Sahara, Südasien, kleine Inselstaaten, Küsten und Deltas. Sozial: Haushalte mit geringem Einkommen, ältere Menschen, im Freien Arbeitende. In der Simulation verliert das ärmste Fünftel relativ 2,4-mal so viel wie das reichste. In Europa der Süden; in der Schweiz ältere Menschen in Städten, die Bergregionen und die vom Ausland abhängigen Branchen (Kap. 10, 14, 15, 17).

F6 – Was ist noch vermeidbar? Nicht mehr vermeidbar sind das Überschreiten von 1,5 °C, die Erwärmung bis 2050, der Verlust des grösseren Teils der Alpengletscher und schwere Schäden an Korallenriffen. Vermeidbar sind das Überschreiten von 2 °C, die fortgesetzte Erwärmung nach 2100 und der grössere Teil der Schäden der zweiten Jahrhunderthälfte. Jedes Jahrfünft Verzögerung erhöht die Spitzenerwärmung um knapp 0,1 °C (Kap. 16, 17).

F7 – Welche Massnahmen begrenzen die schwersten Folgen? Gegen die unumkehrbaren Folgen wirkt nur Emissionsminderung; die Hauptlast können reife, günstige Techniken tragen. Gegen die Folgen bis 2050 wirken Anpassung und Entwicklung. Die beiden sind nicht austauschbar (Kap. 13, 18, 19).

F8 – Welcher Handlungsansatz ist am sinnvollsten? Ein abgestimmtes Bündel aus früher Minderung mit verfügbaren Mitteln, CO_2-Preis mit Rückverteilung, Infrastruktur, Anpassung und internationaler Finanzierung, mit dem Ziel deutlich unter 2 °C. Die Empfehlung beruht auf dem Vorsorgeprinzip und damit auf einer Wertentscheidung, nicht auf einer Kosten-Nutzen-Rechnung (Kap. 20).

F9 – Was ergeben die eigenen Simulationen? Sie bestätigen die physikalischen Projektionen der Literatur und zeigen vier Dinge, die über sie hinausgehen: Der Abstand zwischen den Pfaden ist robuster als ihr Niveau. Ob sich Klimaschutz rechnerisch auszahlt, hängt an Schadensfunktion, Zeithorizont und Diskontsatz. Die Gestaltung der Verteilung wirkt im Politikmodell stärker als das Reaktionstempo der Institutionen. Und Rückkopplungen belasten den Pfad mit hoher Erwärmung weit stärker als den mit tiefer (Kap. 17).

21.3 Was die Studie nicht bestätigt hat

Die Studie war ergebnisoffen angelegt. Mehrere verbreitete Aussagen haben der Prüfung nicht oder nur eingeschränkt standgehalten:

- **«Klimaschutz rechnet sich in jedem Fall.»** Nicht belegt. Mit den tiefsten Schadensschätzungen ist die geltende Politik bis 2100 rechnerisch im Vorteil und bleibt es bei üblichem Diskontsatz bis 2200.
- **«Weiter wie bisher führt auf 4 bis 5 °C.»** Nicht mehr zutreffend. Die geltende Politik führt auf 2,5 bis 3 °C; der sehr hohe Pfad setzt einen Kohleausbau voraus, der nicht stattfindet.

- **«Hunderte Millionen Klimaflüchtlinge kommen nach Europa.»** Durch die Forschung nicht gedeckt. Die oft zitierte Zahl von 216 Millionen ist die Obergrenze eines ungünstigen Szenarios und betrifft Wanderung innerhalb von Ländern.
- **«Der Klimawandel verursacht Kriege.»** Zu einfach. Er verstärkt Konfliktrisiken dort, wo andere Voraussetzungen gegeben sind.
- **«Die Technik wird es richten.»** Nur teilweise. Die Technik für den grösseren Teil der Minderung ist vorhanden; was fehlt, sind Netze, Kapital und Zustimmung. Auf künftige CO_2-Entnahme zu bauen ist riskant.
- **«Anpassung genügt.»** Nicht bei Hitze, wie die Sterblichkeit in den Sommern 2022 und 2026 zeigt, und nicht bei unumkehrbaren Folgen.
- **«Es ist ohnehin zu spät.»** Falsch für alles, was nach 2050 geschieht.

21.4 Grenzen dieser Studie

1. **Quellen.** Drei der zitierten Quellen sind nicht inhaltlich am Original geprüft (Kap. 22.3); mehrere Berichte wurden nur über die Mitteilung der herausgebenden Stelle gelesen (Kap. 22). Seitenangaben aus mehreren Berichten fehlen. Einzelne Zahlen zur Schweiz sind als ungeprüft gekennzeichnet und nicht in Empfehlungen eingeflossen.
2. **Modell.** Das Klimamodul ist ein Emulator, kein Erdsystemmodell; die Klimasensitivität liegt nach dem Abgleich mit Messdaten eher tief. Das Wirtschaftsmodul arbeitet mit stilisierten Ausgangswerten. Die Agentenmodelle sind nicht empirisch kalibriert und liefern Hypothesen über Mechanismen, keine Prognosen (Kap. 23.11).
3. **Zeit nach 2100.** Die Verlängerung bis 2200 ist eine Fortschreibung unter gesetzten Annahmen.
4. **Nicht bewertet** sind Menschenleben, Gesundheit und Ökosysteme, soweit sie in den Schadensfunktionen fehlen, sowie der Zusatznutzen des Klimaschutzes.
5. **Wertungen.** Die Einstufungen in den Kapiteln 18 und 19 und die Entscheidungsregel in Kapitel 20 sind begründete Urteile, keine Messergebnisse. Andere Gewichtungen führen zu anderen Rangfolgen.
6. **Zeitpunkt.** Der Stand ist November 2026. Der Siebte Sachstandsbericht des IPCC liegt noch nicht vor; die Studie stützt sich auf den Sechsten und auf jährliche Aktualisierungen.

21.5 Weiterer Forschungsbedarf

- **Schadensfunktionen.** Der Faktor elf zwischen den Schätzansätzen ist die grösste Wissenslücke mit unmittelbarer politischer Bedeutung.
- **Verteilung und Akzeptanz.** Ob Rückverteilung die Beständigkeit von Klimapolitik so stark erhöht, wie das Modell nahelegt, wäre an Ländern mit und ohne Rückverteilung zu prüfen.
- **Verkettete Risiken.** Sie sind der wahrscheinlichste Weg zu schweren Gesamtlagen und am schlechtesten untersucht.
- **Schwellen der Eisschilde** und das Verhalten der Kohlenstoffsenken bei höherer Erwärmung.
- **Schweiz:** volkswirtschaftliche Gesamtkosten, Klimafolgen über Handel und Finanzplatz, Winterstromversorgung bei verändertem Abflussregime.

21.6 Schlussgedanke

Die Studie hat kein einfaches Argument gefunden, das die Frage entscheidet. Sie hat gefunden, dass die physikalischen Folgen der Pfade gut bekannt sind und ihre Bewertung nicht – und dass der eine Irrtum sich beheben lässt und der andere nicht. Wer heute entscheidet, entscheidet deshalb weniger über Kosten und Nutzen als darüber, welches Risiko er späteren Generationen überlässt: zu viel getan zu haben oder zu wenig.

