

Stöver, Britta; Reuschel, Saskia; Wolter, Marc Ingo; Daßler, Jannik; Bernardt, Florian

Research Report

Die Kosten des Klimawandels für Deutschland 2025-2050: Aus den Arbeiten zur Basisprojektion des INFORGE- Modells 2025

GWS Research Report, No. 2025/1

Provided in Cooperation with:

GWS - Institute of Economic Structures Research, Osnabrück

Suggested Citation: Stöver, Britta; Reuschel, Saskia; Wolter, Marc Ingo; Daßler, Jannik; Bernardt, Florian (2025) : Die Kosten des Klimawandels für Deutschland 2025-2050: Aus den Arbeiten zur Basisprojektion des INFORGE-Modells 2025, GWS Research Report, No. 2025/1, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS), Osnabrück

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/318484>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

GWS Research Report 2025/1

Die Kosten des Klimawandels für Deutschland 2025–2050

Aus den Arbeiten zur Basisprojektion des
INFORGE-Modells 2025

Britta Stöver

Saskia Reuschel

Marc Ingo Wolter

Jannik Daßler

Florian Bernardt

Impressum

Autor:innen

Dr. Britta Stöver

Tel: +49 541 40933-250, E-Mail: stoever@gws-os.com

Saskia Reuschel

Tel: +49 541 40933-283, E-Mail: reuschel@gws-os.com

Dr. Marc Ingo Wolter

Tel: +49 541 40933-150, E-Mail: wolter@gws-os.com

Jannik Daßler

Tel: +49 541 40933-263, E-Mail: dassler@gws-os.com

Florian Bernardt

Tel: +49 541 40933-150, E-Mail: bernhardt@gws-os.com

Titel

Die Kosten des Klimawandels für Deutschland 2025–2050 – aus den Arbeiten zur Basisprojektion des INFORGE-Modells 2025

Veröffentlichungsdatum

© GWS mbH Osnabrück, April 2025

Lektorat

Inka Peters

Haftungsausschluss

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

Herausgeber

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

Inhaltsverzeichnis

1	Klimafolgen und Klimafolgenanpassung	1
2	Klimafolgen	1
2.1	Wetter, Extremereignisse und Klimawandel	4
2.2	Die Annahmen zu den Effekten des Klimawandels	9
2.3	Kosten des Klimawandels im Überblick	14
3	Massnahmen zur Klimafolgenanpassung	16
3.1	Annahmen zur Klimafolgenanpassung im Einzelnen	16
3.2	Wirkungen der Klimafolgenanpassung	18
4	Literatur	19

1 Klimafolgen und Klimafolgenanpassung

1| Der Klimawandel ist da. Insbesondere Europa ist viel stärker von den Folgen betroffen als bisher gedacht: Die Temperaturen steigen schneller als im globalen Durchschnitt und brechen viele vormals langfristige klimatische Rekorde. Auch die Zahl und Intensität von Extremwetterereignissen wie Hitzewellen, Dürre, Starkregen, Sturmfluten und Hochwasser nimmt zu (EEA 2024). Der Klimawandel wird aller Voraussicht nach auch noch stärker werden, als wir ihn in den vergangenen Jahren wahrgenommen haben und die Klimafolgen nehmen für Beschäftigung und Wertschöpfung weiter zu. Gleichzeitig ist nicht zu erwarten, dass es keine Gegenmaßnahmen – also Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung – geben wird. Sie werden entweder nachsorgend sein, indem Gebäude und Infrastrukturen nach Ereignissen wie jenen im Ahrtal 2021 repariert oder neu aufgebaut werden, sie können aber auch vorbeugend sein.

2| Das stellt die Erarbeitung von ökonomischen Projektionen vor nicht unerhebliche Herausforderungen: Die Ereignisse sind historisch gesehen einerseits diskretionär, also an bestimmte Zeiten gebunden, andererseits aber auch kontinuierlich durch z. B. graduelle Erwärmung und zunehmende Verschiebung des Regens in den Winter. Ferner gibt das historische Datenmaterial keine Möglichkeit der Attribution: Wieviel ökonomischer Wandel der Vergangenheit ist dem Konglomerat an vor- und nachsorgenden Maßnahmen zuzuschreiben? Und schon gar nicht wird greifbar, welche Dynamiken sich ergeben.

3| Also muss das Empirische durch das Plausible ersetzt werden. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sind die „Kosten durch Klimawandelfolgen“ (Trenczek et al. 2022a) gesammelt worden. Die Ergebnisse werden zur Plausibilisierung zukünftiger Ergebnisse herangezogen.

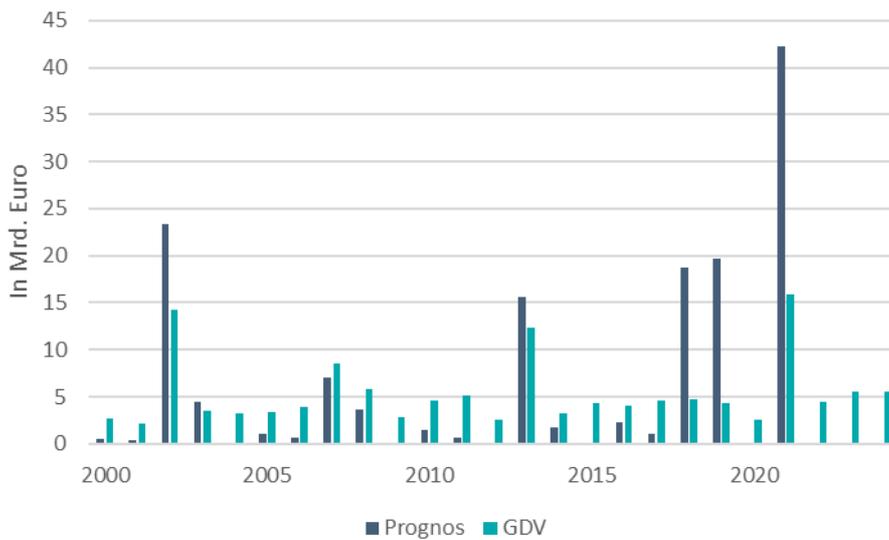
Im Folgenden werden die Annahmen für die INFORGE-Basisprojektion dargelegt. Diese werden jährlich überprüft und ggf. angepasst. Stand der Arbeiten ist März 2023.

2 Klimafolgen

Die in Zukunft auftretenden Klimaschäden sind ungewiss. Im Rahmen eines BMWK-Projektes hat die Prognos AG die „jährlichen extremwetterbezogenen Schäden aus erfassten Ereignissen über 100 Mio. € in Deutschland im Zeitraum 2000 bis 2021“ (Trenczek et al. 2022a, S. 12) zusammengetragen bzw. selbst berechnet.

Die Zeitreihe von Prognos wurde mittels der Daten des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV 2023) ergänzt. Dazu wurden erst die Zahlen beider Datenquellen verglichen (siehe Abbildung 1) und aus dem kumulierten Vergleich ein Hebesatz errechnet. Für die Jahre 2000 bis 2021 fallen die Prognos-Zahlen um 38 % höher aus als jene des GDVs. Letzterer erfasst aber nur versicherte Schäden. Die Korrelation beider Zeitreihen liegt bei 83 %.

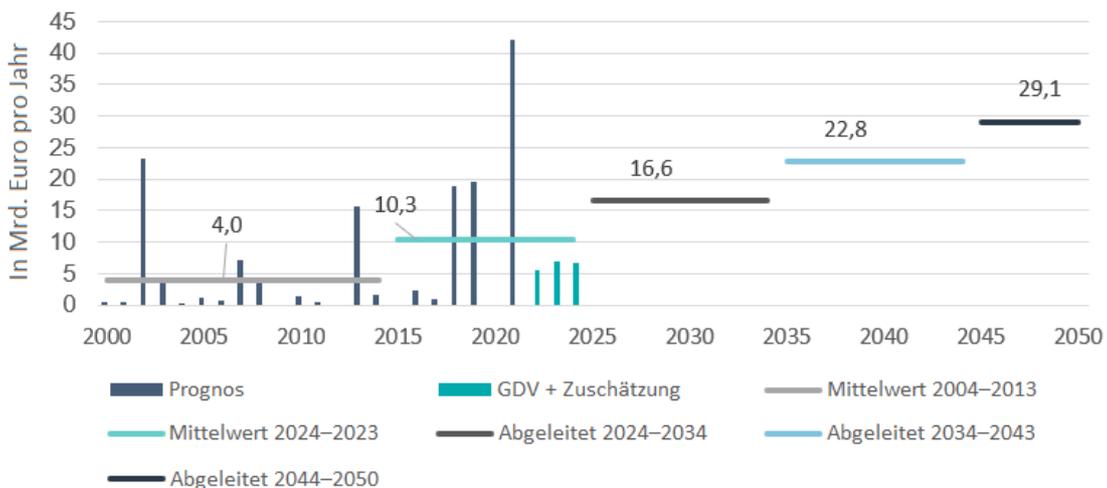
Abbildung 1: Prognos und GDV im Vergleich (Stand: 2025)



Quelle: Trenczek et al. 2022a; GDV 2023; eigene Darstellung

Abbildung 2 zeigt einen immensen Anstieg der jährlichen Klimaschäden, wenn auf annähernd 10-Jahres-Zeiträume abgestellt wird: In den Jahren 2015 bis 2024 fielen die Klimaschäden pro Jahr um 6,3 Mrd. Euro höher aus als in den Jahren 2000 bis 2014. Wird diese Treppe in 10-Jahres-Abschnitten fortgesetzt, würden im Zeitraum 2025 bis 2034 jährliche Klimaschäden von 16,6 Mrd. Euro entstehen – für den nächsten 10-Jahres-Abschnitt 22,8 Mrd. Euro und danach 29,1 Mrd. Euro. Der noch kommende Gesamtschaden beläuft sich für die Jahre 2025 bis 2050 auf 568 Mrd. Euro. Für die Jahre 2000 bis 2024 wurden Schäden in Höhe von knapp 164 Mrd. Euro erfasst.

Abbildung 2: Erfasste Klimaschäden und mögliche Ableitungen daraus, Stand 2025



Quelle: Trenczek et al. 2022a; GDV 2023; eigene Berechnung und Darstellung

Würde der Durchschnitt der Vergangenheit (2000–2024) von 6,5 Mrd. Euro pro Jahr auch für die Folgejahre unterstellt werden, läge der Schaden bei rund 170 Mrd. Euro für die kommenden 26 Jahre bis 2050.

