



26.08.2026

Was kostet der Klimawandel?

Anlass

Niedrigwasser bremst die Schifffahrt, Hitze senkt die Arbeitsproduktivität und Dürren verringern Ernten – der bisherige Sommer in Deutschland, Österreich und der Schweiz war außergewöhnlich heiß und trocken. Bei solchen Ereignissen stellt sich schnell die Frage, welche wirtschaftlichen Kosten sie verursachen. Viel wird dabei über Nachteile für einzelne Gruppen und Akteure gesprochen. Deutlich schwieriger sind die weitergehenden Fragen: Was kostet der Klimawandel eine Volkswirtschaft insgesamt? Und womit ist in Zukunft zu rechnen?

Um sie zu beantworten, reicht es nicht, die Schäden einzelner Extremwetterereignisse zu addieren. Forschende müssen abschätzen, wie sich Wirtschaft und Wohlstand in einer Welt mit Klimawandel entwickeln – und wie sie sich ohne ihn entwickelt hätten. Dabei müssen sie direkte Schäden ebenso berücksichtigen wie Folgen für Gesundheit und Produktivität, Kosten für Anpassungsmaßnahmen und Änderungen von Preisen, internationalen Handelsströmen und Lieferketten. Je nach Methode und untersuchten Wirkmechanismen können die Ergebnisse erheblich voneinander abweichen.

Dieses Fact Sheet gibt einen Überblick darüber, auf welchen Wegen der Klimawandel wirtschaftliche Schäden verursacht, wie diese gemessen und modelliert werden und welche Größenordnungen zu erwarten sind. Es zeigt, wo die größten Unsicherheiten liegen und wie sich die erwarteten Schäden im Vergleich zu den Kosten des Klimaschutzes verhalten.

Übersicht

Wie verursacht der Klimawandel wirtschaftliche Schäden?	2
Wie werden die Schäden gemessen?	3
Wie werden die konkreten Werte ermittelt, wie funktionieren die Modelle und Methoden?	9
Wie Studien zu Klimawandelkosten lesen?	13
Wie hoch sind die wirtschaftlichen Schäden?	15
Wo liegen die Unsicherheiten?	19
Kosten des Klimaschutzes?	20
Fazit.....	20
Literaturstellen, die zitiert wurden	21



Wie verursacht der Klimawandel wirtschaftliche Schäden?

- ▶ Wirkung über verschiedene sogenannte Schadenskanäle
- ▶ direkte Kanäle; unmittelbare Wirkung auf Menschen, Sachwerte, Produktion:
 - zerstörte und schneller abgenutzte Infrastruktur durch Extremwetter, Meeresspiegelanstieg, hohe Temperaturen [1][2][3]
 - Ernteverluste und Waldschäden [4][5][6]
 - Gesundheitsschäden (Morbidität) und Todesopfer (Mortalität), besonders durch Hitze [7][8]
 - Geringere Arbeitsproduktivität durch Hitze [9]
 - Höherer Stromverbrauch durch mehr Kühlbedarf [10][11][12]
 - Eingeschränkte Industrieproduktion und Energieversorgung durch fehlendes Kühlwasser; Einschränkung von Wasserkraftwerken [13][14][15]
 - Ausbreitung und stärkere Aktivität von Schädlingen und Organismen, die Krankheiten übertragen [16][17]

indirekte Kanäle; Wirkung über Märkte, Preise, Lieferketten, Finanzsystem:

- Handelsverwerfungen: teurere oder fehlende Vorprodukte, Störungen von Lieferketten [18][19][20]
- höhere Transportkosten verteuern Produkte
- eingeschränkter Transport durch Niedrigwasser auf Schifffahrtsstraßen [21][22]
- geringere Nachfrage für Exporte wegen geringerer Einkommen im Ausland
- steigende Versicherungsprämien, weniger Versicherungsangebot wegen zu hoher Risiken [23]
- Wertverluste von Immobilien und anderem Kapital [24]
- Höhere Finanzierungskosten; Risiken für Banken [25]
- Kosten für Verlagerung von Produktion und Handel; etwa, weil bestimmte Regionen stärker von Schäden betroffen sind [26]
- Preissteigerungen bei Lebensmitteln, Energie und anderen betroffenen Gütern, dadurch stärkerer Inflationsdruck [27]
- weitere wirtschaftliche Folgeeffekte etwa auf Einkommen, Beschäftigung, Investitionen und Bruttoinlandsprodukt (BIP)
- ▶ Zusätzliche Kosten:
 - Anpassungsinvestitionen; etwa in Katastrophenschutz, Klimaanlagen, neue Transportwege; sind nicht mit Klimaschäden gleichzusetzen: Anpassung verursacht zwar Ausgaben, kann aber größere zukünftige Schäden vermeiden [28][29].
 - Kosten für Wiederaufbau
- ▶ umgekehrt könnten teils wirtschaftliche Vorteile entstehen:
- ▶ direkte Kanäle:
 - weniger Heizbedarf im Winter [10]
 - mehr CO₂ in der Atmosphäre erhöht unter günstigen Bedingungen teils Ernteerträge von bestimmten Pflanzen [30]
 - weniger kältebedingte Erkrankungen und Todesfälle [8]
- ▶ indirekte Kanäle:
 - Verlagerung wirtschaftlicher Aktivität; steigender Meeresspiegel führt zu Anstieg wirtschaftlicher Aktivität in weniger betroffenen Regionen, Firmen verlagern Standorte, Menschen migrieren, Tourismus verlagert sich [26]



- neue Handelsvorteile; andere Produktionsbedingungen insbesondere von Agrarprodukten verändern, wer welche Güter produziert [31]
- lokale Vorteile und Schäden sind teilweise Umverteilungseffekte und können sich dann global aufheben;
- manche Kosten sind dauerhaft mit einem bestimmten Klimaniveau verbunden (etwa mehr Aufwand für Kühlung bei höheren Durchschnittstemperaturen); andere treten durch die Veränderung von einem Klima hin zu einem anderen einmalig auf (Standortverlagerung bei Anstieg des Meeresspiegels)
- Geschwindigkeit des Wandels beeinflusst Kosten: mehr verlorenes Kapital („Stranded Assets“), wenn etwa Infrastruktur schneller ersetzt werden muss; langsame Anpassung günstiger [32] [33]

Wie werden die Schäden gemessen?

Nach oder vor einem Schadensereignis

- Danach/Ex-post: historische Schäden und Kosten werden dem Klimawandel zugeordnet:
 - Wie viel niedriger war das BIP eines Landes durch den bisherigen Klimawandel?
 - Welche Schäden durch Extremwetter hat der Klimawandel in Deutschland dieses Jahr bisher verursacht?
 - Vergleich notwendig: Was wäre ohne Klimawandel passiert? Welchen Anteil der Schäden einer Sturzflut kann man dem Klimawandel zuschreiben (attribuieren)? Wie wäre die Flut sonst ausgefallen und wie viel hätte sie dann zerstört?
 - Beispielstudien: Niedrigwasser auf dem Rhein [22], Sturzfluten 2021 in Westdeutschland [34] [35] [36]
- Davor/Ex-ante: Prognosen und Szenarien zukünftiger Kosten und Schäden durch den Klimawandel
 - Wie wird sich ein bestimmtes ökonomisches Schadensmaß durch den Klimawandel anders entwickeln als in einer Welt ohne Klimawandel?
 - Basiert oft auf Erfahrungswerten und Daten aus Ex-post-Analysen
 - Im weiteren Verlauf des Fact Sheets geht es um die Ex-ante-Perspektive

Unterschiedliche Maße für unterschiedliche Schäden

- keine einheitliche Kennzahl für die „Kosten des Klimawandels“
- je nach Fragestellung unterschiedliche Größen:
 - direkte Sach- und Vermögensschäden
 - Veränderung von BIP oder BIP pro Kopf
 - Veränderung der Wachstumsrate des BIP
 - Einkommens- oder Konsumverluste
 - Wohlfahrtsverluste (inkludiert etwa Ökosystemschäden, Lebensqualität, Gesundheit, Todesfälle; also Werte, die nicht am Markt gehandelt werden)
 - zusätzlicher Schaden durch eine emittierte Tonne CO₂: Social Cost of Carbon (SCC)
- deshalb:
 - Zahlen aus verschiedenen Studien häufig nicht unmittelbar vergleichbar
 - entscheidend: genaue Definition dessen, was als „Schaden“ gezählt wird