22 Literaturverzeichnis

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

22.1 Hinweise

Das Verzeichnis umfasst 53 Quellen. 48 davon sind im Text zitiert; 45 dieser Quellen wurden am Original oder an der Originalmitteilung der herausgebenden Stelle geprüft, 3 nicht oder nicht vollständig. Zu jeder Quelle steht, was gelesen wurde. Die Fundstellen einzelner Zahlen sind im Belegprotokoll `quellen/belege.md` festgehalten.

Zitiert wird in der Form [Q06, B.5.3]: Nummer der Quelle, dann Fundstelle. Bei den Berichten des IPCC bezeichnet die Fundstelle den Absatz der Zusammenfassung für Entscheidungsträger.

22.2 Im Text zitierte Quellen

[Q01] UNEP (2026): Emissions Gap Report 2026: The Point of Return. Behördenbericht. https://www.unep.org/en/publications/report/emissions-gap-report-2026
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 3, 4, 7, 11, 13, 16, 17, 18, 21, 23. Kernzahlen an UNEP-Berichtsseite und UNEP-Medienmitteilung vom 21.10.2026 geprüft – Volltext-PDF (Seitenzahlen) steht aus.

[Q02] Forster, P. M. et al. (2026): Indicators of Global Climate Change 2025: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. Earth Syst. Sci. Data 18, 3889–3933. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.5194/essd-18-3889-2026
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 3, 4, 5, 6, 15, 16, 21, 23. Abstract, Tab. 8 (S. 3910), Abschnitt 12 und Tab. 11 im Original-PDF gelesen.

[Q03] Friedlingstein, P. et al. (Global Carbon Project) (2026): Global Carbon Budget 2026 (ESSD-Preprint, 10.11.2026). Fachartikel (Preprint). https://globalcarbonbudget.org/fossil-co2-emissions-decrease-in-2026/
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 4, 5, 6, 7, 13, 20, 21, 23. Nur Medienmitteilung des Global Carbon Project gelesen – Preprint (noch nicht begutachtet) und DOI stehen aus.

[Q04] WMO (2026): State of the Global Climate 2025. Behördenbericht. https://wmo.int/news/media-centre/earths-climate-swings-increasingly-out-of-balance
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 4, 5, 6, 8, 16. WMO-Medienmitteilung vom 23.3.2026 gelesen – Berichts-PDF (Seitenzahlen) steht aus.

[Q05] WMO (2026): State of the Climate Update for COP31. Behördenbericht. https://wmo.int/resources/publication-series/state-of-climate-update-cop/state-of-climate-update-cop31
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 4. Publikationsseite der WMO (9.11.2026) gelesen: Jan.–Sept. 2026 rund 1.47 °C über 1850–1900 – Berichts-PDF steht aus.

[Q06] IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I, AR6 – Summary for Policymakers. Sachstandsbericht.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 1, 4, 5, 6, 7, 8, 14, 16, 17, 18, 23. SPM in HTML-Fassung gelesen – zitiert nach Absatznummern.

[Q07] IPCC (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II, AR6 – Summary for Policymakers. Sachstandsbericht.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/summary-for-policymakers/
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 23. SPM in HTML-Fassung gelesen – zitiert nach Absatznummern.

[Q08] IPCC (2022): Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III, AR6 – Summary for Policymakers. Sachstandsbericht.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/summary-for-policymakers/
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 23. SPM in HTML-Fassung gelesen – zitiert nach Absatznummern.

[Q10] IEA (2025): World Energy Outlook 2025. Behördenbericht. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025/executive-summary
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 7, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20. Executive Summary gelesen – WEO 2026 am 10.11.2026 noch nicht erschienen.

[Q11] Climate Action Tracker (Climate Analytics, NewClimate Institute) (2025): Emissions pathways to 2100 (Webseite, Stand Global Update November 2025). Analyse (nicht peer-reviewt).
https://climateactiontracker.org/global/emissions-pathways/
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 7. Webseite gelesen – kein Update 2026 gefunden.

[Q12] Lancet Countdown (Autorenkollektiv) (2026): The 2026 report of the Lancet Countdown on health and climate change. Fachartikel (peer-reviewt). https://www.who.int/news/item/28-10-2026-climate-change-is-a-growing-health-emergency--lancet-countdown-warns
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 10. Nur WHO-Mitteilung vom 28.10.2026 gelesen – Originalartikel und bibliografische Angaben stehen aus.

[Q13] MeteoSchweiz / ETH Zürich / NCCS (2025): Klimaszenarien CH2025 (Medienmitteilung des Bundes vom 4.11.2025). Behördenbericht.
https://www.admin.ch/de/newnsb/COnEkDbkoyff3Q632k9kk
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 3, 15, 20. Medienmitteilung gelesen – Fachbericht mit Werten für 1.5 und 2 °C steht aus.

[Q14] GLAMOS / SCNAT (2026): Die Schweizer Gletscher verlieren weitere fünf Prozent ihres Volumens (Mitteilung 1.10.2026). Messnetz. https://www.geo.uzh.ch/de/news/2026/glamos-2026.html
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 15, 16. Mitteilung der Universität Zürich gelesen.

[Q15] BAFU (2025): Klima-Risikoanalyse für die Schweiz (UW-2502). Behördenbericht. https://www.bafu.admin.ch/de/klima-risikoanalyse-2025
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 15, 20. Dossierseite und Medienmitteilung vom 5.6.2025 gelesen – Berichts-PDF (Seitenzahlen) steht aus.

[Q16] BFE (Prognos, TEP Energy, Infras, Ecoplan) (2020): Energieperspektiven 2050+ (Kurzbericht, aktualisiert 2022). Behördenbericht. https://pubdb.bfe.admin.ch/en/sammlungen/energieperspektiven2050plus
abgerufen am 2026-11-10; nicht am Original geprüft; zitiert in Kap. 15. Zahlen aus den Originaltabellen entnehmen.

[Q17] EEA (2024): European Climate Risk Assessment (EEA Report 1/2024). Behördenbericht. https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/europe-is-not-prepared-for
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 14, 20. Medienmitteilung der EUA vom 11.3.2024 und Publikationsseite gelesen – Berichts-PDF steht aus.

[Q18] Copernicus Climate Change Service / WMO (2026): European State of the Climate 2025. Behördenbericht. https://climate.copernicus.eu/european-state-climate-record-heatwaves-mediterranean-arctic-while-glaciers-shrink-and-snow-cover
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 14, 16. Medienmitteilung von Copernicus gelesen.

[Q19] IDMC (2026): Global Report on Internal Displacement 2026. Bericht (NGO, Standarddatensatz). https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2026/
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 11, 18. Berichtsseite gelesen – Zahl der Katastrophenvertreibungen als Differenz berechnet.