Es ist davon auszugehen, dass die in der Vergangenheit erfassbaren Ereignisse auch zum großen Teil in Form von Beseitigungsmaßnahmen Eingang in die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen gefunden haben. Wo in diesem Buchungssystem und in welchen Jahren, ist allerdings nicht bekannt. Eine Basisprojektion schreibt diese „embedded“ Schäden dennoch weiter fort. Die Steigerungen, die sich in der Vergangenheit andeuten, aber nicht, da keine explizite Kenntlichmachung und damit Adressierung in empirischen Arbeiten möglich ist. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Regressionsanalysen diese Sonderereignisse bewusst aus der Berechnung von Verhaltensparametern herausnehmen.

Es bleiben also noch ca. 398 Mrd. Euro für die kommenden 26 Jahre bis 2050, die bisher nicht bei einer Trendfortschreibung der Vergangenheit berücksichtigt werden, falls die „Treppen“ in der Abbildung 2 für plausibel gehalten werden.

Es gibt nun mehrere Gründe, warum diese „Treppe“, also der zusätzliche Anstieg zur Trendfortschreibung, unplausibel sein könnte:

- (1) Die Wetterereignisse, die zu den beiden ersten Treppenstufen führten, sind von Zufall und nicht von Klimawandel geprägt. Das kann sein, allerdings gilt der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Häufigkeit und Stärke von Extremwetterereignissen inzwischen als gesichert (IPCC 2021).
- (2) Die Erfassung ist zu ungenau, sodass die Ergebnisse unterschätzt werden. Das wird so sein, da eine genaue Erfassung von z. B. graduellen Schäden nicht möglich ist.
- (3) Die Dynamik der Treppen wird über- oder unterschätzt. Das ist sicherlich richtig. Zuletzt wurde festgestellt, dass sich Europa und auch Deutschland deutlich schneller erwärmt (C3S 2024; Kaspar et al. 2023), sodass auch Extremwetterereignisse höchstwahrscheinlich nicht-linear in Stärke und Häufigkeit zunehmen werden (EEA 2024). Die Treppe würde dann eher eine Untergrenze darstellen bzw. die Zuwächse würden noch zu niedrig ausfallen.

Wir wählen daher folgendes Vorgehen: Wir treffen konkrete Annahmen zu den mutmaßlich am stärksten ökonomisch betroffenen Bereichen nach der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2022, die sich mit versicherten Schäden in Verbindung bringen lassen. Diese werden in das Modell eingesetzt. Die Ergebnisse der Modellrechnung „messen“ den mit den Vorgaben verbundenen Schaden. Dieser wird dann über die Jahre 2025 bis 2050 kumuliert. Liegt der Gesamtschaden am preisbereinigten Bruttoinlandsprodukt über 398 Mrd. Euro, korrigieren wir die Annahmen nach unten. Unabhängig davon sind Schäden im Bereich Gesundheit, da sie nicht unter versicherte Schäden fallen und daher am Ende der historischen „Treppe“ nicht in den Schadenshöhen berücksichtigt werden. Schäden aus dem Handlungsfeld „Gesundheit“ werden daher zu den zukünftigen klimawandelbedingten Schadenssummen hinzuaddiert.

Es bleibt zu sagen, dass auch die Ableitungen aus den versicherten Schäden „wackelig“ bzw. unsicher und an viele Voraussetzungen geknüpft sind. Das liegt am Erfassungsgrad der Schäden und am Anteil der versicherten Schäden. Gerade Letzterer kann sich ändern, wenn a) die Versicherungsprämien steigen und einige Haushalte sich das nicht mehr leisten können und b) die Schäden zunehmend in Regionen auftreten, in denen es bisher nie Probleme gab und daher auch keine Versicherungen abgeschlossen wurden.

Ein Schadenskataster (wie das Umweltbundesamt es anlegt) mit einheitlichen und gleichbleibenden Erfassungsregeln ist für die Beurteilung der Lage entscheidend.

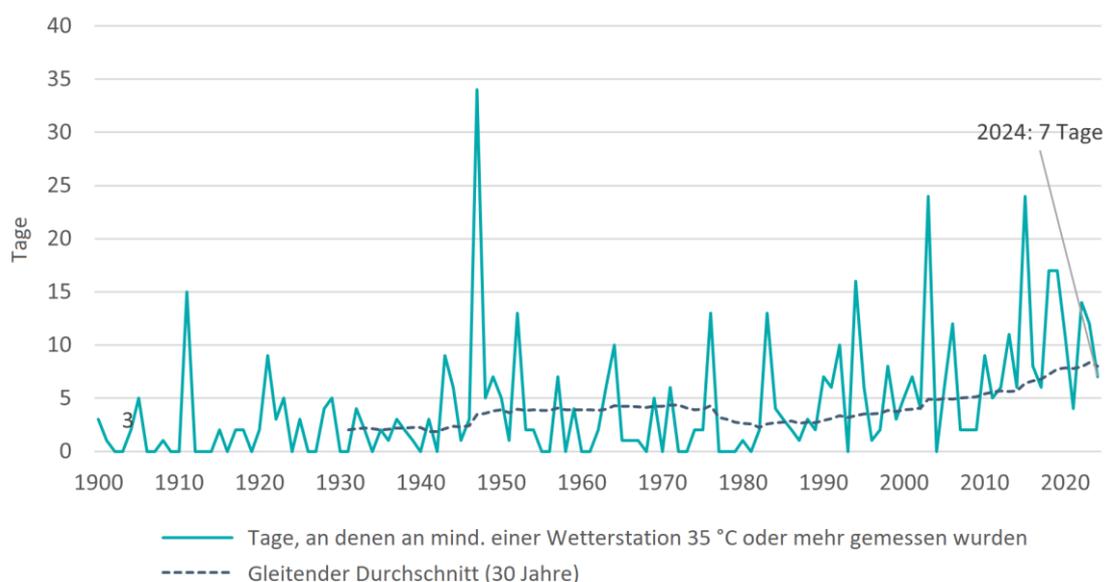
2.1 Wetter, Extremereignisse und Klimawandel

Es ist schwer, aus volkswirtschaftlicher Sicht Aussagen zu Wetter oder gar Klima zu machen. Die folgenden Abbildungen zu Temperatur, Hitzetagen, Windtagen und Regenextremen dienen hier insbesondere dazu, zu prüfen, ob die Annahmen steigender Klimafolgen weiter plausibel bleiben. Die entsprechenden Werte wurden aus der Datenbank des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bezogen. Sollte auf Basis der Indikatoren zu erkennen sein, dass die Dynamiken nicht linear sind, könnte dies darauf hinweisen, dass die obige dargestellte Plausibilisierung der linearen Zuwächse nicht stichhaltig ist und überdacht werden müsste.

1| Hitzetage

Die Zahl der Tage, an denen in mindestens einer Wetterstation in Deutschland mehr als 35 °C gemessen wurden, ist in Abbildung 3 für den Zeitraum zwischen 1900 und 2024 dargestellt. Ergänzt ist der gleitende Durchschnitt der letzten 30 Jahre. Mit insgesamt 34 Hitzetagen wurde im „Steppensommer“ 1947 der Höchstwert gemessen, wodurch der gleitende Durchschnitt in der Folgeperiode spürbar geprägt ist. Ab Mitte der 1980er Jahre steigt der gleitende Durchschnitt der Hitzetage beginnend von 2,2 Tagen wieder kontinuierlich an. Sommer mit Tagen über 35 °C bilden nicht mehr die Ausnahme, sondern die Regel. Im Jahr 2024 liegt der gleitende Durchschnitt der letzten 30 Jahre bei 8 Tagen, wobei die Jahre 2018 bis 2023 mit Ausnahme des Jahres 2021 alle zweistellige Werte aufweisen. Das Jahr 2024 war mit 7 Tagen über 35 °C etwas weniger von Hitzetagen betroffen als die zwei Jahre davor.

Abbildung 3: Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer Wetterstation in Deutschland 35 °C oder mehr gemessen wurden, 1900 bis 2024

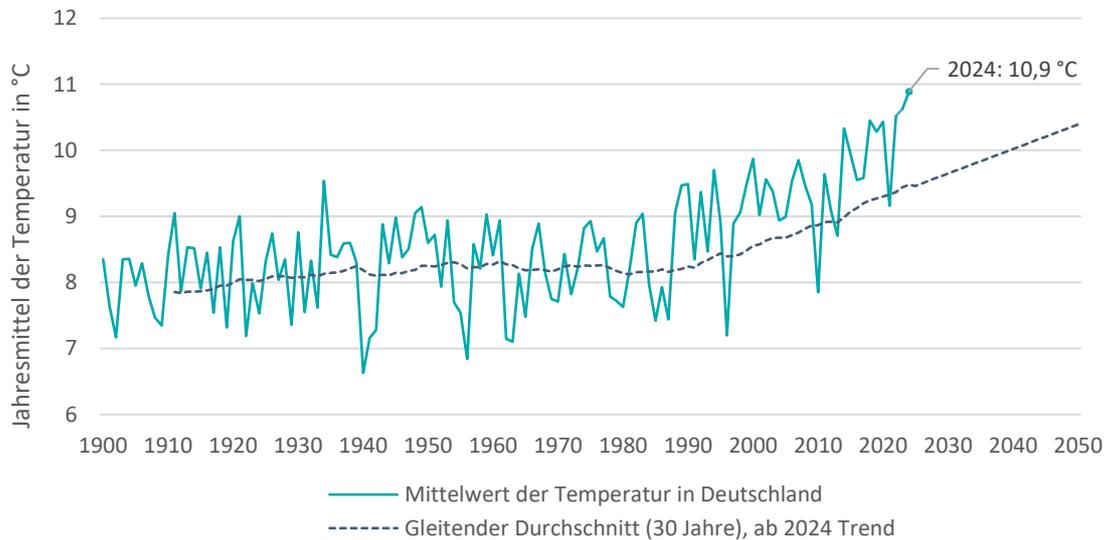


Quelle: DWD 2023b; eigene Darstellung

2| Jahresmittel der Lufttemperatur in Deutschland

Das Jahresmittel der Lufttemperatur im Zeitraum von 1900 bis 2024 ist in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: Jahresmittel der Temperatur in Deutschland von 1900 bis 2024