Direkte Schäden in Geldwerten

- besonders bei einzelnen Extremwetterereignissen:
 - Wert zerstörter Gebäude und Infrastruktur
 - beschädigte Maschinen und Fahrzeuge
 - Ernteverluste
 - Kosten für Reparatur und Wiederaufbau
- Vorteil:
 - anschauliche Größen
 - relativ direkte Zuordnung zu einem Ereignis
- Einschränkungen:
 - keine vollständige Abbildung des gesamtwirtschaftlichen Schadens
 - zusätzlich mögliche Produktionsausfälle, Lieferketteneffekte, Gesundheitsfolgen, Einkommensverluste
 - in manchen Berichten werden nur versicherte Schäden berichtet, sie sind leichter zu messen, aber nur ein Teil der gesamten Schäden [37]

Vermögensschäden und BIP-Schäden: nicht dasselbe

- Auf Zeitpunkt bezogen: Kapital, z.B. Gebäude, Maschinen, Infrastruktur, Immobilienvermögen
- Auf Zeitraum bezogen: BIP; Wert der erzeugten Güter und Dienstleistungen
- Beispiel Zerstörung einer Fabrik:
 - Verlust des Fabrikwerts → Vermögensschaden bzw. Verlust an Kapital
 - dadurch ausfallende Produktion → möglicher BIP-Schaden
- Kapitalzerstörung selbst nicht unmittelbar messbar mit BIP
- Wiederaufbau und Reparaturen dagegen als wirtschaftliche Aktivität im BIP
- daher theoretisch möglich:
 - erheblicher Vermögensverlust
 - gleichzeitig nur geringer Rückgang oder zeitweise positive Veränderung des gemessenen BIP
- höheres BIP nach einer Katastrophe ≠ wirtschaftlicher Wohlfahrtsgewinn
 - Ressourcen müssen für Wiederherstellung aufgewendet werden, statt für andere Güter und Dienstleistungen zur Verfügung zu stehen

Geldbeträge: Preisjahr beachten

- (nominale) Geldbeträge verschiedener Jahre nur eingeschränkt vergleichbar
- notwendig:
 - Angabe der Währung
 - Angabe des Preisjahrs (100 Euro zum Jahr 2010 sind mehr wert als 100 Euro im Jahr 2020)
 - Umrechnung auf einen gemeinsamen Preisstand
 - „100 Milliarden Euro Schaden“ ohne Preisjahr nur begrenzt aussagekräftig
 - Inflationsbereinigung für die Vergangenheit: Vergleich der realen Kaufkraft von Geldbeträgen verschiedener Jahre
 - Diskontierung für die Zukunft: Bewertung zukünftiger Schäden aus heutiger Perspektive: Wie viel Wert sind uns heute 100 Euro, die wir im Jahr 2050 (real, nicht nominal) erhalten?



Zukünftige Schäden und Diskontierung [38]

- ▶ zukünftige Schäden in Kosten-Nutzen-Analysen häufig als Gegenwartswert (was wäre das heute wert?); dafür sogenannte Diskontierung (Abzinsung) zukünftiger Schäden nötig
- ▶ Rechnung mit Anzahl der Jahre zwischen heute und zukünftigem Wert t und Diskontsatz r :

$$\text{Gegenwartswert} = \frac{\text{Zukünftiger Wert}}{(1 + r)^t}$$

- ▶ Wichtig: Bei Diskontierung geht es nicht darum, die Inflation abzuziehen – wegen der man sich mit einem Hundert-Euro-Schein in 10 Jahren weniger leisten kann als heute. Bei Klimaschäden wird üblicherweise mit realen, also inflationsbereinigten Geldbeträgen gerechnet. 100 Euro „real“ im Jahr 2050 haben dann definitionsgemäß dieselbe Kaufkraft wie 100 Euro heute. Diskontierung setzt erst danach an.
- ▶ Diskontsatz ergibt sich unter anderem aus:
 - erwartetem zukünftigen Konsum- beziehungsweise Einkommenswachstum
 - abnehmendem zusätzlichen Nutzen von Konsum bei höherem Wohlstand
 - reine Zeitpräferenz (heutiger Konsum wird präferiert über zukünftigen, Gewinne und Schäden entsprechend weniger stark gewichtet, je weiter sie in der Zukunft liegen)
 - Risiko und Unsicherheit
- ▶ großer Einfluss des angenommenen Diskontsatzes bei Schadensbetrachtung über viele Jahrzehnte [39]
- ▶ Gewicht heutiger gegenüber zukünftigen Generationen ist ethisch zu bewerten
- ▶ Höhe korrekter Diskontsätze ist wissenschaftlich sehr umstritten
- ▶ Diskontsätze besonders relevant für den SSC
- ▶ Beispielrechnung:
 - Durch Hitzewelle in zehn Jahren: Schäden von 100 Millionen Euro
 - Durch Meeresspiegelanstieg in 172 Jahren: Schäden von 500 Millionen Euro
 - Bei 1 Prozent Diskontsatz beträgt der Gegenwartswert von beidem je 90,5 Millionen Euro, zusammen 181 Millionen Euro
 - Angenommen, beides ließe sich durch Klimaschutz heute verhindern: Der würde sich ökonomisch rechnen, solange er weniger als 181 Millionen Euro kostet.
 - Mit Diskontsatz von 2 Prozent andere Bewertung für Hitzewelle (82 Millionen Euro), Meeresspiegelanstieg (16,6 Millionen Euro), Gesamtschaden (98,6 Millionen Euro).
 - Diskontsatz hat sehr starken Einfluss auf Bewertung weit entfernter Schäden und dadurch darauf, wie viel Klimaschutz sich lohnt

Zeitraum der Schadensangabe

- ▶ Unterschied zwischen:
 - Schaden in einem einzelnen Jahr
 - kumulierter Schaden über mehrere Jahre oder Jahrzehnte; längerer Betrachtungszeitraum → in der Regel größere Summe
 - Wert sämtlicher zukünftiger Schäden (bis in die Unendlichkeit)
- ▶ bei dauerhaft geringerem Wirtschaftswachstum durch Klimawandel:
 - zunehmender Abstand des BIP zur Referenzentwicklung ohne Klimawandel über die Zeit
 - dadurch besonders starke Abhängigkeit langfristiger Schadenssummen vom gewählten Zeithorizont, Schaden nimmt mit der Zeit zu



- ▶ bei Diskontierung zukünftiger Schäden für Social Cost of Carbon:
 - je weiter Schaden in der Zukunft, desto geringer sein Wert
 - Schäden durch Meeresspiegelanstieg dann zum Beispiel viel weniger relevant

Interpretation der Schäden: Vergleich mit welcher Welt?

- ▶ Klimaschäden meist als Differenz zu einer theoretischen Referenzentwicklung
- ▶ typischer Vergleich:
 - wirtschaftliche Entwicklung mit Klimawandel
 - gegenüber wirtschaftlicher Entwicklung ohne beziehungsweise mit geringerem zusätzlichen Klimawandel
- ▶ deshalb:
 - „fünf Prozent BIP-Schaden im Jahr 2100“ meist nicht: BIP 2100 fünf Prozent niedriger als heute
 - sondern: BIP 2100 fünf Prozent niedriger als in der zugrunde gelegten Referenzwelt im Jahr 2100
- ▶ möglich:
 - Wirtschaft mit zusätzlichem Klimawandel 2100 deutlich größer als heute
 - zugleich deutlich kleiner als ohne zusätzlichen Klimawandel
- ▶ für journalistische Einordnung daher sinnvoll:
 - Schaden relativ zur Referenzentwicklung benennen
 - zusätzlich Entwicklung relativ zu heute erläutern

BIP-Niveau oder Wirtschaftswachstum

- ▶ zentrale Unterscheidung und Diskussion bei langfristigen Schadensschätzungen:
 - Effekt auf das Niveau des BIP
 - Versus Effekt auf die Wachstumsrate des BIP
- ▶ Niveaueffekt
 - (Einmalige) Änderung der globalen Durchschnittstemperatur → geringere Wirtschaftsleistung
 - anschließend wieder Wachstum mit ungefähr vorheriger Rate möglich
 - dauerhaft konstanter Abstand zur Referenzwelt möglich
 - Abstand nicht von Jahr zu Jahr zunehmend
 - Hypothese: Gesellschaft passt sich an Änderung des Klimas an, Änderung verursacht einmalige Kosten
- ▶ Wachstumseffekt
 - dauerhaft geringere jährliche Wachstumsrate bei höherer globaler Durchschnittstemperatur
 - Jahr für Jahr zunehmender Abstand zur Referenzentwicklung
 - potenziell sehr große Langzeiteffekte
 - Hypothese: Wachstum unter neuen klimatischen Bedingungen dauerhaft erschwert, einmalige Anpassung reicht nicht aus
- ▶ Beispiel:
 - 2 Prozent niedrigeres BIP-Niveau im Jahr X
 - ist etwas grundsätzlich anderes als
 - dauerhaft 0,2 Prozentpunkte niedrigere Wachstumsrate pro Jahr