[Q20] Barrage, L. & Nordhaus, W. (2024): Policies, projections, and the social cost of carbon: Results from the DICE-2023 model. PNAS 121(13), e2312030121. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1073/pnas.2312030121
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 9, 17, 23. Volltext über PubMed Central gelesen (PMC10990119).

[Q21] Kotz, M., Levermann, A. & Wenz, L. (2024): The economic commitment of climate change. Nature 628 – ZURÜCKGEZOGEN am 3.12.2025. Fachartikel (zurückgezogen). https://doi.org/10.1038/s41586-024-07219-0
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 4, 9. Rückzug am Crossref-Verzeichnis bestätigt: Retraction vom 3.12.2025 (DOI 10.1038/s41586-025-09726-0) – nicht als quantitative Grundlage verwendet.

[Q22] Armstrong McKay, D. I. et al. (2022): Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. Science 377, eabn7950. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1126/science.abn7950
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 8, 16, 18. Abstract und strukturierte Zusammenfassung gelesen.

[Q23] Lenton, T. M. et al. (University of Exeter) (2025): Global Tipping Points Report 2025. Bericht (wissenschaftlich, nicht journal-begutachtet). https://global-tipping-points.org/earth-system-tipping-points/

abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 8, 14, 16, 18. Kernbotschaften des Abschnitts zu Erdsystem-Kipppunkten gelesen – Herausgeberangabe prüfen.

[Q24] Howard, P. H. & Sterner, T. (2017): Few and Not So Far Between: A Meta-analysis of Climate Damage Estimates. Environmental and Resource Economics 68, 197–225. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1007/s10640-017-0166-z
abgerufen am 2026-11-11; bibliografische Angaben bestätigt, Inhalt nicht am Original gelesen; zitiert in Kap. 9. Bibliografische Angaben und DOI am Crossref-Verzeichnis bestätigt – Inhalt bisher nur über Q20 zitiert.

[Q26] Geoffroy, O. et al. (2013): Transient climate response in a two-layer energy-balance model. Part I. Journal of Climate 26, 1841–1857. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00195.1
abgerufen am 2026-11-11; bibliografische Angaben bestätigt, Inhalt nicht am Original gelesen; zitiert in Kap. 23. Bibliografische Angaben und DOI am Crossref-Verzeichnis bestätigt – Verlagsseite verweigert den Abruf (403), Parameterwerte deshalb nicht am Original gelesen.

[Q28] Joos, F. et al. (2013): Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics. Atmos. Chem. Phys. 13, 2793–2825. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.5194/acp-13-2793-2013
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 23. Original-PDF gelesen: Tab. 5 (S. 2803) mit den Koeffizienten der CO2-Impulsantwort.

[Q29] Clement, V. et al. (Weltbank) (2021): Groundswell Part 2: Acting on Internal Climate Migration. Behördenbericht. https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/09/13/climate-change-could-force-216-million-people-to-migrate-within-their-own-countries-by-2050
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 11, 14, 16, 18. Medienmitteilung der Weltbank vom 13.9.2021 gelesen.

[Q30] IPBES (2019): Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. Sachstandsbericht. https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 8. Medienmitteilung von IPBES vom 6.5.2019 gelesen (Rangfolge der fünf direkten Treiber) – Titel, Jahr und DOI am DataCite-Verzeichnis bestätigt.

[Q31] Mach, K. J. et al. (2019): Climate as a risk factor for armed conflict. Nature 571, 193–197. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1038/s41586-019-1300-6
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 11, 18. Abstract gelesen.

[Q33] BAFU / NCCS (2021): Hydrologische Szenarien Hydro-CH2018 – Webdossiers «Abflüsse im Wandel» und «Schnee und Gletscher im Klimawandel». Behördenbericht. https://www.bafu.admin.ch/de/abfluesse-im-wandel
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 15, 16, 18, 20. Beide BAFU-Seiten (Stand 28.10.2026) gelesen – Synthesebericht steht aus.

[Q34] Schweizerische Eidgenossenschaft (2022): Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG), SR 814.310. Rechtstext. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2023/655/de

abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 15, 20. Art. 3 und 4 auf Fedlex gelesen.

[Q35] IPCC (2026): Stand der Zeitplanung des Siebten Sachstandsberichts (AR7). Sitzungsdokument. https://apps.ipcc.ch/eventmanager/documents/97/240320260623-Doc.%209%20-%20Progress%20with%20timeline%20of%20AR7.pdf
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 4. Sitzungsdokument gelesen (S. 2): Zeitplan der AR7-Arbeitsgruppenberichte seit IPCC-60 in Diskussion – AR6 bleibt Referenz.

[Q37] Bilal, A. & Känzig, D. R. (2026): The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global Versus Local Temperature. Quarterly Journal of Economics 141(2), 889–944. Fachartikel (peer-reviewt). https://www.nber.org/papers/w32450
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 9, 18, 23. Abstract der NBER-Fassung (Revision 2026) gelesen – Zeitschriftenfassung steht aus.

[Q38] Hausfather, Z. & Peters, G. P. (2020): Emissions – the 'business as usual' story is misleading. Nature 577, 618–620. Kommentar (Fachzeitschrift). https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 3, 7. Titel und Vorspann auf nature.com gelesen (Volltext hinter Bezahlschranke) – bibliografische Angaben am Crossref-Verzeichnis bestätigt.

[Q39] Kotz, M., Kuik, F., Lis, E. & Nickel, C. (2024): Global warming and heat extremes to enhance inflationary pressures. Communications Earth & Environment 5, 116. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1038/s43247-023-01173-x
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 9, 14, 16, 18. Abstract gelesen – kein Korrektur- oder Rückzugshinweis auf der Seite.

[Q40] Jafino, B. A., Walsh, B., Rozenberg, J. & Hallegatte, S. (Weltbank) (2020): Revised Estimates of the Impact of Climate Change on Extreme Poverty by 2030. Policy Research Working Paper 9417. Arbeitspapier. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34555
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 9, 10, 13, 16, 18, 20. Abstract gelesen.

[Q41] Swiss Re Institute (2026): sigma 1/2026: Natural catastrophes in 2025 (Medienmitteilung 19.3.2026). Branchenbericht. https://www.swissre.com/press-release/Wildfires-storms-floods-contribute-to-record-92-of-global-insured-losses-in-2025-says-Swiss-Re-Institute/7b39b1a5-b878-4a55-a5ff-bf5aa561a675
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 9, 14, 15, 16, 18, 20. Medienmitteilung gelesen – Quelle mit Eigeninteresse (Rückversicherer).

[Q42] UNEP (2026): Adaptation Gap Report 2026 (Stellungnahme der Exekutivdirektorin, 4.11.2026). Behördenbericht. https://www.unep.org/en/news-and-stories/speech/unep-executive-director-media-statement-adaptation-gap-report-2026
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 9, 11, 12, 13, 19, 20. Stellungnahme gelesen – Bericht selbst steht aus.

[Q43] Andre, P., Boneva, T., Chopra, F. & Falk, A. (2024): Globally representative evidence on the actual and perceived support for climate action. Nature Climate Change 14, 253–259. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1038/s41558-024-01925-3
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 12, 17, 19, 20. Abstract gelesen – Autorenliste prüfen.