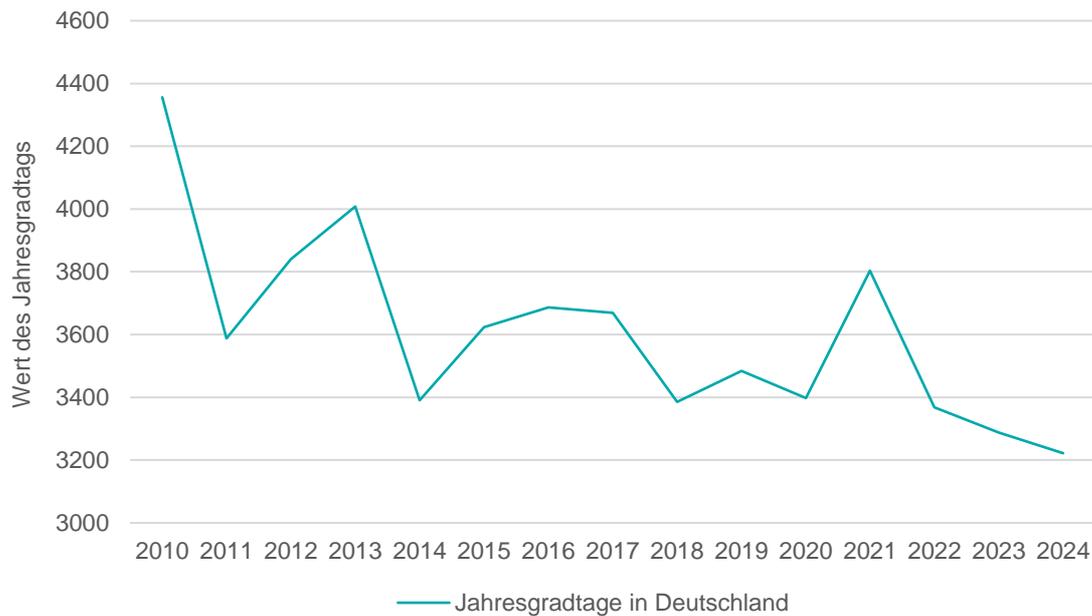


Quelle: DWD 2023b; eigene Darstellung

Hinzugefügt wurde ein gleitender Durchschnitt der letzten 30 Jahre, welcher einen Anstieg der Temperatur über den beobachteten Zeitraum erkennen lässt. Die Weltorganisation für Meteorologie empfiehlt bei solch langfristigen Auswertungen zur Erfassung von Klimaveränderungen, Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahren zu bilden. Des Weiteren wurde ein gleitender Durchschnitt um einen Trend bis zum Jahr 2050 erweitert. Dieser zeigt einen stetigen Anstieg des Jahresmittels der Temperatur. Auffällig ist, dass seit 1990 nur 4 (von 33) Jahreswerten unter dem gleitenden Durchschnitt lagen. Das PIK prognostiziert eine Jahresmitteltemperatur für den Zeitraum 2031 bis 2060 von 10,5 °C, was den abgebildeten Trend widerspiegelt.

3| Jahresgradtage

In Abbildung 5 sind die Jahresgradtage als Mittelwerte für Deutschland jeweils für die Jahre 2010 bis 2024 abgebildet. Für die Berechnung eines Jahresgradtages wurde ein Mittelwert aller monatlichen „Gradtage“ jeder Wetterstation in Deutschland gebildet und diese für das entsprechende Jahr aufsummiert. Ein Gradtag berechnet sich durch die Differenz zwischen Raumtemperatur und der Tagesmitteltemperatur (Grad Celsius). Die Raumtemperatur ist bei 20 Grad Celsius festgelegt. Es werden nur die Tage gezählt, an denen das Tagesmittel der Außentemperatur niedriger als 15 Grad Celsius liegt, da dies als Heiztag definiert ist. Ein höherer Wert der Jahresgradtage kann potenziell einem höheren jährlichen Heizenergiebedarf entsprechen.

Abbildung 5: Jahresgradtage von Deutschland im Zeitraum von 2010 bis 2024

Quelle: DWD 2023b; eigene Darstellung

In dem abgebildeten Zeitraum lässt sich eine abnehmende Tendenz der Jahresgradtag-Werte beobachten. Im Jahr 2010 lag der Wert bei 4315 und wurde seitdem nicht mehr erreicht. Allein das Jahr 2013 mit einem Wert von 3979 und 2021 mit einem Wert von 3773 stechen heraus.

4| Starkregenereignisse

Abbildung 6 zeigt, an wie vielen Tagen in einem Jahr mindestens an einer Wetterstation in Deutschland die Warnstufe „Extrem heftiger Starkregen“ gemessen wurde. Der Schwellenwert dieser Warnstufe liegt bei >40 mm Niederschlagshöhe in einer Stunde, was 40 l/m² in einer Stunde entspricht und vom Deutschen Wetterdienst definiert ist. Zu erkennen ist, dass die Beobachtungen von extremen Starkregen vor allem seit 2004 zugenommen haben und die Spitze im Jahr 2014 liegt, in dem an 23 Tagen ein Starkregen dieser Stärke beobachtet wurde. Im Zeitraum 2015 bis 2024 schwankt das Ausmaß der Tage, an denen ein Starkregen dieser Stufe beobachtet wurde. Dementsprechend wurden 2015 9 Tage mit einem heftigen Starkregen sowie 2017, 2020 und 2022 11 Tage gezählt, wohingegen 2018, 2019, 2021 und 2023 immer mindestens 15 Tage gezählt wurden. Das Jahr 2024 sticht mit 22 Tagen heraus.

Abbildung 6: Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer Wetterstation in Deutschland eine Niederschlagshöhe von 40 mm pro Stunde oder mehr gemessen wurde, 1995 bis 2024



Quelle: DWD 2023b; eigene Darstellung

5| Tage mit Bodenfeuchte <30 % nFK

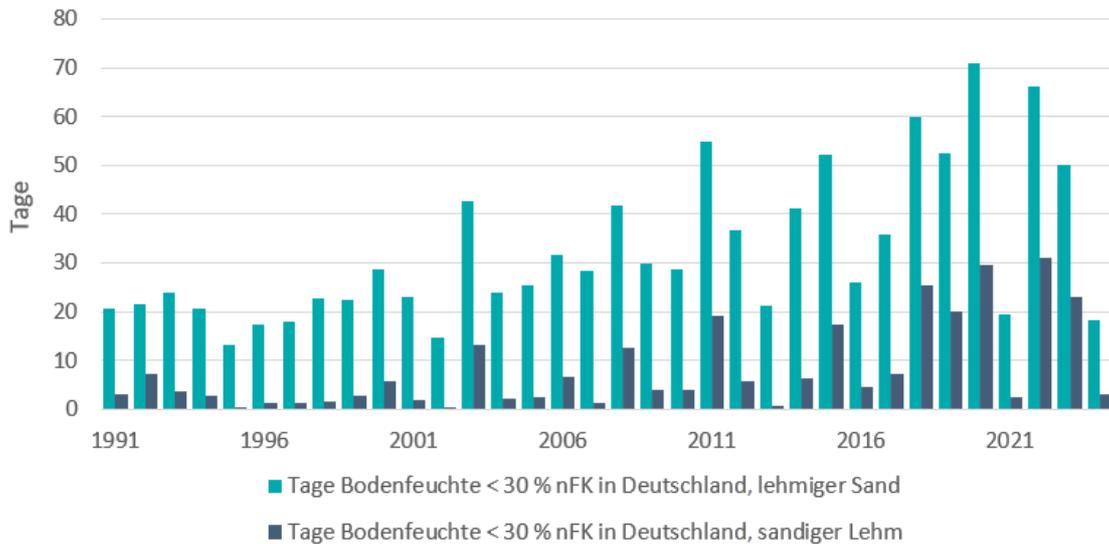
Um Trockenheit abzubilden, kann der Indikator Bodenfeuchte, welcher in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) angegeben wird, herangezogen werden. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) ist ein Begriff, der den maximalen Wassergehalt eines Bodens beschreibt, den Pflanzen effizient nutzen können. Sie stellt den Anteil des Bodenwassers dar, der von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden kann. Die nFK variiert je nach Bodentyp. Bei einer Bodenfeuchte von 30–40 % nFK nimmt die Photosynthese-Leistung und somit das Wachstum der Pflanze stark ab und wird hier als kritische Schwelle definiert.

Abbildung 7 bildet die mittlere Anzahl der Tage mit Bodenfeuchtwerten unter 30 % nFK für die Kultur Winterweizen ab. Miteinbezogen wurden nur die Monate März bis Juli, da dies die Hauptwachstumszeit des Winterweizens ist. Ein großer Einfluss auf die Bodenfeuchte hat die Art des Bodens, weshalb die Bodenfeuchte auf lehmigem Sand (leichterer Boden) sowie die Bodenfeuchte auf sandigem Lehm (schwererer Boden) dargestellt ist. Ein schwerer Boden kann mehr Wasser zwischenspeichern und somit Trockenperioden besser überbrücken.

Bei beiden Indikatoren ist zu erkennen, dass die mittlere Anzahl der Tage, an denen der kritische Schwellenwert von <30 % nFK in Deutschland unterschritten wurde, in dem betrachteten Zeitraum von 1991 bis 2024 zugenommen hat.

Da der lehmige Sandboden das Wasser weniger gut speichern kann als der sandige Lehm Boden, wird die Schwelle von <30 % nFK bei leichten Böden häufiger unterschritten als bei schwereren (vgl. DWD 2023a, Abbildung 10).

Abbildung 7: Mittlere Anzahl der Tage mit Bodenfeuchtwerten <30 % nFK auf lehmigem Sand- und sandigem Lehmboden in Deutschland, 1991 bis 2024



Quelle: DWD 2023b; eigene Darstellung

6| Zukünftige Klimaentwicklung

Klimaprojektionen, u. a. des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2023b), liefern auf Basis von Szenarien und zahlreichen Annahmen Einschätzungen zur Entwicklung des Klimas in weiter Zukunft. Den Modellrahmen gibt das World Climate Research Programme (WCRP) vor. Es liefert auch die Basis der Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Die Ergebnisse stellen keine Wettervorhersagen dar und geben keinen Aufschluss über den exakten Zeitpunkt und Ort von Extremwetterereignissen. Vielmehr lassen sich aus den Rechenergebnissen nur Tendenzen zu Extremwetterereignissen ableiten.