- ▶ Debatte um Einfluss auf Wachstumsrate in der Forschung noch nicht geklärt:
 - Hinweise auf Effekte auf die Wachstumsrate aus der ökonometrischen Literatur [40]
 - zugleich erhebliche Unsicherheit über Dauer und funktionale Form solcher Effekte, neuere Studien gehen häufig von zeitlich begrenzten Effekten des Klimawandels auf Wachstumsraten aus [41]
 - besonders große Spannweite langfristiger Projektionen bei Modellen mit dauerhaften Effekten auf die Wachstumsrate [42]

Einkommen, Konsum und Wohlfahrt statt BIP

- ▶ BIP: Maß wirtschaftlicher Produktion, Wert aller produzierten Waren und Dienstleistungen
- ▶ nicht identisch mit Lebensstandard oder gesellschaftlicher Wohlfahrt
- ▶ alternative wirtschaftliche Größen:
 - Einkommen oder Konsum
 - Nutzen beziehungsweise Wohlfahrt
- ▶ Konsum:
 - ermittelt: Wie viele Güter und Dienstleistungen kann sich die Bevölkerung leisten?
 - relevant etwa bei steigenden Ausgaben für:
 - Reparaturen
 - Kühlung
 - Hochwasserschutz
 - Gesundheitsversorgung
- ▶ möglich:
 - relativ geringe Veränderung des BIP
 - gleichzeitig weniger Konsummöglichkeiten, da viel Geld für Reparaturen und Anpassung an den Klimawandel ausgegeben werden muss [43] [44]

Wohlfahrtsverluste:

- ▶ vom BIP unvollständig oder gar nicht erfasste Klimafolgen:
 - vorzeitige Todesfälle [45]
 - Krankheitslast
 - Verlust von Freizeit und Lebensqualität
 - Schäden an Ökosystemen und Biodiversität [46] [47]
 - Verlust kultureller Güter
 - Risiken und Unsicherheit: Klimawandel schafft zukünftige Risiken, gegen die Klimaschutz als „Versicherung“ wirkt. Versicherung ist allein deshalb schon wertvoll, weil Akteure Unsicherheit über sehr große Schäden an sich negativ betrachten – unabhängig vom Erwartungswert [48]
 - negativ bewertete Verteilungswirkungen [49]
- ▶ ökonomische Wohlfahrtsmaße:
 - Zusammenführung von Markt- und Nicht-Marktschäden
 - teilweise Monetarisierung nicht-marktlicher Schäden, etwa Zuordnung von Geldwerten zu Todesfällen oder Ökosystemdienstleistungen
 - teilweise Darstellung als Konsumäquivalent:



fact sheet

- Um wie viel müsste der Konsum in einer Welt ohne Klimawandel sinken, damit die Menschen genauso schlecht gestellt wären wie durch den tatsächlichen Klimaschaden?
- ▶ Beispiel Mortalität:
 - Übersetzung klimabedingter Sterblichkeitsrisiken in einen monetären Wohlfahrtsverlust – wie viel „Wert“ wäre dieses Leben uns gewesen?
 - alternativ: Darstellung unmittelbar in zusätzlichen Todesfällen
- ▶ Vorteil:
 - mit Wohlfahrtseffekten breitere Abbildung gesellschaftlich relevanter Folgen als über das BIP allein
- ▶ Nachteil:
 - zusätzliche Bewertungsannahmen, die Interpretation erschweren und (ethisch) umstritten sind
 - unter anderem:
 - monetäre Bewertung von Gesundheits- und Sterberisiken
 - eventuell Gewichtung von Schäden für arme und reiche Menschen verschieden
 - Gewichtung heutiger und zukünftiger Generationen
 - Risikoaversion: Wie stark präferieren Akteure eine sichere Zukunft ohne Klimawandel gegenüber der unsicheren Zukunft mit Klimawandel?

Schäden pro zusätzlicher Tonne CO₂: Social Cost of Carbon (SCC) [50]

- ▶ andere Fragestellung als bei den gesamten Klimaschäden:
 - nicht: „Wie hoch sind alle Schäden des Klimawandels?“
 - sondern: „Welchen zusätzlichen gesellschaftlichen Schaden verursacht eine weitere Tonne CO₂?“
 - typischerweise Euro oder US-Dollar pro Tonne CO₂
 - Summe aller zukünftiger zusätzlicher Schäden durch diese Emission
 - auf einen Gegenwartswert diskontiert
- ▶ Abgrenzung zu Vermeidungskosten
 - SCC: zusätzlicher gesellschaftlicher Schaden einer Emission
 - Vermeidungskosten: Kosten, diese Emission zu verhindern
 - klassische Kosten-Nutzen-Logik:
 - zusätzliche Emissionsminderung ökonomisch vorteilhaft, solange marginale Vermeidungskosten geringer sind als vermiedener marginaler Schaden (SCC)

Durchschnittswerte können Verteilungswirkungen verdecken

- ▶ globale oder nationale Durchschnittswerte:
 - keine Aussage über Verteilung der Schäden
- ▶ mögliche Unterschiede:
 - Länder
 - Regionen
 - Wirtschaftssektoren
- ▶ national geringer durchschnittlicher BIP-Effekt vereinbar mit:
 - hohen Schäden einzelner Regionen
 - starken Belastungen einzelner Branchen oder Haushalte



- ▶ global:
 - höhere Schäden in vielen bereits warmen und ärmeren Ländern
 - mögliche Vorteile in einzelnen kühleren Regionen
 - Klimawandel als möglicher Verstärker internationaler wirtschaftlicher Ungleichheit

Wie werden die konkreten Werte ermittelt, wie funktionieren die Modelle und Methoden?

Grundprinzip

- ▶ gesamtwirtschaftliche Klimaschäden nicht direkt beobachtbar
- ▶ Vergleich zweier Entwicklungen:
 - Welt mit Klimawandel
 - kontrafaktische Welt ohne oder mit geringerem Klimawandel
- ▶ Differenz = geschätzter Klimaschaden
- ▶ zentrale Bausteine:
 - Klima- und Wirtschaftsdaten und entsprechende Modelle
 - ökonometrisch geschätzte Zusammenhänge aus der Vergangenheit
 - Klimaszenarien
 - Annahmen zu Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung
 - Modelle wirtschaftlicher Anpassungs- und Rückkopplungseffekte
- ▶ Monte-Carlo-Simulationen:
 - Unsicherheit über Modellannahmen wird begegnet, indem man viele Simulationen durchführt, dabei werden Wahrscheinlichkeitsverteilungen über die Annahmen gelegt und verschiedene Kombinationen simuliert [39]
- ▶ **Empirische Grundlage der Modelle – Zusammenhang von Klima und Schaden bestimmen:**
- ▶ Modelle benötigen empirische Informationen zu Zusammenhängen von Klima und Schäden

Ökonometrie: Von historischen Daten zu zukünftigen Schäden

- ▶ Effekte vergangener Klima- und Wetterschwankungen werden mit ökonometrischen Methoden identifiziert
- ▶ Vergleich von Ländern, Regionen oder Sektoren über die Zeit (Paneldaten):
 - verändert sich die Wirtschaftsleistung einer Region in ungewöhnlich heißen, kalten, trockenen oder nassen Jahren?
- ▶ statistisch wird für andere Einflüsse kontrolliert:
 - Geografie
 - langfristige institutionelle Unterschiede
 - Wirtschaftsstruktur
- ▶ Ziel: möglichst isolierter Einfluss von Temperatur, Niederschlag oder anderen Klimavariablen; Schätzung von Schadensfunktionen bzw. einer Dosis-Wirkungs-Beziehung



► zentrale Unsicherheiten:

- Wetterschock versus langfristige Klimaänderung – wie übertragbar?
- zukünftige technische und gesellschaftliche Anpassung verändert Zusammenhänge
- geringe historische Erfahrung mit zukünftigen Extremereignissen
- Effekte globaler Temperaturunterschiede durch lokale Variation abgebildet?