[Q44] UN News (2025): Belém COP30 delivers climate finance boost and a pledge to plan fossil fuel transition (22.11.2025). Mitteilung der Vereinten Nationen.
https://news.un.org/en/story/2025/11/1166433
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 11, 12. Bericht gelesen – Beschlusstext der Konferenz steht aus.

[Q45] IRENA (2026): Renewable Power Generation Costs in 2025 (Medienmitteilung 2.7.2026). Behördenbericht. https://www.irena.org/News/pressreleases/2026/Jul/USD-480-Billion-Fossil-Fuel-Costs-Avoided-by-Renewable-Energy-Boom-in-2025
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 11, 12, 13, 14, 19, 20. Medienmitteilung gelesen.

[Q46] Global CCS Institute (2026): Global Status of CCS 2026. Branchenbericht.
https://www.globalccsinstitute.com/global-status-of-ccs/
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 13. Berichtsseite gelesen – Quelle mit Eigeninteresse (Branchenverband).

[Q47] IWF (Black, S., Celniak, Garcia Huitron, Parry, I., Schulz Antipa & Vernon-Lin, N.) (2025): Underpriced and Overused: Fossil Fuel Subsidies Data 2025 Update. IMF Working Paper 25/270. Arbeitspapier. https://doi.org/10.5089/9798229034715.001
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 12, 19, 20. Zusammenfassung des IWF im Crossref-Verzeichnis gelesen (IWF-Seite nicht abrufbar): explizit 725 Mrd. USD und implizit 6.7 Bio. USD im Jahr 2024 – Volltext steht aus.

[Q48] Ballester, J. et al. (2023): Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. Nature Medicine 29, 1857–1866. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 14, 16, 19, 20. Abstract gelesen.

[Q49] BAG / Swiss TPH (Ragettli, M. et al.) (2026): Hitzebedingte Sterblichkeit – Monitoring Sommer 2025 und erste Schätzung Sommer 2026. Behördenbericht.
https://www.bag.admin.ch/de/hitzebedingte-sterblichkeit
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 15, 16, 20. BAG-Seite gelesen – Wert für 2026 provisorisch.

[Q50] BAFU (2026): Treibhausgasinventar 2024: Emissionen leicht gesunken (Medienmitteilung 13.4.2026). Behördenbericht. https://www.bafu.admin.ch/de/newnsb/0x0fdVaborNCilTCosvky
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 15, 20. Medienmitteilung gelesen.

[Q51] BAFU (2026): Klima: Das Wichtigste in Kürze (Webseite). Behördenbericht.
https://www.bafu.admin.ch/de/zustand-klima
abgerufen am 2026-11-10; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 15, 19,

20. Webseite gelesen.

[Q52] Millar, R. J., Nicholls, Z. R., Friedlingstein, P. & Allen, M. R. (2017): A modified impulse-response representation of the global near-surface air temperature and atmospheric concentration response to carbon dioxide emissions. Atmos. Chem. Phys. 17, 7213–7228. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.5194/acp-17-7213-2017
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 23. Original-PDF gelesen: Gl. 8 und Standardparameter (S. 7216) sowie Tab. 1 (S. 7217).

[Q53] Friedlingstein, P. et al. (Global Carbon Project) (2025): Global Carbon Budget 2024 – Datensatz (Tabellenblatt Historical Budget). Datensatz. https://globalcarbonbudget.org/the-latest-gcb-data/
abgerufen am 2026-11-11; am Original oder an der Originalmitteilung geprüft; zitiert in Kap. 23. Datei heruntergeladen und verwendet (siehe daten/HERKUNFT.md) – zugehörige Publikation am Crossref-Verzeichnis bestätigt: Earth Syst. Sci. Data 17, 965–1039 (2025), DOI 10.5194/essd-17-965-2025.

22.3 Zitierte Quellen ohne vollständige Prüfung am Original

Aussagen, die sich auf diese Quellen stützen, sind im Text gekennzeichnet oder betreffen nur die Herkunft von Modellparametern.

Quelle	Status	Zitiert in Kap.
[Q16] BFE (Prognos, TEP Energy, Infras, Ecoplan) (2020)	nicht am Original geprüft	15
[Q24] Howard, P. H. & Sterner, T. (2017)	bibliografische Angaben bestätigt, Inhalt nicht am Original gelesen	9
[Q26] Geoffroy, O. et al. (2013)	bibliografische Angaben bestätigt, Inhalt nicht am Original gelesen	23

22.4 Gesichtete, im Text nicht zitierte Quellen

[Q09] IPCC (2023): Climate Change 2023: Synthesis Report, AR6. Sachstandsbericht. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/
abgerufen am ; bibliografische Angaben ungeprüft. Bisher nicht verwendet.

[Q25] Burke, M., Hsiang, S. M. & Miguel, E. (2015): Global non-linear effect of temperature on economic production. Nature 527, 235–239. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1038/nature15725
abgerufen am 2026-11-11; bibliografische Angaben bestätigt, Inhalt nicht am Original gelesen. Bibliografische Angaben und DOI am Crossref-Verzeichnis bestätigt – im Text nicht verwendet.

[Q27] Leach, N. J. et al. (2021): FaIRv2.0.0: a generalized impulse response model for climate uncertainty and future scenario exploration. Geosci. Model Dev. 14, 3007–3036. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.5194/gmd-14-3007-2021
abgerufen am 2026-11-11; bibliografische Angaben bestätigt, Inhalt nicht am Original gelesen. Bibliografische Angaben und DOI am Crossref-Verzeichnis bestätigt – im Text nicht verwendet.

[Q32] Rennert, K. et al. (2022): Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO2. Nature 610, 687–692. Fachartikel (peer-reviewt). https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9 *abgerufen am 2026-11-11; bibliografische Angaben bestätigt, Inhalt nicht am Original gelesen.* Bibliografische Angaben und DOI am Crossref-Verzeichnis bestätigt – im Text nicht verwendet.

[Q36] NGFS (): NGFS Climate Scenarios (aktuelle Phase). Szenariodatenbank. <> *abgerufen am ; bibliografische Angaben ungeprüft.* Bisher nicht verwendet.

23 Technischer Anhang: Modell, Simulationscode und Parameter

Aaron Veider · Klimawandel und seine gesellschaftlichen Folgen · Stand 11. November 2026

> Der vollständige Code liegt im Ordner `modell/`, alle Parameter in `modell/params.yaml`, alle Ergebnisse in `ergebnisse/`. Dieses Kapitel dokumentiert, was der Code rechnet.

23.1 Überblick

Das Modell KLIMGES besteht aus vier Teilen, die nacheinander rechnen:

```
Emissionspfad ──► Kohlenstoffkreislauf ──► Strahlungsantrieb ──► Temperatur ──► Meeres-
spiegel
                                                                      │
                                                                      ▼
                              Schäden, Vermeidungs- und Anpassungskosten, Staatshaushalt
                                                                      │
                                                                      ▼
                        Agentenmodelle: Ungleichheit (V5), politische Reaktionsfähigkeit
(V6)
```

In den Versuchen V1–V5 und V7 ist der Emissionspfad vorgegeben. In V6 entsteht er aus dem Verhalten der Agenten.

