



SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

GWS RESEARCH REPORT 2023/06

Klimafolgen und Anpassung – 2023

AUS DEN ARBEITEN ZUR BASISPROJEKTION
DES INFORGE-MODELLS 2023

Marc Ingo Wolter

Florian Bernardt

Jannik Daßler

Saskia Reuschel

Britta Stöver

Impressum

AUTOR:INNEN

Florian Bernardt

Tel: +49 541 40933-285, E-Mail: bernhardt@gws-os.com

Jannik Daßler

E-Mail: daßler@gws-os.com

Saskia Reuschel

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

Dr. Britta Stöver

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

Dr. Marc Ingo Wolter

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

LEKTORAT

Inka Peters

Tel: +49 541 40933-293, E-Mail: peters@gws-os.com

TITEL

Klimafolgen und Anpassung – 2023

Aus den Arbeiten zur Basisprojektion des INFORGE-Modells

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, Juni 2023

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

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

HERAUSGEBER DER GWS RESEARCH REPORT SERIES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 2196-4262

Inhaltsverzeichnis

1	Klimafolgen und Anpassung – das Unvermeidliche sichtbar machen	5
2	Klimafolgen	5
2.1	Wetter, Extremereignisse und Klimawandel	7
2.2	Die Annahmen zu den Effekten des Klimawandels	12
2.3	Kosten des Klimawandels im Überblick	18
3	Massnahmen zur Klimafolgenanpassung	19
3.1	Generelle Überlegungen	19
3.2	Annahmen zur Klimafolgenanpassung im Einzelnen	20
3.3	Strukturwandel in Erwerbstätigkeit und Produktion aufgrund von Klimafolgen und Anpassung im Überblick	21
3.4	Aktuelle Arbeiten an Erweiterungen für Folgemodelle	22
4	Literatur	23

1 KLIMAFOLGEN UND ANPASSUNG – DAS UNVERMEIDLICHE SICHTBAR MACHEN

1| Der Klimawandel ist da. Die Folgen des Klimawandels sind inzwischen vor allem in Wetterextremen spürbar. Die Häufigkeit und Vehemenz dieser Ereignisse nehmen aller Voraussicht nach auch noch weiter zu, sodass sich der Klimawandel mehr verstärkt, als wir ihn in den vergangenen Jahren wahrgenommen haben. Dies hat weitreichende Folgen für die Beschäftigung und Wertschöpfung. Gleichzeitig ist nicht zu erwarten, dass es keine Gegenmaßnahmen geben wird. Neben Maßnahmen zum Klimaschutz werden diese aber auch immer häufiger durch Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung ergänzt werden müssen. Anpassungsmaßnahmen werden entweder nachsorgend sein – bspw. als Reparatur oder der Neuaufbau der Gebäude und Infrastrukturen nach Ereignissen wie im Ahrtal 2021 –, sie können aber auch vorbeugend sein.

2| Das stellt die Erarbeitung von ökonomischen Projektionen vor nicht unerhebliche Herausforderungen: Die Folgen der klimatischen Veränderungen in Form von Extremwetterereignissen sind historisch gesehen diskretionär, also an bestimmte Zeiten gebunden. Sie sind aber auch kontinuierlich, durch z. B. die graduelle Erwärmung und die zunehmende Verschiebung des Regens in den Winter. Ferner gibt das historische Datenmaterial kaum die Möglichkeit einer empirisch belastbaren Attribution: Wie viel des beobachtbaren ökonomischen Wandels lässt sich den Folgen des Klimawandels und seinen vor- und nachsorgenden Maßnahmen zuschreiben? Noch schwieriger ist abzuschätzen, welche Dynamiken sich aus der schwierig zu identifizierenden klimabedingten Vergangenheit für die Zukunft ergeben.

3| Also müssen die empirisch beobachtbaren Zusammenhänge für die Projektion der Klimawandelfolgen durch plausible Annahmen ergänzt bzw. ersetzt werden. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sind die historischen „Kosten durch Klimawandelfolgen“ (Trenczek et al. 2022a) gesammelt worden. Die Ergebnisse werden zur Plausibilisierung zukünftiger Ergebnisse herangezogen.