Umfragestudien

- Forschende werden zu ihrer Einschätzung über die Zusammenhänge befragt
- Mittlere Werte werden für Modellierungen übernommen (Beispiel Moore et al. [51])

Konkrete Prozesse als Grundlage

- zunächst Modellierung konkreter Wirkungen auf Basis empirischer Erkenntnisse

► Beispiele:

- Temperatur → Ernteertrag
- Hitze → Arbeitsproduktivität
- Temperatur → Mortalitätsrisiko
- Meeresspiegelanstieg → Überflutungsrisiko
- Temperatur → Stromnachfrage

► anschließend:

- Übersetzung in ökonomische Größen
- beispielsweise:
 - Ertragsverlust × Marktpreis
 - verlorene Arbeitszeit × Lohn beziehungsweise Produktivität
 - Mortalitätsrisiko × ökonomische Bewertung statistischer Lebensrisiken
 - Gebäudeschäden × Wiederbeschaffungskosten

► Vorteil:

- nachvollziehbare Mechanismen

► Nachteil

- indirekte wirtschaftliche Effekte und Zusammenhänge fehlen

► **Modellierung:**

Enumerative Studien

- Beispiele: [52] [53]
- einzelne Schadenskanäle modellieren und sie zusammenführen:
 - Landwirtschaft
 - Mortalität und Gesundheit
 - Arbeitsproduktivität
 - Energie
 - Meeresspiegelanstieg & Infrastruktur
- Anschließend Aggregation der Kosten

Üblicher Ansatz: Integration in ein ökonomisches Modell

- Schätzung gesamtwirtschaftlicher Effekte und Interaktionen



- ▶ einzelne Schätzungen von Schadenszusammenhängen können dabei aus empirisch-ökonomischen Studien, Umfragestudien oder prozessbasierten Ansätzen stammen; werden aber in einem Gesamtmodell integriert
- ▶ einzelne Wirkungskanäle nicht zwingend separat modelliert

▶ **Verbreitete ökonomische Modelltypen:**

Input-Output (IO)-Modelle: Schäden entlang von Lieferketten

- ▶ Beispiel: [54]
- ▶ Abbildung von Lieferketten und Vorleistungen: „Welche Produktion fällt aus, wenn benötigte Vorleistungen fehlen?“
- ▶ Annahme: fixe Anteile von Vorprodukten, keine Substitution und Anpassung an veränderte Verfügbarkeit
- ▶ geeignet für:
 - kurzfristige Produktionsausfälle, insbesondere durch Naturkatastrophen, bei denen Akteure nicht schnell auf andere Produkte umsteigen können, Preise wenig reagieren
- ▶ Beispiel:
 - Stahlproduktion → weniger Stahl für Maschinen- und Automobilindustrie → dort Produktionsausfälle → weitere Effekte bei deren Abnehmern
- ▶ Stärke:
 - detaillierte Abbildung wirtschaftlicher Verflechtungen
- ▶ Schwäche klassischer Varianten:
 - Wirtschaft relativ „starr“
 - Unternehmen können laut Modell fehlende Inputs nicht ohne Weiteres ersetzen, in der Realität oft nach gewisser Zeit doch möglich
 - insbesondere bei längeren Zeithorizonten deshalb Gefahr, Schäden zu hoch zu schätzen

Computable General Equilibrium (CGE)-Modelle

- ▶ Beispiele: [26] [55] [56]
- ▶ Abbildung von Lieferketten und Vorleistungen mit Reaktion der Marktakteure: „Wie reagieren Preise und Akteure auf die Knappheit – und wo stellt sich anschließend ein neues Gleichgewicht ein?“
- ▶ Unterschied zu IO-Modellen:
 - Veränderung von Preisen
 - Flexible Angebots- und Nachfragefunktionen
 - Haushalts- und Unternehmensreaktionen
 - Verlagerung von Arbeit und Kapital
 - Handel
- ▶ Stärke:
 - Markt- und Anpassungsreaktionen
- ▶ Schwäche:
 - starke Abhängigkeit von Modellannahmen zu Marktreaktionen, etwa zu Substitutionsmöglichkeiten zwischen Produktionsfaktoren, Importmöglichkeiten, Anpassungsgeschwindigkeit



Wachstumsmodelle

- ▶ Beispiel: [57]
- ▶ Fokus:
 - langfristige Entwicklung einer Volkswirtschaft
 - weniger einzelne Lieferketten
- ▶ vereinfachte Produktionsfunktion:
 - Kapital
 - Arbeit
 - Produktivität beziehungsweise Technologie – bestimmt wie viel mit demselben Kapital und Arbeitseinsatz produziert werden kann
- ▶ langfristig entscheidet technologischer Fortschritt über die Wachstumsmöglichkeiten
- ▶ Naturkatastrophe beispielsweise modelliert als:
 - Verlust von Kapital
 - Verlust von Arbeitskraft
 - Produktivitätsschock
- ▶ Beispiel für Mechanismus: Katastrophe → Kapitalstock sinkt → Kapital anschließend knapper → höherer Mehrwert neuer Investitionen → Wiederaufbau und Kapitalakkumulation → allmähliche Rückkehr zum ursprünglichen langfristigen Gleichgewicht beziehungsweise Wachstumspfad
- ▶ bei rein vorübergehendem Kapitalverlust:
 - großer kurzfristiger Schaden möglich
 - aber nicht automatisch dauerhaft geringere Wachstumsrate
 - Kapital wird wieder aufgebaut, danach Wachstumspfad wie zuvor
- ▶ dauerhafte Langfristwirkung insbesondere bei Veränderungen von:
 - Spar- und Investitionsverhalten
 - Abschreibungsrate (Kapital verliert schneller an Wert)
 - Humankapital
 - Produktivität & Produktivitätswachstum
- ▶ deshalb zentrale Frage:
 - Klima als vorübergehender Schock auf Produktionsfaktoren?
 - oder dauerhafter Einfluss auf Produktivität und Wachstumsrate?



► Zusammenführung von Klima- und ökonomischem Modell:

Integrated Assessment Models – IAMs

- integrieren ökonomische Modelle mit Klimamodellen, um Feedback zwischen Ökonomie und Klima im Modell abzubilden: sozioökonomische Entwicklung → Treibhausgasemissionen → Klimaveränderung → wirtschaftliche Schäden → sozioökonomische Entwicklung usw.
- enthalten teils auch Kosten des Klimaschutzes und werden dann genutzt, um einen wirtschaftlich „optimalen Pfad“ zu berechnen, bei dem Ausgaben für Klimaschutz gerade so hoch sind, wie durch sie vermiedene Schäden, sodass Wirtschaft insgesamt im Optimum ist;
 - zum Beispiel führt nach Barrage und Nordhaus ein solch „optimaler“ Klimaschutz zu etwa 2,6 Grad Erwärmung im Jahr 2100; mit etwas anderen Annahmen ergibt sich, dass Klimaschutz wirtschaftlich optimal ist, wenn er die Temperatur auf 2 Grad begrenzt. [57]
- Modelle enthalten sehr unterschiedliche:
 - wirtschaftliche Modelle
 - Schadensfunktionen
 - räumliche Auflösungen
 - Anpassungsannahmen
 - Klimamodelle

Wichtig:

- Modelle unterscheiden sich selbst innerhalb von Modellgruppen stark in empirischen Grundlagen und theoretischen Annahmen
- Unsicherheit über korrekte Modellierung ist sehr groß; entsprechend auch Spannbreite der Ergebnisse

Wie Studien zu Klimawandelkosten lesen?

- Angaben zu den „Kosten des Klimawandels“ nur sinnvoll vergleichbar, wenn Fragestellung und Modellannahmen ähnlich. Deshalb prüfen:

Was genau ist die Schadenszahl?

- untersuchte Größe:
 - Sach- und Vermögensschäden
 - BIP / BIP pro Kopf
 - BIP-Wachstum
 - Einkommen / Konsum
 - Wohlfahrt
- absoluter Geldbetrag oder prozentuale Veränderung
- Schaden in einem Jahr oder kumuliert über mehrere Jahrzehnte
- bei Geldbeträgen:
 - Preisjahr
 - gegebenenfalls Diskontsatz



Womit wird verglichen?

- ▶ Referenzwelt:
 - ohne Klimawandel
 - mit geringerer Erwärmung

Welche Klimaschäden sind enthalten?

- ▶ betrachtete Klimavariablen und Risiken
- ▶ berücksichtigte Wirkungskanäle
- ▶ häufig nicht enthalten sind zum Beispiel:
 - Ökosysteme
 - Biodiversität
 - Konflikte und Migration
 - schwer quantifizierbare Extrem- und Kipprisiken

Wie wird der Schaden ermittelt?

- ▶ empirisch-ökonometrisch aus historischen Daten
- ▶ über biophysikalische beziehungsweise prozessbasierte Modelle
- ▶ über Expertenschätzungen oder Literatursynthesen
- ▶ anschließend gegebenenfalls Weiterverarbeitung in:
 - Input-Output-Modellen
 - CGE-Modellen
 - makroökonomischen oder Wachstumsmodellen
 - Integrated Assessment Models
- ▶ wichtig:
 - unterschiedliche Methoden können unterschiedliche Teile der Wirkungskette abbilden

Welche zentralen Annahmen stecken dahinter?