Eigenschaft	Wert
Programmiersprache	Python 3.12.10
Bibliotheken	numpy 2.5.4, scipy 1.18.1, pandas 3.1.1, matplotlib 3.11.2, PyYAML 6.0.3, pytest 9.2.0, openpyxl (nur Datenaufbereitung)
Zeitraum	Klima 1750–2100 (Vorlauf ab 1750, Kohlenstoffkreislauf ab 1850); Wirtschaft und Agenten 2026–2100
Zeitschritt	1 Jahr; Temperaturgleichungen mit 8 Unterschritten
Zufall	`numpy.random.default_rng`, Startwert 20261110; je Versuch ein fester Versatz
Laufzeit	rund 4 Minuten für den Gesamtlauf auf einem PC mit 8 Kernen
Umfang	rund 1800 Zeilen Code in 11 Dateien, 20 automatische Tests

23.2 Eingangsdaten

Herkunft, Dateinamen und Prüfsummen stehen in `daten/HERKUNFT.md`.

Grösse	Zeitraum	Quelle
CO_2-Emissionen aus fossilen Quellen und Landnutzung	1850–2023	Global Carbon Budget 2024 [Q53]

Grösse	Zeitraum	Quelle
CO_2-Emissionen	2024	Datensatz zu Forster et al. 2026 [Q02]
CO_2-Emissionen	2025	Medienmitteilung des Global Carbon Project [Q03]
Strahlungsantrieb nach Komponenten, mit 5. und 95. Perzentil	1750–2025	[Q02]
Globale Mitteltemperatur gegenüber 1850–1900	1850–2025	[Q02]
CO_2-Konzentration	1750, 1850–2025	[Q02]
Mittlerer Meeresspiegel	1901–2025	[Q02]

Die Rohdateien werden nur von `modell/daten_aufbereiten.py` gelesen, das im isolierten Modus des Interpreters läuft, jeden Wert auf Zahlformat und Wertebereich prüft und eine bereinigte Tabelle schreibt. Das Modell liest ausschliesslich diese Tabelle.

23.3 Emissionsmodul

CO_2-Pfade (fossil und Landnutzung, netto, Gt CO_2 pro Jahr). Zwischen den Stützjahren wird linear interpoliert. Ausgangswerte: 42,8 (2025) und 43,3 (2026) [Q03].

Szenario	Stützwerte	Begründung
A – geltende Politik	2030: 43,0 · 2035: 41,5 · 2050: 38,0 · 2100: 31,0	Annahme: annähernd konstant, langsam sinkend; abgestimmt auf rund 2,8 °C laut UNEP [Q01]
R – Rückschritt	2040: 46,0 · 2060: 48,0 · 2100: 48,0	Annahme: Abbau bestehender Politik
B2 – Ziele erfüllt	2030: 40,0 · 2035: 37,2 · 2075: 0 · 2100: −2,0	−13 % bis 2035 (UNEP: 11–15 % [Q01]); Netto-Null um 2075 als Annahme
C1 – konsequent, mit Rückkehr	2030: 35,1 · 2035: 23,5 · 2040: 13,3 · 2050: 0 · 2065: −6,0 · 2100: −6,0	−18 %, −45 %, −69 % gegenüber 2025 [Q01]; Höhe der netto-negativen Emissionen als Annahme
C2 – konsequent, ohne Rückkehr	wie C1 bis 2040 · 2055: 0 · 2100: 0	wie C1, ohne netto-negative Emissionen

UNEP gibt die Minderungen für alle Treibhausgase an; das Modell wendet sie auf CO_2 an. Kumulierte Emissionen 2026–2100: A 2742, R 3531, B2 1099, C1 225, C2 517 Gt CO_2. Netto-negativ: C1 258, B2 26 Gt CO_2.

Verzögerte Pfade (V3). Bis zum Startjahr gilt Pfad A. Danach folgen die Emissionen demselben relativen Verlauf wie der Zielpfad, bezogen auf das Niveau von A im Startjahr und um die Verzögerung verschoben.

Nicht-CO_2-Antrieb ohne Aerosole (Methan, Lachgas, Halogenverbindungen, Ozon, Landnutzung u. a.). Messwert 2025: 1,69 W/m² [Q02]. Stützwerte sind Annahmen, angelehnt an den Verlauf der SSP-Pfade:

Szenario	2050	2100
A	1,60	1,40
R	1,75	1,80
B2	1,35	1,05
C1, C2	1,05	0,75

Aerosolantrieb. Messwert 2025: −0,96 W/m² [Q02]. Künftig: Messwert 2025 × (Emissionen ÷ Emissionen 2025) × Luftreinhaltungsfaktor, der linear von 1 (2025) auf 0,6 (2100) sinkt; Untergrenze 0,15. Sinkende Emissionen verringern damit die kühlende Wirkung der Aerosole – ein Effekt, der die Erwärmung in den Minderungsszenarien anfangs leicht erhöht.

Natürlicher Antrieb nach 2025: Mittelwert 1850–2025 (0,04 W/m²).

23.4 Klimamodul

Kohlenstoffkreislauf

Impuls-Antwort-Modell mit vier Reservoiren nach Joos et al. [Q28], mit zustandsabhängiger Senkenleistung nach Millar et al. [Q52]:

```
R_i(t+1) = R_i(t) · exp(−1/(α τ_i)) + a_i · E(t) · α τ_i · (1 − exp(−1/(α τ_i)))
C(t)     = C_0 + Σ R_i(t)
```

- `E` Emissionen in ppm pro Jahr (1 ppm = 2,124 GtC = 7,78 Gt CO_2), `C_0` = 278,4 ppm.
- Anteile `a` = 0,2173; 0,2240; 0,2824; 0,2763. Zeitkonstanten `τ` = 10^6; 394,4; 36,54; 4,304 Jahre.
- Der Faktor `α` wird jedes Jahr so bestimmt, dass die über 100 Jahre integrierte Impulsantwort den Wert `r0 + rC · C_acc + rT · T` annimmt. `C_acc` ist der bisher von Land und Ozean aufgenommene Kohlenstoff (GtC), `T` die Erwärmung. Je mehr aufgenommen wurde und je wärmer es ist, desto langsamer wird weiteres CO_2 entfernt.
- `rC` = 0,019 Jahre je GtC, `rT` = 4,165 Jahre je K [Q52, S. 7216 und Tab. 1]; die Anteile und Zeitkonstanten der vier Reservoire stammen aus [Q28, Tab. 5]; `r0` (im Original 32,4 Jahre) wird kalibriert (Abschnitt 23.5).