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

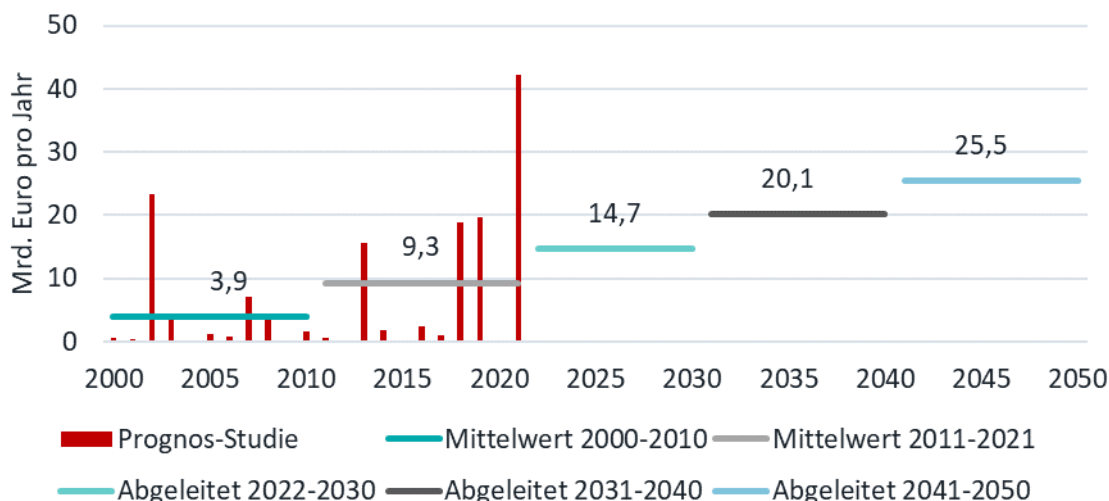
2 KLIMAFOLGEN

Das Ausmaß, d. h. die Häufigkeit und die Intensität der in Zukunft auftretenden Klimaschäden, ist ungewiss. Im Rahmen eines BMWK-Projektes „Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland“ hat die Prognos AG die jährlichen extremwetterbezogenen Schäden aus erfassten Ereignissen für Deutschland zusammengetragen und für den Zeitraum 2000 bis 2021 unter Berücksichtigung von indirekten Wirkungen auf 145 Mrd. Euro geschätzt (Trenczek et al. 2022a, S. 12).

Abbildung 1 zeigt einen deutlichen Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Extremweterschäden, wenn auf annähernd Zehnjahreszeiträume abgestellt wird. In den Jahren 2011 bis 2021 fielen die durchschnittlichen Klimaschäden um 5,4 Mrd. Euro höher aus

als in den Jahren 2000 bis 2010. Würde diese Treppe fortgesetzt, entstünden im Zeitraum 2041 bis 2050 jährliche Klimaschäden von durchschnittlich 25,5 Mrd. Euro. Insgesamt würde dies bedeuten, dass der zukünftige Gesamtschaden für den Zeitraum 2022 bis 2050 eine Höhe von fast 590 Mrd. Euro einnehmen könnte. Für die Jahre 2000 bis 2021 wurden Schäden von insgesamt 145 Mrd. Euro ermittelt.

Abbildung 1: Erfasste Klimaschäden und mögliche Ableitungen daraus



Quelle: Trenczek et al. 2022, eigene Berechnung und Darstellung

Ein Übertrag der Vergangenheit im Durchschnitt für den gesamten Zeitraum 2000–2021 auf die Folgejahre hätte einen zukünftigen Schaden von rund 200 Mrd. Euro zur Folge.

Es ist davon auszugehen, dass die in der Vergangenheit erfassbaren Ereignisse auch zum großen Teil in Form von Beseitigungsmaßnahmen und Ersatzinvestitionen Eingang in die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen gefunden haben. Der Klimawandel ist dadurch zum Teil implizit bereits in den Schätzungen von Verhaltensparametern und der Modellierung inbegriffen. Eine exakte Zurechnung innerhalb des Buchungssystems der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen sowie eine Zuordnung zu einzelnen, bestimmten Jahren lässt sich allerdings nicht vornehmen. Die Klimafolgen sind in den vergangenen Daten also nicht eindeutig identifizierbar. Eine Basisprojektion (vgl. Zika et al. 2023) schreibt diese „embedded“ Schäden dennoch weiter fort – die Steigerungen, die sich in der Vergangenheit andeuten, aber nicht, da keine explizite Kenntlichmachung und damit auch keine Adressierung in empirischen Arbeiten möglich ist. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Regressionsanalysen diese Sonderereignisse als Sondereffekte in Form von Störgrößen und Fehlertermen bewusst aus der Berechnung von Verhaltensparametern herausnehmen.

Wird der oben angenommene mögliche Gesamtschaden von 590 Mrd. Euro bis 2050 um den ermittelten Durchschnittswert von 200 Mrd. Euro reduziert, bleiben also noch ca. 400 Mrd. Euro für den Zeitraum 2022 bis 2050. Dieser verbleibende Betrag von 400 Mrd. Euro stellt Sonderentwicklungen dar, welche in regulären Verhaltensgleichungen und Wirkungsanalysen nicht berücksichtigt werden. Dies gilt natürlich nur unter der

Prämisse, dass die „Treppen“ in der Abbildung 1 als plausibel angenommen werden können.