- ▶ Anpassung:
 - keine, heutige oder zusätzliche zukünftige Anpassung?
 - Kosten der Anpassung berücksichtigt?
- ▶ Effekt auf BIP-Niveau oder Wachstumsrate?
- ▶ Welches Erwärmungsszenario? – je stärker der angenommene Klimawandel, desto größer die Unsicherheit über ökonomische Effekte
- ▶ zukünftige:
 - Bevölkerungsentwicklung
 - Wirtschafts- und Einkommensentwicklung
 - Technologieentwicklung



Worauf bezieht sich der Durchschnitt?

- ▶ global, national, regional oder sektoral
- ▶ mögliche starke Unterschiede hinter einem Mittelwert:
 - Länder
 - Wirtschaftssektoren
 - Einkommensgruppen

Für den Vergleich verschiedener Studien

- ▶ unterschiedliche Zahlen nicht automatisch widersprüchlich
- ▶ zunächst prüfen:
 - gleiche Schadensgröße?
 - gleiche Referenzwelt?
 - ähnliches Erwärmungsniveau und gleicher Zeitraum?
 - ähnliche Schadenskanäle?
 - vergleichbare Annahmen zu Anpassung und Wachstum?
- ▶ große Spannweite häufig Folge unterschiedlicher Forschungsfragen und Modellstrukturen – nicht nur statistischer Unsicherheit

Wie hoch sind die wirtschaftlichen Schäden?

Zentrale Aspekte

- ▶ frühe Schätzungen der Kosten des Klimawandels sehr niedrig; neuere Arbeiten gehen häufiger von viel höheren Kosten aus
- ▶ Forschungsstand: genaue Modellierung macht großen Unterschied, sehr große Spanne und Unsicherheit der Ergebnisse
- ▶ je stärker der angenommene Klimawandel, desto größer die Unsicherheit über wirtschaftliche Effekte, da Extrapolation aus der Vergangenheit schwieriger
- ▶ wichtige Debatte: beeinflusst neues Klimaniveau langfristig Wachstumsraten oder verringert der Übergang zu neuem Klima nur für eine bestimmte Zeit die Wirtschaftskraft? Wachstumsraten haben langfristig viel größeren Einfluss.
- ▶ auch Auswirkungen von Extremrisiken wie Kipppunkten sehr unsicher
- ▶ Kosten regional sehr unterschiedlich, ärmere Länder relativ zu ihrem Einkommen sehr viel stärker betroffen
- ▶ Wohlstand könnte in den meisten Regionen trotz des Klimawandels weiter wachsen, aber langsamer als ohne Klimawandel; in manchen ärmeren Ländern könnten die Kosten schlimmstenfalls so hoch sein, dass wirtschaftlicher Wohlstand verglichen mit heute zurückgeht – wirtschaftliche Wachstumsraten werden aber von vielem mehr beeinflusst, sind langfristig kaum vorhersagbar



- ▶ Beispielrechnung:
 - Wenn laut Studie Niveau des BIP durch Klimawandel in 80 Jahren 20 Prozent geringer liegt als ohne Klimawandel
 - und das BIP ohne Klimawandel etwa zwei Prozent jährlich wachsen würde (in den vergangenen Jahrzehnten waren es global etwa drei Prozent),
 - dann gilt: Insgesamt wächst das BIP in 80 Jahren ohne Klimawandel um etwa 390 Prozent, mit Klimawandel um 290 Prozent.
- ▶ Ob und wie Wirtschaft überhaupt wächst, untersuchen Studien nicht, sondern übernehmen bestehende Szenarien, die mit Klimawandel interagieren.
- ▶ Wirtschaftliche Auswirkungen des Klimawandels verglichen etwa mit der Klimaphysik wenig erforscht, Forschung etablierte sich vor allem seit den 1990er Jahren
- ▶ Lehren aus der Unsicherheit und Methodenvielfalt der Forschung:
 - Zahlen verschiedener Studien nicht als gemeinsames Unsicherheitsintervall
 - Vergleich nur bei ähnlicher Definition und Methodik
 - einzelne Werte immer als Modellschätzung auf Basis der Annahmen

Weltweite Kosten

- ▶ Meta-Studien kommen zu verschiedenen Ergebnissen, je nach inkludierten Studien und Ansatz; einige aktuelle Beispiele:
- ▶ Howard und Sterner, für drei Grad Erwärmung [58]:
 - Ergebnisse einer Meta-Regression
 - Effekte für das Jahr, wenn drei Grad Erwärmung erreicht ist (keine genaue Jahresangabe für Schäden; die variierte in den einbezogenen Studien)
 - Ohne Effekt des Klimawandels auf BIP-Wachstumsrate
 - 3,2 Prozent geringeres BIP
 - 12,5 Prozent mit „Klimakatastrophen“
 - Mit Effekt auf die Wachstumsrate
 - 9,2 Prozent geringeres BIP
 - 18,5 Prozent mit „Klimakatastrophen“
 - neuere Studien beziehen viel häufiger Effekt auf Wachstumsrate ein
 - Klimakatastrophen nicht genau definiert, Schätzung enthält Studien, die irgendeine Art von „Klimakatastrophe“ beinhalten, häufig etwa Klimakippunkte
 - Eigene Schätzung mit unterschiedlichen Gewichtungen zur Wahrscheinlichkeit des Effektes auf BIP-Wachstumsrate und Wahrscheinlichkeit von „Klimakatastrophen“:
 - 7,1 bis 12,6 Prozent geringeres BIP-Niveau bei drei Grad Erwärmung
- ▶ Barrage und Nordhaus, für drei Grad Erwärmung [57]:
 - Studie mit dem Integrated Assessment Model „DICE“
 - Input ist Schadensfunktion auf Basis einer Meta-Regression der Literatur
 - Schaden deutlich geringer als bei Howard & Sterner, für drei Grad Erwärmung (unabhängig vom Jahr, als fixer Zusammenhang mit Klimaveränderung):



- 1,6 Prozent geringeres BIP ohne Kipppunkte
- zusätzlich 1 Prozent geringeres BIP durch Kipppunkte (auf Basis von Studie von Dietz et al. [65], siehe unten)
- zusätzlich 0,5 Prozent geringeres BIP durch weitere Schäden, die bislang nicht in der Literatur abgebildet sind
- Insgesamt 3,1 Prozent geringeres BIP
- Weitere Metaanalyse von Tol kommt zu ähnlich geringen Werten [59]:
 - 1,7 Prozent Einkommensverlust (nicht BIP) bei 2,5 Grad Erwärmung
- Moore et al. – Metastudie der Verteilung von Abschätzungen des Social Cost of Carbon [51]
 - Analyse von 1823 SCC-Schätzungen für Kosten einer zusätzlichen Tonne CO₂, die im Jahr 2020 ausgestoßen wurde
 - Verteilung der Schätzungen ist extrem breit
 - Median 39 Dollar pro Tonne CO₂
 - Mittelwert 132 Dollar pro Tonne CO₂
 - Hohe Schätzungen gehen häufig von Einfluss des Klimawandels auf die Wachstumsrate aus, haben genauere Klimamodelle, modellieren häufiger Kipppunkte
 - Streuung der Schätzungen wird nur zu etwa einem Viertel durch verschiedene Diskontsätze erklärt
 - Ergänzung durch Befragung von Klimaökonom:innen, wie SCC-Analysen durchgeführt werden sollten:
 - Autoren, die Befragung vollständig beantworteten, hielten im Schnitt 142 Dollar pro Tonne CO₂ für die beste Schätzung
 - Sind überzeugt, dass Modelle vielfach die Kosten unterschätzen, geben an, was idealerweise inkludiert sein sollte (etwa: aktuellere Klimamodelle, Kipppunkte etc.)
 - Auf Basis der Umfrageergebnisse neue Synthese der Literatur, mit höherer Gewichtung der von Expert:innen favorisierten Eigenschaften:
 - Median: 185 Dollar pro Tonne CO₂
 - Mittelwert: 283 Dollar pro Tonne CO₂
 - Analyse nicht direkt mit den beiden obigen vergleichbar, da es hier um den SCC geht. Zeigt aber ähnliches Bild: Ergebnisse aus der Literatur variieren sehr stark
 - Andere Meta-Analyse von Tol korrigiert ebenfalls die Werte der SCC-Literatur nach oben [60], aber nicht anhand von Expertenbefragung. Stattdessen korrigiert er Elemente der Schätzungen aus Erkenntnissen anderer Forschung: Etwa zu Diskontierungsraten und korrekten Schadensfunktionen.
 - Beides deutet darauf hin, dass die Forschung die Kosten unterschätzt und zeigt eine extrem große Verteilung der Schätzungen, die rechtsschief ist (einige Werte sehr hoch, auch wenn die meisten eher geringer sind)