Strahlungsantrieb

```
F(t) = F_2x · log2(C(t)/C_0) + F_nichtCO2(t) + s · F_Aerosol(t) + F_natürlich(t)
```

`F_2x` = 3,845 W/m², bestimmt durch Anpassung an den CO_2-Antrieb des Datensatzes [Q02]. `s` skaliert den unsicheren Aerosolantrieb.

Temperatur

Zwei-Schichten-Energiebilanzmodell nach Geoffroy et al. [Q26] mit einem Wirksamkeitsfaktor für die Wärmeaufnahme des tiefen Ozeans:

```
C_o · dT/dt   = F − λ T − ε γ (T − T_t)
C_t · dT_t/dt = γ (T − T_t)                mit λ = F_2x / ECS
```

`T` ist die Temperatur der oberen Schicht (Oberfläche), `T_t` jene des tiefen Ozeans. Ausgegeben wird die Erwärmung gegenüber dem Modellmittel 1850–1900.

Meeresspiegel

Semi-empirisch: `dS/dt = a · (T − T0)`. An den Messdaten 1901–2025 kalibriert: `a` = 1,97 mm pro Jahr und Grad, `T0` = −0,50 °C; mittlere Abweichung 6,0 mm. Der Ansatz bildet keine beschleunigte Eisschilddynamik ab und liefert deshalb eine untere bis mittlere Schätzung.

Unsichere Parameter

Parameter	Verteilung vor dem Abgleich	Herkunft
Gleichgewichts-Klimasensitivität ECS	lognormal, Median 3,0 °C, σ = 0,27 (5–95 %: 1,9–4,7 °C)	IPCC [Q06, A.4.4]
Wärmeaustausch γ	normal 0,73 ± 0,18 W m⁻² K⁻¹, begrenzt auf 0,3–1,5	[Q26], Streuung als Annahme
Wärmekapazität oben C_o	normal 7,3 ± 1,0 W a m⁻² K⁻¹	[Q26], Streuung als Annahme
Wärmekapazität tief C_t	normal 106 ± 30	[Q26], Streuung als Annahme
Wirksamkeit ε	normal 1,3 ± 0,25, begrenzt auf 0,8–2,0	Annahme, angelehnt an [Q26]
Aerosolskala s	normal 1,0 ± 0,38, begrenzt auf 0,2–2,0	aus 5. und 95. Perzentil des Datensatzes [Q02]
Senken r0, rC, rT	normal, relative Streuung 13 %	Annahme

Die Werte aus [Q28] und [Q52] sind am Original bestätigt. Die Mittelwerte aus [Q26] (γ, C_o, C_t) konnten nicht am Original gelesen werden, weil die Verlagsseite den Abruf verweigert; bestätigt sind nur die bibliografischen Angaben. Für die Ergebnisse ist das wenig kritisch, weil die drei Grössen im Ensemble breit gestreut und anschliessend an Messdaten abgeglichen werden. Der vom IPCC bewertete Antrieb bei CO_2-Verdoppelung beträgt 3,93 ± 0,47 W/m² (AR6, Arbeitsgruppe I, Kap. 7.3.2); der hier angepasste Wert von 3,845 liegt innerhalb dieser Spanne.

23.5 Kalibrierung und Abgleich mit Messdaten

Schritt 1 – Kalibrierung von r0. Mit allen übrigen Parametern auf ihren Mittelwerten wird `r0` so gewählt, dass die Abweichung zwischen modellierter und gemessener CO_2-Konzentration 1850–2025 minimal wird. Ergebnis: `r0` = 29,72 Jahre, mittlere Abweichung 2,7 ppm.

Schritt 2 – Ensemble. 40 000 Parameterkombinationen werden gezogen und von 1850 bis 2025 gerechnet.

Schritt 3 – Abgleich. Behalten werden Kombinationen, die drei Beobachtungen treffen:

Beobachtung	Fenster	Quelle
Erwärmung 2016–2025	1,13–1,36 °C	[Q02]

Beobachtung	Fenster	Quelle
Erwärmung 1995–2014	0,69–0,95 °C	IPCC AR6, Arbeitsgruppe I, Technische Zusammenfassung: 0,85 [0,69–0,95] °C
CO_2-Konzentration 2025	Messwert ± 6 ppm	[Q02]

3112 von 40 000 Kombinationen (7,8 %) bestehen. Mit diesen wird weitergerechnet. Die Ergebnisse des Abgleichs stehen in Kapitel 17.2.

Dieses Vorgehen entspricht im Grundsatz dem, was auch etablierte Klimaemulatoren tun: Die Parameter werden nicht frei gewählt, sondern durch die Messgeschichte eingeschränkt.

23.6 Wirtschaftsmodul

Die Weltwirtschaft ist in vier Einkommensgruppen gegliedert. **Sämtliche Ausgangswerte dieses Abschnitts sind Annahmen in plausibler Grössenordnung, keine kalibrierten Daten.** Das Modul liefert Verhältnisse und Pfadvergleiche.

Gruppe	BIP-Anteil 2025	Emissionsanteil	Wachstum 2025 → 2100	Verwundbarkeit	Anpassungsausgaben
hohes Einkommen	60 %	32 %	1,6 % → 1,0 %	0,65	0,50 % des BIP
oberes mittleres	30 %	50 %	4,0 % → 1,5 %	1,15	0,30 %
unteres mittleres	9 %	17 %	4,5 % → 2,0 %	1,70	0,15 %
niedriges Einkommen	1 %	1 %	4,5 % → 3,0 %	2,20	0,05 %

Die Verwundbarkeit wird so normiert, dass ihr BIP-gewichtetes Mittel 1 ergibt. Sie setzt die Aussage des IPCC um, dass Schäden gemessen am Einkommen in Entwicklungsländern oft höher sind [Q07, B.4.6]; die Zahlenwerte sind Annahmen.

Schadensfunktionen

Globaler Schaden `D` als Anteil der Wirtschaftsleistung, `T` in °C gegenüber vorindustriell.

Kürzel	Form	Kalibrierung	Quelle
S1	`D = 0,00344 · T²`	3,1 % bei 3 °C; ergibt 7,0 % bei 4,5 °C	DICE-2023 [Q20, Abschn. 3.3]
S2	`D = 0,0100 · T²`	9 % bei 3 °C	höhere Lesart nach Howard & Sterner, zitiert in [Q20, Abschn. 4.6]
S3	`D = 1 − 0,8^max(T̄ − 1,2; 0)`	20 % Niveauverlust je Grad zusätzlicher Erwärmung; `T̄` ist das Mittel der letzten 10 Jahre	Bilal & Känzig [Q37]

Schaden einer Gruppe: `D_g = D · Verwundbarkeit_g · (1 − Anpassungswirkung_g)`, begrenzt auf 95 %. Die Anpassungswirkung beträgt `0,35 · (1 − exp(−Ausgaben/0,004))`.

Bei S3 ist die Umsetzung eine Vereinfachung: Die Quelle schätzt die langfristige Wirkung eines Temperaturschocks; das Modell verwendet daraus einen Niveauverlust je Grad oberhalb von 1,2 °C mit zehnjähriger Verzögerung.