Das hier verwendete Modell ist kein Klimamodell und wird auch nicht direkt mit den physischen Ergebnissen aus den Klimamodellen verknüpft (vgl. Stöver et al. 2022). Vielmehr werden aus den zukünftig zu erwartenden Extremwetterereignissen Narrative zu den wirtschaftlichen Konsequenzen entwickelt und daraus Szenariogrößen abgeleitet, wodurch die Auswirkung des Klimawandels auf wirtschaftliche und sozioökonomische Größen abgeschätzt werden kann.

Nach Lange et al. (2020) nimmt eine Fläche, die jährlich Extremwetterereignissen ausgesetzt ist, bei einer globalen Erwärmung von 2 Grad weltweit um mehr als das Fünffache zu. Diese Zunahme wird vor allem von Dürren und Hitzewellen getrieben, aber auch andere Extremwetterereignisse wie Überschwemmungen, Feuer oder Zyklone tragen dazu bei. Das IPCC (2021, S. 9) stellt fest, dass die Häufigkeit von global auftretenden Hitzewellen und Dürren sehr wahrscheinlich („high confidence“) zunimmt und mit mittlerer Sicherheit („medium confidence“) die Zahl der Feuerwetter („fire weather“) in einigen Regionen aller bewohnten Kontinente sowie der Überschwemmungen an einigen Orten steigt.

Die Extremwetterereignisse, welche sich nach derzeitigem Kenntnisstand mit dem Klimawandel in Deutschland in Verbindung bringen lassen, sind Starkregen, Hochwasser,

Hitzewellen und Dürren (Trenczek et al. 2022b). Für Deutschland werden hinsichtlich der Extremwetterereignisse zukünftig folgende Trends erwartet (Brienen et al. 2020):

- Zunahme der Häufigkeit und Anstieg der Intensität von **Hitzewellen**
- Bestehende Trends zu **Niedrigwasserereignissen** verstärken sich voraussichtlich
- Deutliche Zunahme der Häufigkeit und der Intensität von **Starkregen**

Auf Basis der Klimaprojektionen für Deutschland ist also davon auszugehen, dass die Zahl der Extremwetterereignisse in Deutschland zunimmt – mit einer jeweils weiter steigenden Intensität der Schäden. Dies ist umso mehr der Fall, wenn Anpassungsmaßnahmen ausbleiben.

2.2 Die Annahmen zu den Effekten des Klimawandels

Die Auswahl der Klimawirkungen und die Identifikation der jeweiligen Eingriffsstellen im Modell beruhen auf der Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) 2021 (Kahlenborn et al. 2021). Sie liefert eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der Anpassungsstrategie in Deutschland und analysiert sowohl die unmittelbaren Risiken des Klimawandels für Deutschland als auch die Möglichkeiten, diese Risiken durch Anpassung zu adressieren. Die KWRA 2021 umfasst 13 übergeordnete Handlungsfelder, welche den fünf Clustern „Land“, „Wasser“, „Infrastruktur“, „Wirtschaft“ und „Gesundheit“ zugeordnet sind, sowie 102 einzelne Klimawirkungen. Die Klimawirkungen werden hinsichtlich des Risikos, das durch Klimawandel für die Gegenwart, die Mitte des Jahrhunderts und das Ende des Jahrhunderts entsteht, bewertet. Für die 29 größten Klimarisiken wurden Anpassungsmöglichkeiten identifiziert und abgeschätzt, wie hoch die Wirkung der Anpassungsmöglichkeiten bis zur Mitte des Jahrhunderts auf die Klimarisiken ist. Durch die Bewertung ist es möglich, die Handlungsfelder mit den höchsten Risiken zu identifizieren, die jeweiligen Anpassungsmöglichkeiten zu bewerten und so die größten Handlungserfordernisse zu identifizieren (Kahlenborn et al. 2021).

Die Auswahl der im Modell abgebildeten Klimawirkungen und die Grundannahmen zur Szenario-Erstellung sind in Wolter et al. (2023) detailliert beschrieben. Tabelle 1 stellt detailliert die ausgewählten Handlungsfelder und die zugehörigen Klimawirkungen dar.

Tabelle 1: Im Klimaszenario berücksichtigte Handlungsfelder und die jeweiligen Klimawirkungen

Handlungsfeld	Klimaereignis und Klimawirkung
Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft	Auslöser: Extremwetterereignisse (v. a. Hitze und Dürre, aber auch Starkregen und Überschwemmungen) Klimawirkung: höherer Einsatz und Bedarf von Wasser, Grundwasserqualität, Funktionsfähigkeit von Netzen und Kläranalage
Landwirtschaft	Auslöser: weltweite Extremwetterereignisse (Starkregen, Überschwemmungen, Hitze und Dürre, Stürme) Klimawirkung: Ertragsverluste in der Landwirtschaft

Wald- und Forstwirtschaft	Auslöser: weltweite Extremwetterereignisse (Starkregen, Überschwemmungen, Hitze und Dürre, Stürme) Klimawirkung: geringere Erträge in der Wald- und Forstwirtschaft
Fischerei	Auslöser: Anstieg bzw. hohe Schwankungen der Meerestemperatur Klimawirkung: Artensterben, Fischkrankheiten, Algen, verändertes Laichverhalten
Schifffahrt (Industrie und Gewerbe)	Auslöser: Hitze und Dürre Klimawirkung: geringere Schifffbarkeit, Beeinträchtigung des Warenverkehrs
Versicherungen und Rückstellungen (Industrie und Gewerbe, private Haushalte)	Auslöser: Starkregen, Hochwasser, Sturmflut, Überschwemmungen Klimawirkung: Beschädigung und Zerstörung von Gebäuden, Siedlungen und Infrastruktur
Menschliche Gesundheit	Auslöser: Hitze, Erwärmung Klimawirkung: Belastung der menschlichen Gesundheit und des Gesundheitssystems, Allergien, verminderte Produktivität

Quelle: eigene Darstellung und Auswertung auf Basis der KWRA 2021

Bei der Beschreibung der einzelnen gesetzten Annahmen für das Klimaszenario ist im Folgenden zu beachten, dass es keine Referenzstudie oder anderweitige Erkenntnisse gibt. Die Annahmen werden möglichst genau beschrieben, damit sie falsifiziert werden können. Plausible Werte zu finden ist herausfordernd. Die oben dargestellten Abwägungen zu den Schäden insgesamt werden als Justierung herangezogen, sodass die einzelnen Schadenswirkungen vor allem untereinander abgewogen werden.

1| Wasserwirtschaft: Es wird angenommen, dass der anteilige Verbrauch von Wasser für die Leistungserstellung in der Wirtschaft bis 2050 aufgrund von Hitze und Dürre zusätzlich um 10 % steigt. Zur Einordnung der Annahmen wird der volkswirtschaftliche Anteil des preisbereinigten Einsatzes von „Wasser, Dienstleistungen der Wasserversorgung“ an der preisbereinigten gesamtwirtschaftlichen Produktion auf Basis der Input-Output-Rechnungen des Statistischen Bundesamtes für die Jahre 2010 bis 2019 herangezogen. Bereits in der Vergangenheit stieg der Anteil jährlich um 2,1 % und in den kommenden 30 Jahren kommt durch die Annahme eine Wachstumssteigerung von 0,3 % pro Jahr hinzu. Diese grundsätzliche Bedarfssteigerung von Wasser deckt sich mit den Ergebnissen von Egerer et al. (2023), Bender et al. (2021) sowie Fliß et al. (2021).

Es wird allerdings nicht nur angenommen, dass mehr Leistungen der Wasserwirtschaft nachgefragt werden, sondern auch, dass die Wasserwirtschaft die Art und Weise ihrer Leistungserstellung verändert. Mit den Temperaturen steigen auch die Anforderungen an die Wasserbereitstellung und -aufbereitung (Bender et al. 2021). Um die Wasserqualität auch zukünftig gewährleisten zu können, werden Anpassungen an den Leitungen und der Wasserbereitstellung vorgenommen. Genauer nehmen der Einsatz von Strom, Baumaßnahmen und Verwaltung sowie Ingenieurleistung bis 2050 um 45 bzw. 30 % für

Letztere zu. Im Ergebnis wird also nicht nur mehr Wasser eingesetzt, sondern das auch zu höheren Herstellungspreisen. Von einem zusätzlichen Eingriff bei der Preissetzung der Wasserwirtschaft – z. B. zur Verbesserung der Ertragslage der Unternehmen der Wasserwirtschaft angesichts der knappen Ressource Wasser – wurde abgesehen.

Zur **Einordnung**: Die Wasserwirtschaft hatte 2023 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von ca. 12 Mrd. Euro (StBA 2025; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von etwa 3 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,01 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze nimmt bis 2050 langsam zu und liegt dann um ca. 3100 Stellen höher.

2| Landwirtschaft: Es ist zu erwarten, dass sich durch global auftretende unterschiedliche Extremwetterereignisse (Hitze, Dürre, Starkregen) die Erträge in der Landwirtschaft weltweit verringern (Batten et al. 2020; Peter et al. 2020; Winne & Peersman 2021). Dadurch entstehen weltweit Knappheiten, die zu Importpreissteigerungen für Agrarprodukte zwischen 3 und 37 % führen können (Peter et al. 2020; Ren et al. 2018; Wang et al. 2018). Es wird angenommen, dass die Importpreise für Landwirtschaftsprodukte bis 2050 um 20 % steigen. Zum Vergleich: Der Preisanstieg in den Jahren 1991 bis 2021 beträgt 25 % – den russischen Angriffskrieg in der Ukraine nicht beachtend. Es wird also von deutlichen Verknappungen ausgegangen. Da Nahrungsmittelprodukte in der Produktion unmittelbar nachgelagert sind, wird für importierte Nahrungsmittelprodukte ein Aufschlag von 5 % unterstellt. Er ist geringer, da Agrarrohstoffe nur zu einem geringen Teil in die Leistungserstellung der Nahrungsmittelindustrie eingehen. Arbeitseinsatz, Maschineneinsatz und andere Leistungen kommen hinzu. In Deutschland beträgt der anteilige Input von Agrarrohstoffen an der Produktion der Nahrungsmittelindustrie zwischen 20 und 25 %. Zudem wird angenommen, dass die Notwendigkeit zu importieren trotz der Preissteigerungen für importierte Produkte unverändert bleibt. Entsprechend werden die Mengenreaktionen auf die Preissteigerungen kompensiert. Die Importumsätze steigen dadurch um 10 % stärker. Ferner werden die Agrarflächen in Deutschland durch Flächenkonkurrenz zwischen Industrie, Haushalten, Bauern und Natur knapper, d. h. die Kosten für Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens werden teurer, wenn es um die Suche, Vermittlung und Verwaltung von Liegenschaften geht. Unterstellt wird eine zusätzliche Steigerung von 50 % bis 2050. Zum Vergleich: In den letzten zehn Jahren stiegen die Herstellungspreise des Grundstücks- und Wohnungswesens um 20 %.