Globale und regionale Verteilung der Kosten

- Robustes Ergebnis der Forschung:
 - Effekte regional sehr unterschiedlich
 - ärmere und wärmere Länder besonders betroffen
- Beispiele für Studien:



- ▶ Burke, Hsiang und Miguel: Ökonometrische Panel-Studie, 166 Länder von 1960 bis 2010, Ergebnisse [61]:
 - Temperatur-Optimum bei 13 Grad jährlicher Durchschnittstemperatur, darunter hilft Anstieg der Temperatur der Wirtschaft, darüber schadet er (andere Studien widersprechen, etwa [Linsenmeier 2026])
 - Temperatureffekt auf Wachstumsrate, nicht nur BIP-Niveau
 - Temperatureffekt auf wirtschaftliche Produktivität hat im Zeitverlauf nicht abgenommen, Wirtschaft scheint nicht resilienter geworden zu sein
 - Während manche Länder profitieren, verlieren insbesondere ärmere Länder bis 2100 an Wirtschaftskraft, sogar verglichen mit heute und nicht nur verglichen mit einer künftigen Welt ohne Klimawandel
 - Einschränkung: Geht von RCP 8.5 aus, mit sehr starker Erwärmung, mittlerweile unplausibel
- ▶ Mohaddes und Raissi in einer weiteren Panelstudie und Tol bestätigt in Meta-Analyse grundsätzliches Resultat [62] [59]:
 - Schäden in ärmeren, warmen Ländern deutlich größer
 - Gründe könnten sein, dass Auswirkungen in wärmeren Ländern stärker sind, die stark betroffene Landwirtschaft einen größeren Teil der Wirtschaftskraft ausmacht und Anpassung in ärmeren Ländern schwieriger zu finanzieren ist
- ▶ Linsenmeier modelliert für Europa regionale Auswirkungen [63]
 - Stellt Temperatur-Optimum von Burke in Frage [61], stattdessen negative Effekte für kältere Regionen (Durchschnittstemperatur zwischen 0 und 14 Grad Celsius), positive für wärmere Regionen (über 14 Grad), wieder negative für sehr warme (über 20 Grad)
 - Auswirkungen generell je nach Region sehr unterschiedlich; Zusammensetzung der Wirtschaftssektoren erklärt großen Teil der Unterschiede

Spannbreite der Ergebnisse:

- ▶ Insgesamt zeigen Studien sehr große methodische Bandbreite und Schwankung der Ergebnisse, ein Beispiel:
- ▶ Bilal und Känzig schätzen statistisch den Zusammenhang von Temperatur und BIP aus historischen Daten [64]:
 - Bisherige Studien schätzten Zusammenhänge mit lokaler Temperatur
 - sie nehmen nun Zusammenhang mit globaler Temperatur
 - Argument: globale Temperaturschocks gehen mit mehr Extremereignissen einher
 - Zentrales Ergebnis: pro ein Grad Erwärmung 26 Prozent geringeres BIP;
 - statt 3 Prozent geringeres BIP pro Grad, wenn nur Zusammenhang mit lokaler Temperatur analysiert wird, wie in anderen Studien

Was ist mit Kipppunkten?

- ▶ Dietz et al. fassen Literatur zu Kosten von Kipppunkten zusammen [65]
 - integrieren Modellierungsansätze zu unterschiedlichen Kipppunkten in ein neues, übergreifendes Integrated Assessment Modell
 - simulieren so alle Kipppunkte zusammen, in ihren unterschiedlichen biophysikalischen Wirkmechanismen
 - nehmen sowohl Effekt auf Niveau als auch auf Wachstumsrate des BIPs an
 - führen Tausende Simulationen durch
 - berechnen Social Cost of Carbon aller Schäden bis 2300, für eine zusätzliche Tonne CO₂ im Jahr 2020 als Mittelwert der Simulationen:



- 52,03 Dollar pro Tonne CO₂ ohne Kippunkte
- 64,80 Dollar pro Tonne CO₂ mit Kippunkten
- Social Cost of Carbon steigt also um etwa ein Viertel, wenn Kippunkte mitberechnet werden
- Unsicherheit über Modellergebnisse ist aber sehr groß, in zehn Prozent der Simulationen verdoppeln die Kippunkte den Social Cost of Carbon mindestens
- Kippunkte erhöhen das Risiko für sehr hohe Schäden, haben aber sehr unterschiedliche Effekte
- Schwächere Atlantische Meridionale Umwälzzirkulation (AMOC) hat im Modell sogar positiven Effekt, da er die Durchschnittstemperatur senkt; andere Folgen des AMOC werden nicht betrachtet
- Da viele Schadenskanäle fehlen, unterschätzen Ergebnisse wahrscheinlich reale Kosten.

Wo liegen die Unsicherheiten?

- ▶ Zukünftige Emissionen und Erwärmung: Unsicherheit über Emissionspfade, Reaktion des Klimas auf Emissionsmengen und regionale Klimaentwicklung
- ▶ Unklar, welche Klimavariablen zu berücksichtigen sind: Durchschnittstemperatur allein erfasst Extreme, Niederschlag, Dürren, Stürme oder Meeresspiegelanstieg nur unvollständig
- ▶ Ökonometrische Übertragung von historischen Schwankungen auf zukünftiges Klima: Kurzfristig beobachtete Wetterschocks müssen nicht dieselben Wirkungen haben wie dauerhafter Klimawandel
- ▶ Weitgehende Extrapolation: Zukünftige Temperaturen und Extremereignisse liegen teilweise weit außerhalb historisch beobachteter Bedingungen
- ▶ Modellwahl: Funktionale Form, Kontrollvariablen und andere Spezifikationen können die Ergebnisse stark verändern
- ▶ Langfristige Dynamik: Zentral ist, ob Klima das BIP-Niveau oder die Wachstumsrate beeinflusst und wie dauerhaft Schocks wirken
- ▶ Anpassung: Umfang, Wirksamkeit und Kosten zukünftiger Anpassung sind schwer vorherzusagen
- ▶ Räumliche und sektorale Heterogenität: Aggregierte Werte können lokale Gewinner, Verlierer und Branchenunterschiede verdecken
- ▶ Unvollständige Schadensabdeckung: Biodiversität, Ökosysteme, gesellschaftliche Folgen, Wechselwirkungen und systemische Risiken fehlen häufig
- ▶ Kippunkte und Extremrisiken: Seltene, potenziell sehr große Schäden sind besonders schwer zu quantifizieren; Unsicherheit ist daher oft asymmetrisch
- ▶ Zukünftige Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung: Schäden hängen stark von Einkommen, Bevölkerung, Technologie, Urbanisierung und Wirtschaftsstruktur ab
- ▶ Kurz: Die Unsicherheit betrifft weniger die Frage, ob Klimawandel wirtschaftliche Schäden verursacht, als deren genaue Höhe, Verteilung, Dauerhaftigkeit und obere Risikogrenzen



Kosten des Klimaschutzes?

- ▶ unterschiedliche Werte geraten oft durcheinander:
 - Investitionskosten (wie viel Geld fließt insgesamt in Erneuerbare und so weiter?)
 - zusätzlicher Investitionsbedarf (wie viel mehr Geld müssen wir ins Energiesystem investieren, verglichen mit einem fossilen Energiesystem?)
 - volkswirtschaftliche Gesamtkosten (wie hoch wären BIP oder Wohlfahrt verglichen in einer Referenzwelt ohne Klimaschutz?) – hierauf kommt es für die gesamtgesellschaftliche Perspektive an
- ▶ auch für Klimaschutz gibt es nicht die eine Kostenzahl und Unsicherheit über die Kosten
- ▶ in vielen kosteneffizienten globalen Modellszenarien liegen die direkten Kosten ambitionierten Klimaschutzes bis 2050 im niedrigen einstelligen Prozentbereich des globalen BIP gegenüber einer Referenzentwicklung (ohne Berücksichtigung vermiedener Klimaschäden)
- ▶ IPCC: im Jahr 2050 ein 1,3 bis 2,7 Prozent niedrigeres BIP durch Klimaschutz, um das 2-Grad-Ziel zu erreichen, und ein 2,6 bis 4,2 Prozent niedrigeres BIP, um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen (verglichen wird mit Pfaden ohne zusätzlichen Klimaschutz; keine Berücksichtigung vermiedener Klimaschäden und Anpassungskosten) [66]
- ▶ Teilweise deutlich höhere Kosten geschätzt, teils werden Kosten von 0 oder sogar wirtschaftliche Vorteile – etwa für das Energiesystem – geschätzt.
- ▶ Regional fallen hohe Kosten insbesondere bei Ländern an, die viel durch den Verkauf fossiler Energieträger profitieren. Regionen, die wie die EU viel importieren, können profitieren [67]
- ▶ Kostenangaben enthalten in der Regel nicht alle weiteren Gesundheits- und Umweltvorteile des Klimaschutzes – etwa verbesserte Luftqualität. Sie sind daher keine Kosten-Nutzen-Bilanz.