Vermeidungskosten

```
Kosten(t) = k · (1 − r)^(t − 2050) · μ(t)^θ  +  Kosten der CO₂-Entnahme
μ(t)      = 1 − E(t)/E_A(t)        (Minderung gegenüber Szenario A, auf 0…1 begrenzt)
```

`k` und `θ` werden je Ziehung aus zwei Ankerpunkten des IPCC bestimmt [Q08, C.1.1 und C.12.2]:

Pfadkategorie	Treibhausgase 2050 gegenüber 2019	BIP 2050 gegenüber fortgesetzter Politik
2 °C (> 67 %)	−63 %	−1,3 bis −2,7 %
1,5 °C mit geringem Overshoot	−84 %	−2,6 bis −4,2 %

Daraus folgen `θ` zwischen 1,5 und 2,4 und Kosten bei vollständiger Minderung im Jahr 2050 von rund 4 bis 5,5 % des BIP. Zwei Näherungen sind zu beachten: Die Minderungen des IPCC beziehen sich auf 2019, hier auf Szenario A; und die Angaben des IPCC enthalten weder vermiedene Schäden noch Zusatznutzen wie sauberere Luft.

- Kostenrückgang `r`: gleichverteilt 0,5–3 % pro Jahr (Annahme, breit variiert).
- CO_2-Entnahme: 100–300 USD je Tonne [Q08, C.11.1], bezogen auf ein Welt-BIP von 110 Billionen USD im Jahr 2025 (Annahme).
- Verteilung auf die Gruppen nach Emissionsanteil.

Bewertung

Gesamtlast eines Jahres = Schäden + Vermeidungskosten + Anpassungsausgaben, als Anteil am Basis-BIP. Der Barwert ist die mit dem Basis-BIP gewichtete, diskontierte Summe 2026–2100, geteilt durch das diskontierte Basis-BIP; Diskontsätze 1,5 %, 3 % und 5 %.

Verlängerung bis 2200 (V8)

Die Rechnung wird mit denselben Gleichungen und demselben Ensemble bis 2200 fortgeführt. Alle Werte nach 2100 sind Annahmen:

Grösse	Festlegung
CO_2-Emissionen A	linear vom Wert 2100 (31 Gt) auf 17 Gt («Trend»), 31 Gt («konstant») oder 0 Gt («netto null») im Jahr 2200
CO_2-Emissionen B2	von −2 Gt im Jahr 2100 auf 0 im Jahr 2150, danach 0
CO_2-Emissionen C2	0
Nicht-CO_2-Antrieb, Luftreinhaltung	Stand von 2100
Wachstum	linear vom Wert 2100 je Gruppe auf 1 % pro Jahr im Jahr 2200
Vermeidungskosten	Kostenrückgang je Ziehung unverändert fortgesetzt; Minderung gegenüber der jeweiligen Variante von A

Grösse	Festlegung
Schadensfunktionen	unverändert, also über den geschätzten Temperaturbereich hinaus verlängert

Der Barwert wird für 2026–2100 und 2026–2200 gebildet. Das «Ausgleichsjahr» ist das erste Jahr, ab dem die mittlere jährliche Gesamtlast des Minderungspfads dauerhaft unter jener der Referenz liegt.

23.7 Staatshaushalt (V4)

Zusätzliche Haushaltsbelastung je Gruppe als Anteil am BIP:

```
Last = 0,30 · D_g/(1 − D_g) + 0,70 · Anpassungsausgaben_g + 0,25 · Vermeidungskosten_g
```

Die Anteile sind Annahmen. Einnahmen aus einer CO_2-Bepreisung sind nicht gegengerechnet; eine Sensitivitätsrechnung variiert den öffentlichen Anteil an den Vermeidungskosten zwischen 0 und 50 %.

Schuldenquote ohne Gegenmassnahmen:

```
b(t+1) = b(t) · (1 + i)/(1 + g) − Primärsaldo_stabil + Last(t)
i      = i_0 + 0,01 · max(b − b_0; 0)
```

Der Primärsaldo ist so gesetzt, dass die Schuldenquote ohne Klimawirkung konstant bleibt. Jede Abweichung geht damit auf Schäden, Anpassung und Vermeidung zurück. Ausgangswerte (Annahmen): Schuldenquote 110 %, 65 %, 55 %, 50 %; Zinssatz 3,0 %, 5,0 %, 6,5 %, 7,5 %; Inflation 2 %. Es wird keine Haushaltskonsolidierung unterstellt – die Rechnung zeigt den Druck, nicht die erwartete Verschuldung. Über etwa 2060 hinaus ist sie deshalb nicht aussagekräftig.

23.8 Agentenbasierte Modelle

Die Verhaltensparameter sind nicht empirisch bestimmt. Sie werden variiert, und berichtet werden Wirkungsrichtungen.

V5 – Ungleichheit

4000 Haushalte, 100 Zufallsstarts, 75 Jahre.

Eigenschaft	Festlegung
Einkommen `y`	lognormal, σ = 0,75 (Gini rund 0,40), Mittel 1
Vermögen zu Beginn	`3 · y^1,2`
Exposition	`y^−0,35` × Zufallsfaktor, Mittel 1 (ärmere Haushalte sind exponierter)
Ereigniswahrscheinlichkeit	`(0,06 + 0,06 · (T − 1,4)) · Exposition` pro Jahr
Verlust je Ereignis	ein halbes Jahreseinkommen plus 10 % des Vermögens

Eigenschaft	Festlegung
Schutzmassnahme	halbiert den Verlust; einmalige Kosten `0,25 + 0,25 · y`
Sparen	8 % des Einkommens pro Jahr

Entscheidungsregel: Ein Haushalt schützt sich aus eigenen Mitteln, wenn sich die Massnahme über 15 Jahre lohnt und er danach noch ein halbes Jahreseinkommen Reserve hat. Politikvarianten: keine Unterstützung; öffentliche Finanzierung für die unteren 40 %; öffentliche Finanzierung für alle. Öffentliche Ausgaben werden über eine einkommensproportionale Abgabe gedeckt. Die Temperatur folgt dem Median des jeweiligen Szenarios.

V6 – Politische Reaktionsfähigkeit

5 Regionen mit je 300 Haushalten, 100 Zufallsstarts, 75 Jahre. Die Regionen unterscheiden sich in der Exposition (Faktor 0,6 bis 1,6).

```
Unterstützung_i += β_S · 0,10 · Ereignis_i  −  β_K · 2 · Nettokosten_i
                 + 0,15 · (Umfeld − Unterstützung_i)  +  0,03 · (Grundhaltung_i −
Unterstützung_i)  +  Zufall

Strenge_r += Tempo · [(1 − Koop) · (Zustimmung_r − 0,5) · Dämpfung_r  +  Koop ·
(Zustimmung_Welt − 0,5)]
```

- **Kosten:** Bei voller Strenge kostet die Politik 2 % des Einkommens, relativ stärker für ärmere Haushalte. Ohne Kooperation steigen die Kosten für Regionen, die den anderen voraus sind (Wettbewerbsnachteil). Mit Rückverteilung erhält jeder Haushalt den gleichen Pro-Kopf-Betrag zurück.
- **Dämpfung:** Ohne Kooperation zögern Vorreiter.
- **Emissionen:** Mischung aus Pfad A (Strenge 0) und Pfad C2 (Strenge 1) nach der mittleren Strenge.
- **Temperatur:** Median des Pfads A abzüglich der vermiedenen kumulierten Emissionen × 0,45 °C je 1000 Gt CO_2 [Q06, D.1.1]. Bei voller Strenge ergibt das 1,58 °C und stimmt mit dem Klimamodul für C2 (1,59 °C) überein.