Zur **Einordnung**: Die Landwirtschaft hatte 2024 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von ca. 70 Mrd. Euro (StBA 2025; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von fast 160 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,3 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze reduziert sich 2050 um insgesamt gut 45 000. Die deutlich höheren indirekten Wirkungen sind auf die Position der Landwirtschaft in den Wertschöpfungsketten (Rohstofflieferant) und die Folgen von Preissteigerungen auf die Konsumausgaben der privaten Haushalte zurückzuführen.

3| Forstwirtschaft: Auch in der Forstwirtschaft wird erwartet, dass die Wälder überall auf der Welt vom Klimawandel betroffen sind. Durch Stürme, Trockenheit etc. geht der Ertrag in der Forstwirtschaft global zurück und führt weltweit zu einem knapper werdenden Angebot mit steigenden Preisen. Zwar werden als Anpassungsmaßnahme bei Wiederaufforstung Umwandlungen in den Wäldern vorgenommen, wodurch sich die Angebotsmenge und Preise langfristig stabilisieren, allerdings müssen die Buchen und Fichten vorher (zu früh) geschlagen und neue klimaresistente Bäume gezogen werden. Diese Umwandlung vollzieht sich sehr langwierig, sodass Jahre bis zu einer Stabilisierung der Holz mengen und damit der Preise vergehen werden. Entsprechend werden auch hier mittelfristig Aufschläge auf die Importpreise für den Rohstoff (+30 % bis 2050) und verarbeitete Holzprodukte (+8 % bis 2050) angenommen. Wieder wird berücksichtigt, dass der Einfluss auf die verarbeiteten Produkte geringer ist, da zur Produktion weitere Kostenkomponenten hinzukommen. Die Holzwirtschaft steht wie die Landwirtschaft in Flächenkonkurrenz. Die Folge ist auch hier ein deutlicher Aufschlag auf die bezogenen Leistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens (+50 % bis 2050). Auch kommt hinzu, dass der Schädlingsbefall (Stichwort „Borkenkäfer“) vor allem bei der weit verbreiteten Baumart Fichte vermehrt aufgrund der Trockenheit im Sommer zu beobachten sein wird. Entsprechend werden viele Bestände abgeschrieben werden müssen – also nicht mehr oder nicht mehr vollumfänglich einer ökonomischen Verwertung zu Verfügung stehen. Ohne Gegenmaßnahmen werden sich die Abschreibungen daher voraussichtlich verdoppeln.

Zur **Einordnung:** Die Forstwirtschaft hatte 2024 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von ca. 7 Mrd. Euro (StBA 2025; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von ca. 30 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,1 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze liegt 2050 um insgesamt fast 3000 niedriger. Die deutlich höheren indirekten Wirkungen sind auf die Position der Forstwirtschaft in den Wertschöpfungsketten (Rohstofflieferant) zurückzuführen.

4| Fischerei: Fisch und Fischereiprodukte werden in Deutschland zum überwiegenden Teil importiert. Daher wird hier nur die international knapper werdende Ressource „Fisch“ teurer. Der Importpreis steigt bis 2050 25 % stärker, als ohne Klimawandel zu erwarten gewesen wäre.

Zur **Einordnung:** Die Fischerei hatte 2024 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von ca. 1 Mrd. Euro (StBA 2025; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen hier einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von gut 1 Mrd. Euro. Die Auswirkungen auf das BIP fallen insgesamt eher gering aus. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP um 0,003 % niedriger aus und die Anzahl der Arbeitsplätze reduziert sich 2050 um insgesamt ca. 500.

5| Schifffahrt: Die Schifffahrt wird im Sommer immer häufiger mit Niedrigwasser konfrontiert sein (Voß et al. 2021; Nilson et al. 2020; Hänsel et al. 2020), sodass die eingegangenen Lieferverpflichtungen nicht eingehalten werden können. Dies hat zur Folge, dass die Schifffahrt zunehmend Leistungen des Großhandels in Anspruch nimmt,

woraufhin sich ihre Leistungen verteuern. Es wird unterstellt, dass sich die bezogenen Großhandelsleistungen verdreifachen.

Zur **Einordnung**: Die Schifffahrt hatte 2024 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von fast 60 Mrd. Euro (StBA 2025; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von ca. 30 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,1 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze liegt 2050 um insgesamt ca. 4000 höher.

6| Gesundheit: Hitze verursacht insbesondere bei älteren Menschen gesundheitliche Belastungen (Hsiang et al. 2017), welche u. a. durch vermehrte Krankenhauseinweisungen zu höheren Gesundheitsausgaben führen (Barrage 2023; Hübler et al. 2008; Hübler 2014; Karlsson & Ziebarth 2018; Limaye et al. 2019; Schmucker 2021). Um die zusätzlichen Kosten durch Hitzetage im Gesundheitswesen abzubilden, wurden die Gesundheitsausgaben pro Kopf, Altersgruppe und Geschlecht heraufgesetzt. Für Frauen im Alter von 65 bis 80 Jahren beträgt der Zuschlag bis 2050 0,00155 %, bei Frauen älter als 80 Jahre 0,00061 %, bei Männern im Alter 65 bis 80 Jahre 0,00142 % und bei Männern älter als 80 Jahre 0,00072 %. Dadurch entstehen im Gesundheitssystem zusätzliche Ausgaben, die der Staat durch Einsparmaßnahmen für andere Leistungen kompensiert.

Hinzu kommen noch Verluste in der Jahresarbeitszeit durch allergie- und hitzestressbedingte Leistungseinbußen. Durch den klimawandelbedingten Temperaturanstieg startet die Pollensaison eher und die Pollen werden mehr und aggressiver (van Daalen et al. 2022; 2024). Zwischen 2010 und 2019 hat die Zahl der von Heuschnupfen Betroffenen um 19 % zugenommen (Holstiege et al. 2021; Gutowska-Ślesik et al. 2023). Wird dieser Trend linear fortgesetzt, sind bis 2050 ca. 10 % der Bevölkerung von Heuschnupfen betroffen, wovon ca. 4 Mio. Arbeitnehmer:innen sind. Es wird unterstellt, dass nur 25 % der hinzugekommenen Allergiker:innen dem Klimawandel ursächlich zugeordnet werden können – die restlichen verteilen sich auf andere Auslöser wie z. B. Lebenswandel, Luftverschmutzung oder sterile, städtische Umgebung (Edwards-Salmon et al. 2022). Die Arbeitsleistung von unbehandelten Allergiker:innen reduziert sich um 20 bis 35 % (Zuberbier et al. 2014). Unter der Annahme der unteren Grenze von 20 % bedeutet dies für 2050 einen Verlust an fast 200 Mio. Arbeitsstunden, sodass die Arbeitszeit um 0,4 % niedriger ausfällt.

Des Weiteren führt Hitze zu einer starken Belastung bei 35 % der im Freien Beschäftigten und bei 20 % der in Innenräumen Beschäftigten, was bei mehr als 73 % der Betroffenen zu Produktivitätsverlusten führt (Dehl et al. 2024). Unter der Annahme der hitzebedingten Reduktion der Produktivität um 35 % (Zander et al. 2015) bei knapp 10 Mio. betroffenen Beschäftigten an durchschnittlich acht Tagen (RCP 4.5 vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklung) im Jahr, verringert sich die Jahresarbeitszeit 2050 um 0,7 %. Dies deckt sich mit Einschätzungen von Dasgupta et al. (2021).

Zur **Einordnung**: Das Gesundheitswesen hatte 2024 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von ca. 340 Mrd. Euro und die geleisteten Arbeitsstunden der Arbeitnehmer:innen lagen bei 55 Mio. (StBA 2025; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen und Produktivitätsverluste verursachen hier einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von 240 Mrd. Euro. Das BIP fällt

im Jahr 2050 preisbereinigt um 0,5 % niedriger aus. Infolge der geringeren Arbeitsproduktivität werden 2050 fast 270 000 Personen mehr benötigt.

7| Versicherungen und Rückstellungen: Die Volkswirtschaft insgesamt bildet Rücklagen, um die kommenden Schäden zu kompensieren. Diese werden dem Wirtschaftskreislauf entzogen. Damit dies auch buchungstechnisch erfolgen kann, erhöht die Versicherungswirtschaft ihre Abschreibungen bis zum Jahr 2050 um 60 %, wodurch die Abschreibungen im Jahr 2050 um fast 3 Mrd. Euro höher liegen. Das Grundstücks- und Wohnungswesen muss nun ebenfalls häufiger Abschreibungen hinnehmen, welche bis 2050 um 3 % steigen. Dies ist auch als eine Reduktion der Lebensdauer aller Gebäude um zwei Jahre interpretierbar. Ferner legen die privaten Haushalte kumuliert fast 40 Mrd. Euro zurück, um auf Gebäudeschäden vorbereitet zu sein. Schließlich erhöhen auch die Unternehmen ihre Abschreibungen bis 2050 um 0,3 %.

Zur **Einordnung:** Höhere Versicherungsprämien, Rückstellungen und Rücklagen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von 230 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,5 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze reduziert sich 2050 um insgesamt ca. 56 000.