Es gibt nun mehrere Gründe, warum diese „Treppe“ unplausibel sein könnte:

- (1) Wetterereignisse, die zu den beiden ersten Treppenstufen führten, sind von Zufall und nicht von Klimawandel geprägt. Das kann vorkommen, wird aber von einschlägigen Expert:innen als sehr unwahrscheinlich angesehen (Brienen et al. 2020; Lange et al. 2020; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2021).
- (2) Die Erfassung ist zu ungenau und die Ergebnisse werden unterschätzt. Diese Gefahr ist hoch, da eine genaue Erfassung von z. B. graduellen Schäden nicht möglich ist. Zudem können nicht monetarisierbare Schäden wie der Verlust der Artenvielfalt, Kulturgüter o. ä. nicht berücksichtigt werden.
- (3) Die Dynamik der Treppen wird über- oder unterschätzt. Auch dies trifft sicherlich zu.

Wir wählen daher das Vorgehen, konkrete Annahmen zu den nach der Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) 2021 (Kahlenborn et al. 2021) mutmaßlich am wahrscheinlichsten und stärksten ökonomisch betroffenen Bereichen zu setzen. Mit diesen gesetzten Parametern werden neue zukünftige ökonomische Verläufe im Modell berechnet, auf deren Basis die zukünftigen Schäden abgeschätzt werden können. Diese Schadenswerte werden über die Jahre 2022 bis 2050 aufsummiert. Liegt der so ermittelte Gesamtschaden am preisbereinigten Bruttoinlandsprodukt über dem von uns gesetzten Benchmark von 400 Mrd. Euro, korrigieren wir die Annahmen nach unten, sodass die Gesamtschäden aus den Modellergebnissen geringer werden.

Für die Updates der Modellrechnungen der kommenden Jahre passen wir den Benchmark an aktuelle Entwicklungen an. Dazu ergänzen wir die bisher ermittelten historischen Schadenswerte mit eigenen Datensammlungen, mit dem sich im Aufbau befindenden Klimaschadenskataster sowie Abschätzungen der Versicherungswirtschaft und beziehen diese in die Berechnung der Treppenhöhe ein. Dadurch verändert sich zum einen der „embedded“ Schaden und zum anderen die Schadensobergrenzen. Unsere Annahmen werden dann entsprechend angepasst.

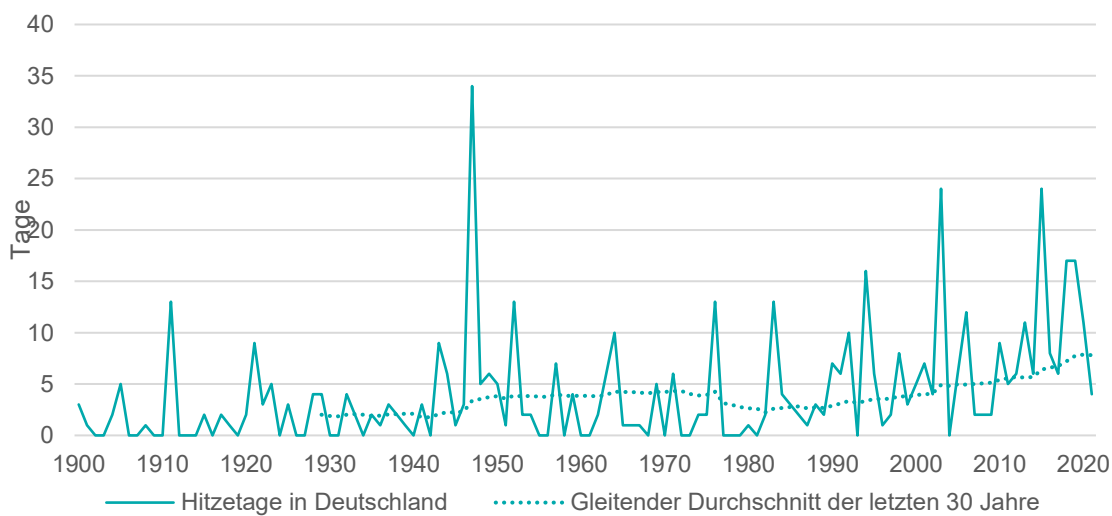
2.1 WETTER, EXTREMEREIGNISSE UND KLIMAWANDEL