Fazit

- ▶ es gibt nicht „die“ Kosten des Klimawandels. Die Schadenshöhe hängt davon ab, was als Schaden definiert wird
- ▶ nicht nur das BIP zählt: Gesundheitsverluste, Mortalität, Biodiversität, Ökosysteme, Lebensqualität und Verteilungswirkungen fehlen in Analysen häufig
- ▶ Referenzwelt klar definieren: Klimaschäden sind kontrafaktisch; Angaben wie „20 Prozent BIP-Verlust“ sind ohne Vergleichsszenario missverständlich.
- ▶ Forschungsliteratur verfolgt unterschiedliche Modellansätze, diese kommen zu sehr verschiedenen Ergebnissen zu zukünftig erwarteten Schäden: Einzelne Zahlen erzeugen eine Scheingenauigkeit, die der tatsächlichen Modellunsicherheit nicht entspricht.
- ▶ Wachstumseffekte sind langfristig entscheidend: Ein einmaliger Rückgang des BIP-Niveaus wiegt deutlich weniger schwer als eine dauerhaft niedrigere Wachstumsrate
- ▶ Durchschnittswerte verdecken, dass ärmere und bereits warme Länder sowie bestimmte Regionen, Sektoren und Haushalte überproportional betroffen sind
- ▶ viele ökonomische Bewertungen kommen zu dem Ergebnis, dass Klimaschutz netto wirtschaftlich vorteilhaft ist; ob und wie stark die vermiedenen Schäden die Klimaschutzkosten



übersteigen, hängt jedoch insbesondere von der Höhe der angenommenen Klimaschäden und ihrer zeitlichen Gewichtung ab

- Klimaschutz kann als Risikomanagement oder Versicherung verstanden werden: Relativ zeitnahe und stärker steuerbare Transformationskosten werden in Kauf genommen, um erwartete Klimaschäden und insbesondere das schwer kalkulierbare Risiko extremer, langfristiger Schäden zu verringern

Literaturstellen, die zitiert wurden

- [1] Nawarat K et al. (2026): [Coastal flood risk to European surface transport infrastructure at different global warming levels](#). Nature Climate Change. DOI: 10.1038/s41558-025-02510-y.
- [2] Zhang R et al. (2025): [Multidimensional comparative analysis of future climate change impacts on pavement infrastructure aging](#). Transportation Research Part D: Transport and Environment DOI: 10.1016/j.trd.2025.104702.
- [3] Soleimani-Chamkhorami K et al. (2024): [Life cycle cost assessment of railways infrastructure asset under climate change impacts](#). Transportation Research Part D: Transport and Environment DOI: 10.1016/j.trd.2024.104072.
- [4] Hultgren A et al. (2025): [Impacts of climate change on global agriculture accounting for adaptation](#). Nature. DOI: 10.1038/s41586-025-09085-w.
- [5] Wollburg P et al. (2024): [Substantial impacts of climate shocks in African smallholder agriculture](#). Nature Sustainability. DOI: 10.1038/s41893-024-01411-w.
- [6] Mohr JS et al. (2025): [Rising cost of disturbances for forestry in Europe under climate change](#). Nature Climate Change. DOI: 10.1038/s41558-025-02408-9.
- [7] Beck TM et al. (2024): [Mortality burden attributed to anthropogenic warming during Europe's 2022 record-breaking summer](#). npj Climate and Atmospheric Science. DOI: 10.1038/s41612-024-00783-2.
- [8] Masselot P et al. (2025): [Estimating future heat-related and cold-related mortality under climate change, demographic and adaptation scenarios in 854 European cities](#). Nature Medicine. DOI: 10.1038/s41591-024-03452-2.
- [9] García-León D et al. (2021): [Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe](#). Nature Communications. DOI: 10.1038/s41467-021-26050-z.
- [10] Staffell I et al. (2023): [A global model of hourly space heating and cooling demand at multiple spatial scales](#). Nature Energy. DOI: 10.1038/s41560-023-01341-5.
- [11] Falchetta G et al. (2024): [Inequalities in global residential cooling energy use to 2050](#). Nature Communications. DOI: 10.1038/s41467-024-52028-8.
- [12] Wenz L et al. (2017): [North-south polarization of European electricity consumption under future warming](#). Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: 10.1073/pnas.1704339114.
- [13] van Vliet MTH et al. (2016): [Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources](#). Nature Climate Change. DOI: 10.1038/nclimate2903.
- [14] Sergio A, Colelli FP (2025): [Weather-induced power plant outages: Empirical evidence from hydro and thermal generators in Europe](#). Energy Economics. DOI: 10.1016/j.eneco.2025.108549.
- [15] Li S et al. (2026): [Global hydroclimatic risks and strategic decommissioning pathways for thermal power units](#). Nature Sustainability. DOI: 10.1038/s41893-025-01692-9.
- [16] Ma CS et al. (2025): [Crop pest responses to global changes in climate and land management](#). Nature Reviews Earth & Environment. DOI: 10.1038/s43017-025-00652-3.



- [17] Ryan SJ et al. (2019): [Global expansion and redistribution of Aedes-borne virus transmission risk with climate change](#). PLOS Neglected Tropical Diseases. DOI: 10.1371/journal.pntd.0007213.
- [18] Sun Y et al. (2024): [Global supply chains amplify economic costs of future extreme heat risk](#). Nature. DOI: 10.1038/s41586-024-07147-z.
- [19] Verschuur J et al. (2023): [Systemic risks from climate-related disruptions at ports](#). Nature Climate Change. DOI: 10.1038/s41558-023-01754-w.
- [20] Schenker O et al. (2025): [International Trade and the Transmission of Temperature Shocks](#). Environmental and Resource Economics. DOI: 10.1007/s10640-025-00957-3.
- [21] Vinke F et al. (2022): [Cascading effects of sustained low water on inland shipping](#). Climate Risk Management. DOI: 10.1016/j.crm.2022.100400.
- [22] Ademmer M et al. (2023): [Extreme Weather Events and Economic Activity: The Case of Low Water Levels on the Rhine River](#). German Economic Review. DOI: 10.1515/ger-2022-0077.
- [23] Storey B et al. (2024): [Insurance retreat in residential properties from future sea level rise in Aotearoa New Zealand](#). Climatic Change. DOI: 10.1007/s10584-024-03699-1.
- [24] Gourevitch JD et al. (2023): [Unpriced climate risk and the potential consequences of overvaluation in US housing markets](#). Nature Climate Change. DOI: 10.1038/s41558-023-01594-8.
- [25] Kempa K (2026): [Physical climate risk and the pricing of bank loans](#). Journal of Environmental Economics and Management. DOI: 10.1016/j.jeem.2025.103280.
- [26] Cortés Arbués I et al. (2024): [Distribution of economic damages due to climate-driven sea-level rise across European regions and sectors](#). Scientific Reports. DOI: 10.1038/s41598-023-48136-y.
- [27] Kotz M et al. (2024): [Global warming and heat extremes to enhance inflationary pressures](#). Communications Earth & Environment. DOI: 10.1038/s43247-023-01173-x.
- [28] Ryan B et al. (2026): [Impact-based risk assessment of coastal infrastructure adaptation to climate change: a case study of hurricane risk in Nova Scotia, Canada](#). International Journal of Disaster Risk Reduction. DOI: 10.1016/j.ijdr.2026.106081.
- [29] Neumann JE et al. (2021): [Climate effects on US infrastructure: the economics of adaptation for rail, roads, and coastal development](#). Climatic Change. DOI: 10.1007/s10584-021-03179-w.
- [30] Song L et al. (2024): [Rising atmospheric carbon dioxide concentrations increase gaps of rice yields between low- and middle-to-high-income countries](#). Nature Food. DOI: 10.1038/s43016-024-01021-x.
- [31] Bozzola M et al. (2023): [Impacts of climate change on global agri-food trade](#). Ecological Indicators. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110680.
- [32] Haasnoot M et al. (2019): [Investments under non-stationarity: economic evaluation of adaptation pathways](#). Climatic Change. DOI: 10.1007/s10584-019-02409-6.
- [33] Nguyen H (2023): [Persistent Temperature, Capital Structure, and the Long-Run Level of Output](#). International Monetary Fund. DOI: 10.5089/9798229049207.001.
- [34] Mohr S et al. (2023): [A multi-disciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe – Part 1: Event description and analysis](#). Natural Hazards and Earth System Sciences. DOI: 10.5194/nhess-23-525-2023.
- [35] Trenczek J et al. (2022): [Schäden der Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021 in Deutschland. Projektbericht Kosten durch Klimawandelfolgen](#). Prognos AG.
- [36] Juhel S et al. (2024): [Evaluating the robustness of the ARIIO model for a local disaster: 2021 flooding in Germany](#). Environmental Research: Infrastructure and Sustainability. DOI: 10.1088/2634-4505/ad8375.
- [37] Bellia M et al. (2025): [The flood protection gap: Evidence for public finances and insurance premiums](#). Risk Management and Insurance Review. DOI: 10.1111/rmir.70001.