2.3 Kosten des Klimawandels im Überblick

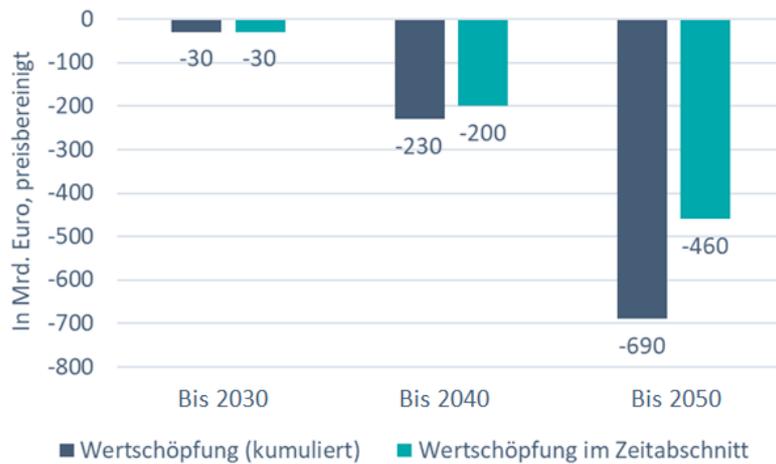
Zusammengenommen entsteht zwischen 2025 und 2050 aufsummiert ein Wertschöpfungsverlust (gemessen am preisbereinigten BIP) in Höhe von ca. 690 Mrd. Euro. Den größten Einfluss auf die Verluste nehmen, wie in Abbildung 8 zu erkennen ist, die Klimawirkungen in den Bereichen Gesundheit, Versicherung und Landwirtschaft.

Abbildung 8: Klimaschäden im Überblick (kumulierte Verluste im realen BIP von 2025 bis 2050 auf 10 gerundet)



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

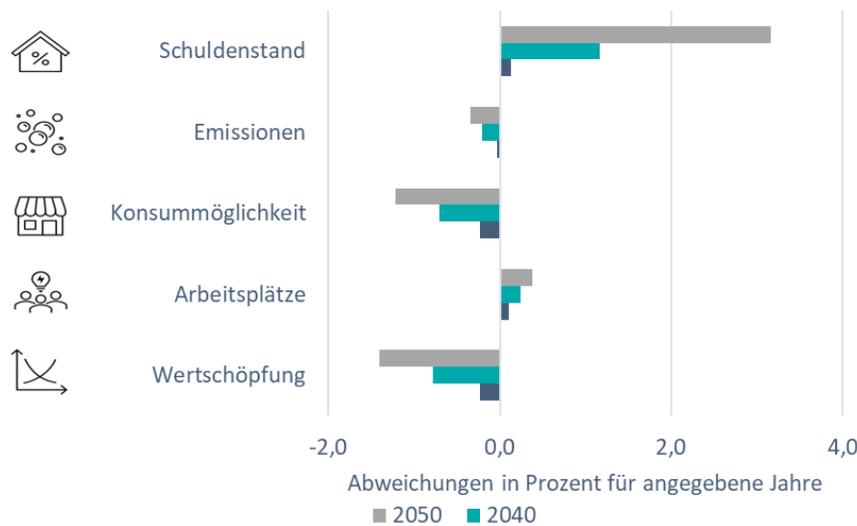
Dabei verläuft die Zunahme der Verluste nicht linear, sondern nimmt insbesondere zum Ende des Betrachtungszeitraums zu (vgl. Abbildung 9). Bis 2030 sind die Verluste noch sehr niedrig. Im Zeitraum 2031 bis 2040 reduziert sich das BIP durch die Klimakrise um insgesamt 200 Mrd. Euro und in den nachfolgenden zehn Jahren kommen weitere 460 Mrd. Euro hinzu.

Abbildung 9: Wirkung der Klimakrise auf das preisbereinigte BIP in Mrd. Euro

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Die negativen Auswirkungen entstehen zum einen direkt durch die unmittelbare Betroffenheit einer oder mehrerer Branchen von einer Klimawirkung. So wirken die Leistungseinbußen von Beschäftigten infolge von Hitze bzw. Allergien im Handlungsfeld Gesundheit direkt auf alle Branchen. Hinzu kommen indirekte und induzierte Effekte. So erfahren Branchen, die weiter nicht oder kaum direkt vom Klimawandel beeinflusst werden, die Folgen des Klimawandels trotzdem über die anderen Branchen: Dadurch, dass die privaten Haushalte und ihre Einkommen bzw. ihr Konsumverhalten über Lebensmittelpreise, Versicherungen und Wohnungsmieten indirekt angesprochen werden, ergeben sich hier viele indirekte und induzierte (Einkommens-)Effekte, die wiederum Einfluss auf die gesamte Wirtschaftsstruktur nehmen. Dies verdeutlicht auch Abbildung 10. So verringern sich auch die Konsummöglichkeiten der privaten Haushalte deutlich.

Weitere Effekte zeigen sich in geringeren Emissionen und einer zunehmenden Schuldenlast. Eine verringerte Wertschöpfung und geringerer Konsum implizieren eine Abnahme in der Produktion, wodurch weniger CO₂ emittiert wird. Gleichzeitig fallen auch die Staatseinnahmen aus Steuern geringer aus, wohingegen Unterstützungsleistungen zunehmen dürften. Diese Entwicklung führt zu einem höheren Schuldenstand.

Abbildung 10: Prozentuale Veränderungen ausgelöst durch die Klimakrise

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

3 Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung

Es ist damit zu rechnen, dass Maßnahmen ergriffen werden, um die unvermeidlichen Folgen der Klimakrise abzumildern. Diese betreffen nicht nur einzelne Handlungsfelder, sondern können auch übergreifend wirken. Zudem gibt es Maßnahmen, die Synergien mit dem Klimaschutz bilden, wie z. B. die Wiederaufforstung von Wäldern mit klimaresilienten Baumarten oder die Begrünung von Städten. Im Folgenden werden die Annahmen zur Klimaanpassung beschrieben und ihre Wirkung auf die Wertschöpfung genauer dargestellt.

3.1 Annahmen zur Klimafolgenanpassung im Einzelnen

1| Landwirtschaft: Es wird angenommen, dass die heimische Landwirtschaft durch die veranlassten Anpassungsmaßnahmen mehr produzieren kann, sodass die Hälfte der sonst unvermeidbaren Importe von Agrarrohstoffen trotz steigender Preise (+10 % bis 2050, s. o.) kompensiert werden kann. Dadurch kommt es 2050 zu einem Anstieg der nominalen Produktion um 3,9 %. Diese Verbesserung ist nicht ohne Investitionen (höheren Kapitaleinsatz) und höheren Arbeitseinsatz zu erreichen. Hierzu zählen Bewässerungssysteme, arbeitsintensivere Weisen der Produktion (z. B. Felder mit Zwischenbaumreihen) oder neue Methoden zur Verbesserung der Bodenqualität (Nährstoffe und Wasserspeicherfähigkeit). Die Maßnahmen werden so abstrahiert, dass die Verbesserung der Stückkosten und damit der Herstellungspreise aufgrund der höheren Produktionsmenge kompensiert werden. Im Ergebnis steigen die Ausrüstungen und Bauinvestitionen der Landwirtschaft um 5 % bis 2050. Der Arbeitseinsatz erhöht sich um 3 %. Es wird also zudem unterstellt, dass die Landwirtschaft kapitalintensiver wird.

2| Forstwirtschaft: Die Forstwirtschaft kann sich nicht so schnell an die Folgen des Klimawandels anpassen. Wir nehmen an, dass die Gegenmaßnahmen erst nach 2040 eine Wirkung zeigen. Die dramatisch steigenden Abschreibungen (s. o.) sinken danach bis 2050 um 5 %. Da weitere Erfolge der Gegenmaßnahmen außerhalb des Projektionszeitraums liegen, ist die Forstwirtschaft auch auf Unterstützungen zur Wiederaufforstung angewiesen. In den Jahren ab 2023 bis 2040 – also bis zu dem Zeitpunkt, ab dem eine Verbesserung eintritt – werden jährlich Unterstützungsleistungen des Staates von 100 Mio. Euro gewährt. Ferner wird angenommen, dass mit dem Waldumbau auch ein höherer Planungsbedarf und Arbeitseinsatz einhergehen. Beide nehmen bis 2040 um 5 % zu. Der Planungsbedarf drückt sich in zusätzlich bezogenen Leistungen von „Architektur- und Ingenieurbüros sowie technischer Untersuchung“ aus. Die Annahme von einer Steigerung um 5 % führt dazu, dass die zusätzlichen Kosten durch die ökonomischen Verbesserungen der Forstwirtschaft im Zuge der Förderungen kompensiert werden.

3| Gesundheit: Mit professioneller Behandlung von Allergien können ihre Negativeffekte eingedämmt und damit die Arbeitsproduktivität von Allergiker:innen aufrechterhalten werden. Bisher lässt sich nur eine geringe Anzahl an Allergiker:innen behandeln. Es wird angenommen, dass sich ihr Anteil auf 60 % erhöht. Dadurch steigt die Zahl der leistbaren Arbeitsstunden wieder an. Die Kosten der Therapie liegen bei ca. 125 Euro pro Patient:in (Zuberbier et al. 2014), sodass bis 2050 im Gesundheitssystem zusätzliche Kosten von ca. 1,7 Billionen Euro entstehen werden, was im Mittel einem jährlichen Anstieg um etwa 0,04 % entspricht. Damit es zur vermehrten Behandlung von Allergien durch Ärzt:innen kommt, finanziert der Staat mit einem Budget von 634 Mio. Euro über fünf Jahre Kampagnen und Schulungen von Ärzt:innen, um für das Thema zu sensibilisieren. Das Budget entspricht den Ausgaben zur Coronapandemie (BdSt).

Die Anpassungsmaßnahmen, welche hitzebedingte Produktivitätsverluste betreffen, fallen unter den Punkt klimaresiliente Städte. Es wird angenommen, dass durch Verschattung, Gebäudedämmung und Gebäudekühlung in Innenräumen Beschäftigte keine merkbaren Produktivitätsverluste mehr aufweisen. Die starke Hitzebelastung mit entsprechenden Arbeitszeitverlusten betrifft nur noch im Freien Beschäftigte. Dadurch können Verluste in der Jahresarbeitszeit aufgefangen werden.

3| Auflösung der Rückstellungen/Versicherungen: Die angenommenen Rückstellungen haben einen Wertschöpfungsverlust in Höhe von knapp 140 Mrd. Euro zur Folge (s. o.) – diese werden nun aufgelöst. In dem Zuge steigen die Investitionen in Bauten bis 2050 um 8 % und in Ausrüstungsgüter um 2 %. Damit fallen die zusätzlichen Investitionen in Bauten und Ausrüstungen 2050 ungefähr gleich hoch aus. Gleichzeitig müssen die Abschreibungen der Versicherungen und der Wohnungswirtschaft geringer ausfallen, da die Gebäude und Anlagen nun besser für den Klimawandel gerüstet sind.