Variiert werden: Gewicht erlebter Schäden `β_S` (0,5; 1; 2), Gewicht der Kosten `β_K` (0,5; 1; 2), Kooperation (0; 0,5; 1), Reaktionstempo (0,05; 0,15), Rückverteilung (ohne, mit) – insgesamt 108 Konfigurationen.

23.9 Durchläufe

Versuch	Rechnungen
Kalibrierung und Abgleich	40 000 Ziehungen, 1850–2025
V1, V2 – Szenarien	5 Pfade × 3112 Ensemble-Mitglieder × 3 Schadensfunktionen × 3 Diskontsätze
V3 – Verzögerung	2 Zielpfade × 5 Startjahre × 3112
V4 – Staatshaushalt	3 Pfade × 3 Schadensfunktionen × 3112; Sensitivität mit 3 öffentlichen Kostenanteilen

Versuch	Rechnungen
V5 – Ungleichheit	2 Pfade × 3 Politikvarianten × 100 Zufallsstarts; Robustheit: 9 Parameterkombinationen × 2 Politikvarianten × 30 Zufallsstarts
V6 – Politik	108 Konfigurationen × 100 Zufallsstarts; zusätzlich ein Kostenschock
V7 – Stresstest	3 Rückkopplungsstärken × 3 Pfade × 3112
V8 – Langfrist	5 Pfade bis 2200 × 3112; 3 Referenzen × 2 Minderungspfade × 3 Schadensfunktionen × 3 Diskontsätze × 2 Horizonte
Sensitivität	9 Einzelvariationen × 2 Pfade; Rangkorrelation über das Ensemble

23.10 Automatische Prüfungen

`modell/tests/test_modell.py`, 22 Tests, alle bestanden:

Bereich	Was geprüft wird
Klima	Umkehrung der Senkenfunktion; ohne Antrieb keine Erwärmung; transiente Reaktion kleiner als Gleichgewichtsreaktion; Rückrechnung trifft CO_2 (Abweichung unter 5 ppm) und Temperatur (10-Jahres-Mittel unter 0,12 °C); Abgleichsfenster eingehalten; nach Emissionsstopp sinkt CO_2 und die Temperatur bleibt annähernd stabil; Luftanteil plausibel; mehr Emissionen ergeben mehr Erwärmung
Emissionen	Szenario C trifft die UNEP-Minderungen; Verzögerungspfade stimmen mit A bzw. C überein, wo sie müssen
Wirtschaft	Schadensfunktionen treffen die Quellenwerte (3,1 % und 7,0 %; 9 %; 20 % je Grad); ohne Erwärmung keine Schäden; ohne Klimawirkung bleibt die Schuldenquote konstant; Vermeidungskosten treffen beide IPCC-Anker; Aufteilung auf Gruppen ohne Verlust
Agentenmodell	Gini-Koeffizient; mehr Erwärmung ergibt mehr Verluste; Temperatur bleibt zwischen den Grenzpfaden
Langfrist	bis 2100 stimmt der Kostenvergleich des Langfristlaufs mit dem Hauptlauf überein; eine Referenz mit null Emissionen führt nicht zu einer Division durch null; die Reihenfolge der Temperaturen 2200 entspricht jener der Emissionen
Wiederholbarkeit	gleicher Startwert ergibt bitgleiche Ergebnisse (Klima und Agentenmodell)

Während der Entwicklung gefundene und behobene Fehler: zu hohe Vermeidungskosten durch falsche Kalibrierung auf nur einen IPCC-Wert (jetzt zwei Ankerpunkte); eine Schuldenrechnung, die schon ohne Klimawirkung instabil war (jetzt per Konstruktion stabil); eine Entscheidungsregel im Ungleichheitsmodell, bei der öffentliche Unterstützung wirkungslos blieb.

23.11 Grenzen des Modells

1. **Emulator, kein Erdsystemmodell.** Keine räumliche Auflösung, keine Extremereignisse, keine Eisschilddynamik. Regionale Aussagen der Studie stammen aus der Literatur.
2. **Klimasensitivität.** Nach dem Abgleich liegt der Median bei 2,8 °C statt 3,0 °C, und Werte über 4 °C sind selten. Risiken am oberen Rand werden dadurch eher unterschätzt.
3. **Senken.** Die Stärke der Rückkopplungen ist der Literatur entnommen und nur über die Gesamtkonzentration geprüft. Ohne diese Rückkopplungen läge die Erwärmung in Szenario A um 0,6 °C tiefer – die Annahme hat also grosses Gewicht.
4. **Szenarioannahmen jenseits von CO_2.** Der Verlauf von Methan, Aerosolen und übrigen Antrieben ist gesetzt, nicht modelliert.
5. **Schadensfunktionen.** Das Modell kann zwischen ihnen nicht entscheiden. Die wirtschaftlichen Ergebnisse sind deshalb immer als Fächer zu lesen.
6. **Wirtschaft.** Stilisierte Ausgangswerte; kein Handel, keine Finanzmärkte, keine endogene Technikentwicklung, kein Wachstumseffekt von Schäden ausser in S3.
7. **Zeithorizont.** Die Hauptbewertung endet 2100. In Szenario A steigt die Temperatur dann noch, in C nicht mehr. Nutzen nach 2100 fehlt, was den Klimaschutz systematisch benachteiligt. Versuch 8 verlängert die Rechnung bis 2200, stützt sich dafür aber auf gesetzte Annahmen und auf Schadensfunktionen ausserhalb ihres geschätzten Bereichs; seine Zahlen sind Fortschreibungen.
8. **Nicht bewertet:** Menschenleben, Gesundheit, Ökosysteme und Zusatznutzen wie sauberere Luft, soweit sie nicht in den Schadensfunktionen enthalten sind.
9. **Agentenmodelle.** Nicht empirisch kalibriert; Ergebnisse sind Hypothesen über Mechanismen.

23.12 Reproduktion

```
.venv\Scripts\python.exe -I modell\daten_aufbereiten.py daten\roh daten\aufbereitet
.venv\Scripts\python.exe -m pytest modell/tests -q
.venv\Scripts\python.exe -m modell.run_all
```

Der Gesamtlauf schreibt 20 Tabellen nach `ergebnisse/tabellen/`, 12 Abbildungen nach `ergebnisse/abbildungen/` und die Validierungskennzahlen nach `ergebnisse/kalibrierung.json`. Alle Zahlen in Kapitel 17 stammen aus diesen Dateien.