- [38] Polasky S et al. (2021): [Discounting and Global Environmental Change](#). Annual Review of Environment and Resources. DOI: 10.1146/annurev-environ-020420-042100.
- [39] Rennert K et al. (2022): [Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂](#). Nature. DOI: 10.1038/s41586-022-05224-9.
- [40] Dell M et al. (2012): [Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century](#). American Economic Journal: Macroeconomics. DOI: 10.1257/mac.4.3.66.
- [41] Dong J et al. (2026): [Weather, climate, and economic growth: A dynamic panel analysis using global subnational data](#). Energy Economics. DOI: 10.1016/j.eneco.2026.109411.
- [42] Newell RG et al. (2021): [The GDP-Temperature relationship: Implications for climate change damages](#). Journal of Environmental Economics and Management. DOI: 10.1016/j.jeem.2021.102445.
- [43] Strulik H et al. (2018): [Natural Disasters and Macroeconomic Performance](#). Environmental and Resource Economics. DOI: 10.1007/s10640-018-0239-7.
- [44] Bachner G et al. (2019): [How does climate change adaptation affect public budgets? Development of an assessment framework and a demonstration for Austria](#). Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. DOI: 10.1007/s11027-019-9842-3.
- [45] Bressler RD (2021): [The mortality cost of carbon](#). Nature Communications. DOI: 10.1038/s41467-021-24487-w.
- [46] Bastien-Olvera BA et al. (2023): [Unequal climate impacts on global values of natural capital](#). Nature. DOI: 10.1038/s41586-023-06769-z.
- [47] Druckenmiller H (2022): [Accounting for ecosystem service values in climate policy](#). Nature Climate Change. DOI: 10.1038/s41558-022-01362-0.
- [48] Lemoine D (2020): [The Climate Risk Premium: How Uncertainty Affects the Social Cost of Carbon](#). Journal of the Association of Environmental and Resource Economists. DOI: 10.1086/710667.
- [49] Anthoff D et al. (2019): [Inequality and the Social Cost of Carbon](#). Journal of the Association of Environmental and Resource Economists. DOI: 10.1086/701900.
- [50] Auffhammer M (2018): [Quantifying Economic Damages from Climate Change](#). Journal of Economic Perspectives. DOI: 10.1257/jep.32.4.33.
- [51] Moore FC et al. (2024): [Synthesis of evidence yields high social cost of carbon due to structural model variation and uncertainties](#). Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: 10.1073/pnas.2410733121.
- [52] Martinich J et al. (2019): [Climate damages and adaptation potential across diverse sectors of the United States](#). Nature Climate Change. DOI: 10.1038/s41558-019-0444-6.
- [53] Neumann JE et al. (2020): [Climate Damage Functions for Estimating the Economic Impacts of Climate Change in the United States](#). Review of Environmental Economics and Policy. DOI: 10.1093/reep/rez021.
- [54] Wang BW et al. (2025): [Quantifying indirect economic losses from extreme events to inform global and local adaptation strategies](#). Advances in Climate Change Research. DOI: 10.1016/j.accr.2025.07.001.
- [55] Knittel N et al. (2020): [A global analysis of heat-related labour productivity losses under climate change—implications for Germany’s foreign trade](#). Climatic Change. DOI: 10.1007/s10584-020-02661-1.
- [56] Ciscar JC et al. (2011): [Physical and economic consequences of climate change in Europe](#). Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: 10.1073/pnas.1011612108.
- [57] Barrage L et al. (2024): [Policies, projections, and the social cost of carbon: Results from the DICE-2023 model](#). Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: 10.1073/pnas.2312030121.
- [58] Howard PH et al. (2025): [Methodology Matters: A Careful Meta-Analysis of Climate Damages](#). Environmental and Resource Economics. DOI: 10.1007/s10640-025-01016-7.



- [59] Tol RSJ (2024): [A meta-analysis of the total economic impact of climate change](#). Energy Policy. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113922.
- [60] Tol RSJ (2025): [Meta-emulation: An application to the social cost of carbon](#). Energy Economics. DOI: 10.1016/j.eneco.2025.109026.
- [61] Burke M et al. (2015): [Global non-linear effect of temperature on economic production](#). Nature. DOI: 10.1038/nature15725.
Eine separate Webseite zeigt detailliert die Ergebnisse für alle Länder der Welt
- [62] Mohaddes K et al. (2025): [Rising temperatures, melting incomes: Country-specific macroeconomic effects of climate scenarios](#). PLOS Climate. DOI: 10.1371/journal.pclm.0000621.
- [63] Linsenmeier M et al. (2026): [Economic specialization and heterogeneous temperature-economy relationships suggest net costs of climate change in Europe](#). Nature Communications. DOI: 10.1038/s41467-026-73341-4.
- [64] Bilal A et al. (2026): [The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global Versus Local Temperature](#). The Quarterly Journal of Economics. DOI: 10.1093/qje/qjag011.
- [65] Dietz S et al. (2021): [Economic impacts of tipping points in the climate system](#). Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: 10.1073/pnas.2103081118.
- [66] IPCC (2022): [Chapter 3: Mitigation pathways compatible with long-term goals](#). In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. DOI: 10.1017/9781009157926.005.
Entsprechende Werte auf Seite 300.
- [67] Hartvig AD et al. (2025): [Comparing economic impacts of net-zero transition with climate damage uncertainties using a dual-model approach](#). Environmental Research: Energy. DOI: 10.1088/2753-3751/ade5e.



fact sheet

Ansprechpartner in der Redaktion

Hendrik Boldt

Redakteur für Soziales und Geisteswissenschaften

Telefon +49 221 8888 25-124

E-Mail redaktion@sciencemediacenter.de

Disclaimer

Dieses Fact Sheet wird herausgegeben vom Science Media Center Germany. Es bietet Hintergrundinformationen zu wissenschaftlichen Themen, die in den Schlagzeilen deutschsprachiger Medien sind, und soll Journalisten als Recherchehilfe dienen.

SMC-Fact Sheets verstehen sich nicht als letztes Wort zu einem Thema, sondern als eine Zusammenfassung des aktuell verfügbaren Wissens und als ein Hinweis auf Quellen und weiterführende Informationen.

Dieses Fact Sheet wurde von entsprechenden Fachleuten aus der Wissenschaft auf Korrektheit geprüft.

Sie haben Fragen zu diesem Fact Sheet (z. B. nach Primärquellen für einzelne Informationen) oder wünschen Informationen zu anderen Angeboten des Science Media Center Germany? Dann schicken Sie uns gerne eine E-Mail an redaktion@sciencemediacenter.de oder rufen Sie uns an unter +49 221 8888 25-0.

Impressum

Die Science Media Center Germany gGmbH (SMC) liefert Medienschaffenden schnellen Zugang zu Stellungnahmen und Bewertungen von Experten aus der Wissenschaft – vor allem dann, wenn neuartige, ambivalente oder umstrittene Erkenntnisse aus der Wissenschaft Schlagzeilen machen oder wissenschaftliches Wissen helfen kann, aktuelle Ereignisse einzuordnen. Die Gründung geht auf eine Initiative der Wissenschafts-Pressokonferenz e.V. zurück und wurde möglich durch eine Förderzusage der Klaus Tschira Stiftung gGmbH.

Nähere Informationen: www.sciencemediacenter.de

Diensteanbieter im Sinne MStV/TMG

Science Media Center Germany gGmbH
Schloss-Wolfsbrunnenweg 33
69118 Heidelberg
Amtsgericht Mannheim
HRB 335493

Redaktionssitz

Science Media Center Germany gGmbH
Rosenstr. 42-44
50678 Köln

Vertretungsberechtigter Geschäftsführer

Volker Stollorz

Verantwortlich für das redaktionelle Angebot (Webmaster) im Sinne des § 18 Abs. 2 MStV

Volker Stollorz



science
media center
germany