4| Planung und Forschung: Damit die Anpassungsmaßnahmen bei den Bau- und den Anlageinvestitionen umgesetzt werden können und der Wissensstand zu den richtigen Maßnahmen wächst, wird angenommen, dass die bezogenen Planungsleistungen für das Baugewerbe und für die öffentliche Verwaltung bis 2040 um 10 % steigen und dann auf diesem höheren Niveau verbleiben. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass die Investitionen der öffentlichen Verwaltung in geistiges Eigentum (Forschung und

Entwicklung, Software, Datenbanken) deutlich zulegen. Sie steigen bis 2040 auf 2 Mrd. Euro zusätzlich an und verbleiben dann ebenfalls auf diesem Niveau. Das ist gemessen am aktuellen Niveau eine Steigerung um 50 %.

5| **Klimaresiliente Städte:** Gerade in den städtischen Räumen spielt Regenwassermanagement in Zukunft eine wichtige Rolle. Die Absorption von Regenwasser im Sinne einer Schwammstadt kann bei Starkregenereignissen schützen und Wasser für Trockenperioden zurückhalten. Im Modell wird angenommen, dass rund ein Viertel des jährlichen Niederschlags (also rund 200 l/m²) in Grünflächen (wie bspw. Parkanlagen) versickern sollte. Es wird geschätzt, dass rund 1 % der Bodenfläche als metropolitane Siedlungsfläche einzustufen ist und somit bis 2040 rund 40 Mrd. Euro für das Regenwassermanagement investiert werden müssen.

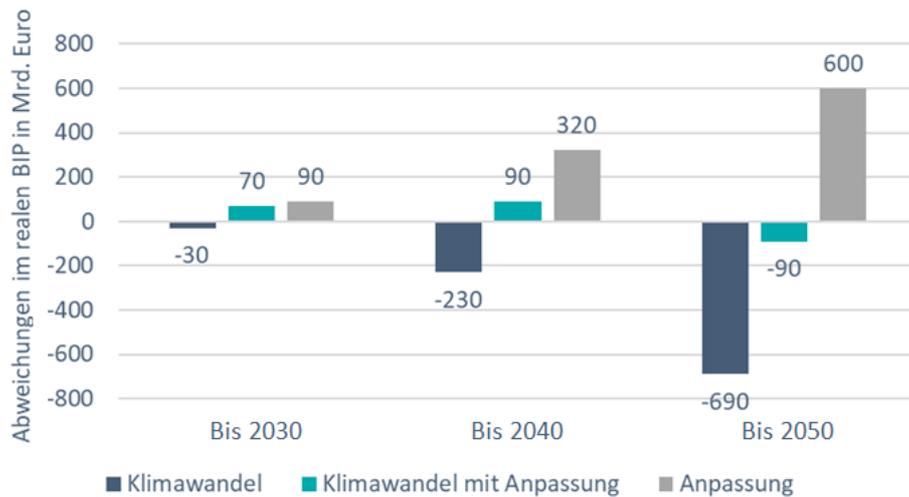
Zudem steigen die Investitionen für Dach- und Fassadenbegrünung sowie für Beschattungstechnik an Gebäuden, die die Auswirkung des Klimawandels in städtischen Räumen abmildern (Bernardt et al. 2024).

6| **Katastrophenvorsorge:** Trotz aller Gegenmaßnahmen ist davon auszugehen, dass die Gefahr von Extremwetterkatastrophen weiter zunimmt. Die Erhebungen des Technischen Hilfswerkes zeigen bereits für 2021, dass die Zahl der Einsatzstunden auf ein neues Rekordniveau von 3,7 Mio. Stunden gestiegen ist. Rund 2,6 Mio. davon wurden aufgrund des Hochwassereinsatzes im Juli 2021 und den darauffolgenden Aufräumarbeiten nötig (THW 2022). Daher wird das preisbereinigte Investitionsvolumen für Ausrüstungen, Bauten und sonstige Anlagen für die Annahme im Modell kontinuierlich gesteigert. Im Jahr 2040 liegt das Investitionsvolumen für Bevölkerungsschutz dann rund 1,5 Mrd. Euro höher als ursprünglich erwartet.

3.2 Wirkungen der Klimafolgenanpassung

Die Klimaanpassungsmaßnahmen wirken für sich genommen durch ihren investiven Charakter positiv auf die Wertschöpfung: Das reale BIP fällt bis 2050 um insgesamt 600 Mrd. Euro höher aus (graue Balken in Abbildung 11). Allerdings reichen die Summen nicht aus, um die Kosten des Klimawandels vollständig aufzufangen. Bis 2050 verbleiben noch Verluste von insgesamt 90 Mrd. Euro (türkisfarbene Balken in Abbildung 11).

Wichtig ist dabei jedoch zu beachten, dass diese zusätzlichen Schäden des unvermeidbaren Klimawandels mit den beschriebenen Maßnahmen nur in diesem Umfang reduziert werden können, wenn mit Klimaschutzmaßnahmen gleichzeitig eine stärkere Erwärmung verhindert wird. Ohne Klimaschutz würden die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels zukünftig deutlich stärker ausfallen und die Anpassungen nicht ausreichen. Zudem sind die Möglichkeiten der Anpassung endlich. Es ist also ein gefährlicher Trugschluss anzunehmen, dass es ausreichen würde, nur in Anpassungsmaßnahmen zu investieren, da die Kosten der Klimakrise dadurch fast aufgewogen würden.

Abbildung 11: Kumulierte Wirkung der Anpassungsmaßnahmen auf das reale BIP

Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

4 Literatur

- Barrage, L. (2023): Fiscal Costs of Climate Change in the United States. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mtec/cer-eth/cer-eth-dam/documents/working-papers/wp_23_380.pdf, abgerufen am 09.06.2023.
- Batten, S., Sowerbutts, R. & Tanaka, M. (2020): Climate Change: Macroeconomic Impact and Implications for Monetary Policy. DOI: 10.1007/978-3-030-38858-4_2.
- Bender, S., Groth, M. & Viktor, E. (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf die zukünftige Grundwassernutzung – Betroffenheiten, Handlungsbedarfe und Lösungsansätze. Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (Grundwasser) 26 (1), S. 61–72. DOI: 10.1007/s00767-020-00465-9.
- Bernardt, F., Rausch-Berhie, F. & Wolter, M. I. (2024): Auswirkungen von Klimaanpassung auf den Arbeitsmarkt – eine Modellierung des zukünftigen maßnahmeninduzierten Arbeitskräftebedarfs. Hg. v. Umweltbundesamt. Climate Change 12/2024. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkungen-von-klimaanpassung-auf-den>, abgerufen am 28.03.2024.
- Brienen, S., Walter, A., Brendel, C., Fleischer, C., Ganske, A., Haller, M., Helms, M., Höpp, S., Jensen, C., Jochumsen, K., Möller, J., Krähemann, S., Nilson, E., Rauthe, M., Razafimaharo, C., Rudolph, E., Rybka, H., Schade, N. & Stanley, K. (2020): Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. <https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPTBerichte/SPT101.pdf>, abgerufen am 15.06.2023. DOI: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02.

- Bund der Steuerzahler Deutschland e.V. (BdSt): Fokus Öffentlichkeitsarbeit – die teure Öffentlichkeitsarbeit der Politik. <https://www.schwarzbuch.de/fokus-oeffentlichkeitsarbeit>, abgerufen am 27.03.2025.
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) (2022): Jahresbericht 2021, Bonn. https://www.thw.de/SharedDocs/Downloads/DE/Presse/Publikationen/jahresbericht_2021.pdf, abgerufen am 04.04.2025.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) (2024): European State of the Climate 2023. <https://climate.copernicus.eu/esotc/2023>. DOI: 10.24381/bs9v-8c66.
- Dasgupta, S., van Maanen, N., Gosling, S. N., Piontek, F., Otto, C. & Schleussner, C.-F. (2021): Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study. *The Lancet Planetary Health* 5 (7), e455-e465. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00170-4.
- Dehl, T., Hildebrandt, S., Zich, K. & Nolting, H.-D. (2024): Gesundheitsreport 2024 – Analyse der Arbeitsunfähigkeiten Gesundheitsrisiko Hitze. *Arbeitswelt im Klimawandel*. DAK Gesundheit, Hamburg. <https://caas.content.dak.de/caas/v1/media/66156/data/b86b891f2075a89b7128c1147d99a130/gesundheitsreport2024-ebook.pdf>, abgerufen am 04.04.2025.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2023a): Klimaentwicklung in Deutschland – Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. <https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/klimaentwicklung-in-deutschland#klimaentwicklung-in-deutschland-seit-dem-ende-des-19-jahrhunderts>, abgerufen am 04.04.2025.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2023b): Klimaprojektionen. Deutscher Wetterdienst. https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/klimaprojektionen_node.html, abgerufen am 28.03.2024.
- Edwards-Salmon, S. E., Padmanabhan, S. L., Kuruvilla, M. & Levy, J. M. (2022): Increasing Prevalence of Allergic Disease and Its Impact on Current Practice. *Curr Otorhinolaryngol Rep* 10 (3), S. 278–284. DOI: 10.1007/s40136-022-00406-5.
- Egerer, S., Puente, A. F., Peichl, M., Rakovec, O., Samaniego, L. & Schneider, U. A. (2023): Limited potential of irrigation to prevent potato yield losses in Germany under climate change. *Agricultural Systems* 207 (103633), S. 1–13. DOI: 10.1016/j.agsy.2023.103633.
- European Environment Agency (EEA) (2024): European Climate Risk Assessment. EEA report 01/2024, Luxembourg. <https://www.eea.europa.eu/publications/european-climate-risk-assessment>, abgerufen am 10.04.2024. DOI: 10.2800/204249.
- Fleiß, R., Baumeister, C., Gudera, T., Hergesell, M., Kopp, B., Neumann, J. & Posselt, M. (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser und die Wasserversorgung in Süddeutschland. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (Grundwasser)* 26, 2021 (26), S. 33–45. DOI: 10.1007/s00767-021-00477-z.

- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) (2023): Datenservice zum Naturgefahrenreport 2023 – Tabellen, Grafiken, Karten, Berlin. naturgefahrenreport-datenservice-2023-download-data.pdf, abgerufen am 10.04.2024.
- Gutowska-Ślesik, J., Samoliński, B. & Krzych-Fałta, E. (2023): The increase in allergic conditions based on a review of literature. *Postepy dermatologii i alergologii* 40 (1), S. 1–7. DOI: 10.5114/ada.2022.119009.
- Hänsel, S., Hillebrand, G., Nilson, E., Rauthe, M., Lohrengel, A.-F., Meine, L., Herrmann, C., Brendel, C., Forbriger, M., Kirsten, J., Klose, M., Ork, J. P., Patzwahl, R. & Schade, N. (2020): Klimawirkungsanalyse für die Bundesverkehrswege – Methodik und erste Ergebnisse. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Klimawirkungsanalyse (SP-102) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. DOI: 10.5675/EXPNHS2020.2020.03.
- Holstiege, J., Akmatov, M. K., Dammertz, L., Heuer, J., Kohring, C. & Bätzing, J. (2021): Stadt-Land-Unterschiede in der Verbreitung von Heuschnupfen in Deutschland. DOI: 10.20364/VA-21.07.
- Hsiang, S., Kopp, R., Jina, A., Rising, J., Delgado, M., Mohan, S., Rasmussen, D. J., Muir-Wood, R., Wilson, P., Oppenheimer, M., Larsen, K. & Houser, T. (2017): Estimating economic damage from climate change in the United States – Economics. *Science (New York, N.Y.)* 356 (6345), S. 1362–1369. DOI: 10.1126/science.aal4369.
- Hübler, M. (2014): Sozio-ökonomische Bewertung von Gesundheitseffekten des Klimawandels in Deutschland. In: Lozán, J. L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L. & Reise, K. (Hg.): Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken – Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Aufl., S. 299–306. https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/gesundheitsrisiken/warnsignal_klima-gesundheitsrisiken-kapitel-4_13.pdf, abgerufen am 10.04.2024.
- Hübler, M., Klepper, G. & Peterson, S. (2008): Costs of climate change – the effects of rising temperatures on health and productivity in Germany. *Ecological Economics* 68 (1–2), S. 381–393. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.04.010.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hg. v. Masson-Delmotte, V. P., Zhai, A., Pirani, S. L., Connors, C., Péan, S., Berger, N., Caud, Y., Chen, L., Goldfarb, M. I., Gomis, M., Huang, K., Leitzell, E. & Lonnoy, J. B. R. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge. DOI: 10.1017/9781009157896.
- Kahlenborn, W., Porst, Luise, Voß, M., Fritsch, U., Renner, K., Zebisch, M., Wolf, M., Schönthaler, K. & Schauer, I. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Kurzfassung. Hg. v. Umweltbundesamt. Climate Change 26/2021.
- Karlsson, M. & Ziebarth, N. R. (2018): Population health effects and health-related costs of extreme temperatures: Comprehensive evidence from Germany. *Journal*

of Environmental Economics and Management 91, S. 93–117. DOI: 10.1016/j.jeem.2018.06.004.

Kaspar, F., Friedrich, K. & Imbery, F. (2023): Observed temperature trends in Germany – Current status and communication tools. *metz* 32 (4), S. 279–291. DOI: 10.1127/metz/2023/1150.

Lange, S., Volkholz, J., Geiger, T., Zhao, F., Vega, I., Veldkamp, T., Reyer, C. P. O., Warszawski, L., Huber, V., Jägermeyr, J., Schewe, J., Bresch, D. N., Büchner, M., Chang, J., Ciais, P., Dury, M., Emanuel, K., Folberth, C., Gerten, D., Gosling, S. N., Grillakis, M., Hanasaki, N., Henrot, A.-J., Hickler, T., Honda, Y., Ito, A., Khabarov, N., Koutroulis, A., Liu, W., Müller, C., Nishina, K., Ostberg, S., Müller Schmied, H., Seneviratne, S. I., Stacke, T., Steinkamp, J., Thiery, W., Wada, Y., Willner, S., Yang, H., Yoshikawa, M., Yue, C. & Frieler, K. (2020): Projecting Exposure to Extreme Climate Impact Events Across Six Event Categories and Three Spatial Scales. *Earth's future* 8 (12). DOI: 10.1029/2020EF001616.

Limaye, V. S., Max, W., Constible, J. & Knowlton, K. (2019): Estimating the Health-Related Costs of 10 Climate-Sensitive U.S. Events During 2012. *GeoHealth* 3 (9), S. 245–265. DOI: 10.1029/2019GH000202.

Nilson, E., Astor, B., Fischer, H., Fleischer, C., Haurert, G., Helms, M., Hillebrand, G., Labadz, M., Mannfeld, M., Riedel, A., Schulz, D., Bergmann, L., Kikillus, A., Patzwahl, R., Rasquin, C., Schröder, M., Seiffert, R., Stachel, H., Wachler, B., Winkel, N., Höpp, S., Razafimaharo, C. & Rauthe, M. (2020): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks. Unter Mitarbeit von Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und Deutscher Wetterdienst (DWD). Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Koblenz. DOI: 10.5675/ExpNNE2020.2020.07.

Peter, M., Guyer, M., Füssler, J., Bednar-Friedl, B., Knittel, N., Gabriel, B., Schwarze, R. & Unger, M. von (2020): Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland – Abschlussbericht: Analysen und Politikempfehlungen. Hg. v. Umweltbundesamt.

Ren, X., Weitzel, M., O'Neill, B. C., Lawrence, P., Meiyappan, P., Levis, S., Balistreri, E. J. & Dalton, M. (2018): Avoided economic impacts of climate change on agriculture: integrating a land surface model (CLM) with a global economic model (iPETS). *Climatic Change* 146 (3–4), S. 517–531. DOI: 10.1007/s10584-016-1791-1.

Schmuker, C. (2021): Klimawandel: Extremtemperaturen gefährden die Gesundheit. Hg. v. Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO). *G+G Wissenschaft* 21(3). <https://www.wido.de/publikationen-produkte/ggw-gesundheit-gesellschaft-wissenschaft/ausgabe-3-2021/>, abgerufen am 22.05.2023.

Statistisches Bundesamt (StBA) (Hg.) (2025): Statistischer Bericht – Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. 4. Vierteljahr 2024. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen->

Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/statistischer-bericht-2180120.html, zuletzt aktualisiert am 07.03.2025, abgerufen am 07.03.2025.

- Stöver, B., Flaute, M. & Reuschel, S. (2022): Forschungsstand und Literatur zu den volkswirtschaftlichen Folgekosten des Klimawandels in Deutschland – Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland. GWS Research Report 2022/01, Osnabrück. <http://papers.gws-os.com/gws-researchreport22-1.pdf>.
- Trenczek, J., Lühr, O., Eiserbeck, L. & Sandhövel, M. (2022a): Übersicht vergangener Extremweterschäden in Deutschland – Methodik und Erstellung einer Schadensübersicht. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. https://www.prognos.com/sites/default/files/2022-07/Prognos_KlimawandelfolgenDeutschland_%C3%9Cbersicht%20vergangener%20Extremwetersch%C3%A4den_AP2_1.pdf, abgerufen am 10.04.2024.
- Trenczek, J., Lühr, O., Eiserbeck, L., Sandhövel, M. & Ibens, D. (2022b): Auswahlprozess zur Detailuntersuchung eines klimawandelbezogenen Extremereignisses – Methodisches Konzept und Anwendung. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“. Hg. v. Prognos AG, Düsseldorf. https://www.prognos.com/sites/default/files/2022-07/Prognos_KlimawandelfolgenDeutschland_%20Auswahl_Untersuchungsereignisse_AP2_2.pdf.
- van Daalen, K. R., Romanello, M., Rocklöv, J., Semenza, J. C., Tonne, C., Markandya, A., Dasandi, N., Jankin, S., Achebak, H., Ballester, J., Bechara, H., Callaghan, M. W., Chambers, J., Dasgupta, S., Drummond, P., Farooq, Z., Gasparyan, O., Gonzalez-Reviriego, N., Hamilton, I., Hänninen, R., Kazmierczak, A., Kendrovski, V., Kennard, H., Kiesewetter, G., Lloyd, S. J., Lotto Batista, M., Martinez-Urtaza, J., Milà, C., Minx, J. C., Nieuwenhuijsen, M., Palamarchuk, J., Quijal-Zamorano, M., Robinson, E. J. Z., Scamman, D., Schmoll, O., Sewe, M. O., Sjödin, H., Sofiev, M., Solaraju-Murali, B., Springmann, M., Triñanes, J., Anto, J. M., Nilsson, M. & Lowe, R. (2022): The 2022 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: towards a climate resilient future. *The Lancet. Public health* 7 (11), e942-e965. DOI: 10.1016/S2468-2667(22)00197-9.
- van Daalen, K. R., Tonne, C., Semenza, J. C., Rocklöv, J., Markandya, A., Dasandi, N., Jankin, S., Achebak, H., Ballester, J. & Bechara, H. a. o. (2024): The 2024 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change – unprecedented warming demands unprecedented action. *The Lancet Public Health*. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(24\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(24)00055-0).
- Voß, M., Kahlenborn, W., Porst, L., Dorsch, L., Nilson, E., Rudolph, E. & Lohrengel, A.-F. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur. Hg. v. Umweltbundesamt. *Climate Change* 23/2021. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_4_cluster_infrastruktur_bf_211027_0.pdf, abgerufen am 10.04.2024.

- Wang, J., Vanga, S. K., Saxena, R., Orsat, V. & Raghavan, V. (2018): Effect of Climate Change on the Yield of Cereal Crops: A Review. *Climate* 6 (2), S. 41. DOI: 10.3390/cli6020041.
- Winne, J. de & Peersman, G. (2021): The adverse consequences of global harvest and weather disruptions on economic activity. *Nature Clim Change* 11 (8), S. 665–672. DOI: 10.1038/s41558-021-01102-w.
- Wolter, M. I., Bernardt, F., Daßler, J., Reuschel, S. & Stöver, B. (2023): Klimafolgen und Anpassung – 2023. Aus den Arbeiten zur Basisprojektion des INFORGE-Modells. GWS Research Report 2023/06, Osnabrück. <https://papers.gws-os.com/gws-researchreport23-6.pdf>.
- Zander, K. K., Botzen, W. J. W., Oppermann, E., Kjellstrom, T. & Garnett, S. T. (2015): Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nature Climate Change* 5 (7), S. 647–651. DOI: 10.1038/nclimate2623.
- Zuberbier, T., Lötvall, J., Simoens, S., Subramanian, S. V. & Church, M. K. (2014): Economic burden of inadequate management of allergic diseases in the European Union: a GA(2) LEN review. *Allergy* 69 (10), S. 1275–1279. DOI: 10.1111/all.12470.