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 2 für den Zeitraum zwischen 1900 und 2021 dargestellt. Ergänzt ist der gleitende Durchschnitt der letzten 30 Jahre. Der Höchstwert wurde im „Steppensommer“ 1947 mit insgesamt 34 Hitzetagen gemessen, wodurch der gleitende Durchschnitt in der Folgeperiode spürbar geprägt ist. Ab Mitte der 1980er Jahre steigt der gleitende Durchschnitt der Hitzetage beginnend von einem Niveau von 2,2 Tagen wieder kontinuierlich an. Sommer mit Tagen über 35°C bilden nicht mehr die Ausnahme, sondern die Regel. Im Jahr 2021 liegt der gleitende Durchschnitt der letzten 30 Jahre bei 7,8 Tagen, wobei die Jahre 2018 bis 2020 alle zweistellige Werte aufweisen.

Abbildung 2: Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer Wetterstation in Deutschland 35 °C oder mehr gemessen wurden, 1900 bis 2021



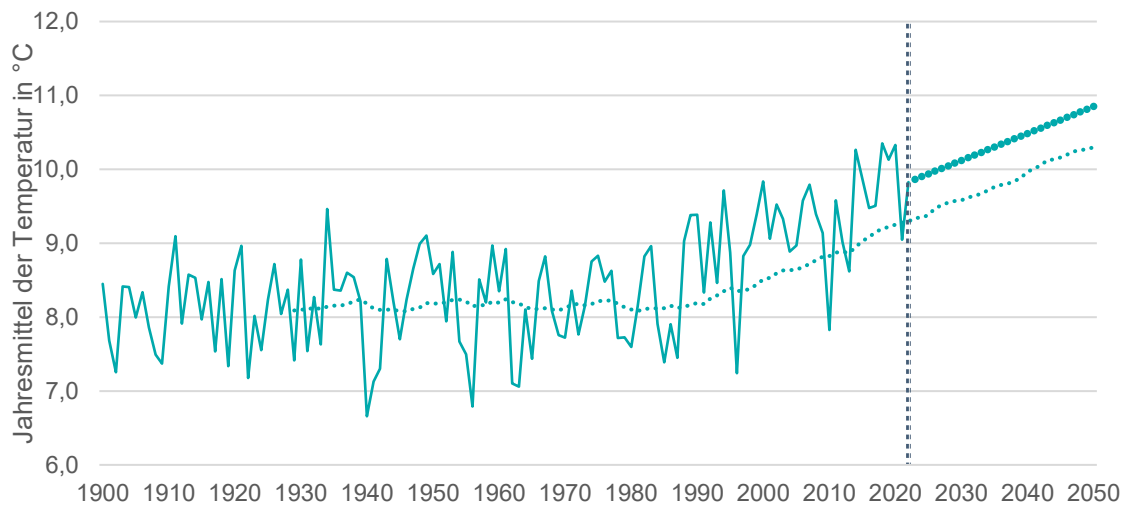
Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), eigene Darstellung

2| Jahresmittel der Lufttemperatur in Deutschland

Das Jahresmittel der Lufttemperatur im Zeitraum von 1900 bis 2021 ist in Abbildung 3 dargestellt. Zudem ist eine Trendfortschreibung bis zum Jahr 2050 abgebildet.

Das Jahresmittel setzt sich aus allen Monatsmittelwerte der verschiedenen Wetterstationen in Deutschland zusammen. Hinzugefügt wurde ein gleitender Durchschnitt der letzten 30 Jahre, welcher einen Anstieg der Temperatur über den beobachteten Zeitraum erkennen lässt. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) empfiehlt bei solch langfristigen Auswertungen zur Erfassung von Klimaveränderungen, Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahren zu bilden. Als Referenzperiode gibt die WMO den Zeitraum 1961–1990 an. Im Vergleich der Referenzperiode (1961–1990) mit der aktuellen Periode der letzten 30 Jahren (1991–2020) ist der Mittelwert der Lufttemperatur in Deutschland von 8,2 °C auf 9,3 °C gestiegen. Des Weiteren wurde der Mittelwert der Temperatur anhand der Daten der letzten 30 Jahre um einen Trend bis zum Jahr 2050 erweitert. Dieser zeigt einen stetigen Anstieg des Jahresmittels der Temperatur und endet mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10,8°C im Jahr 2050. Das PIK prognostiziert eine Jahresmitteltemperatur für den Zeitraum 2031 bis 2060 von 10,5 °C, was den abgebildeten Trend widerspiegelt.

Abbildung 3: Jahresmittel der Temperatur in Deutschland von 1900 bis 2021 und Trendfortschreibung bis 2050

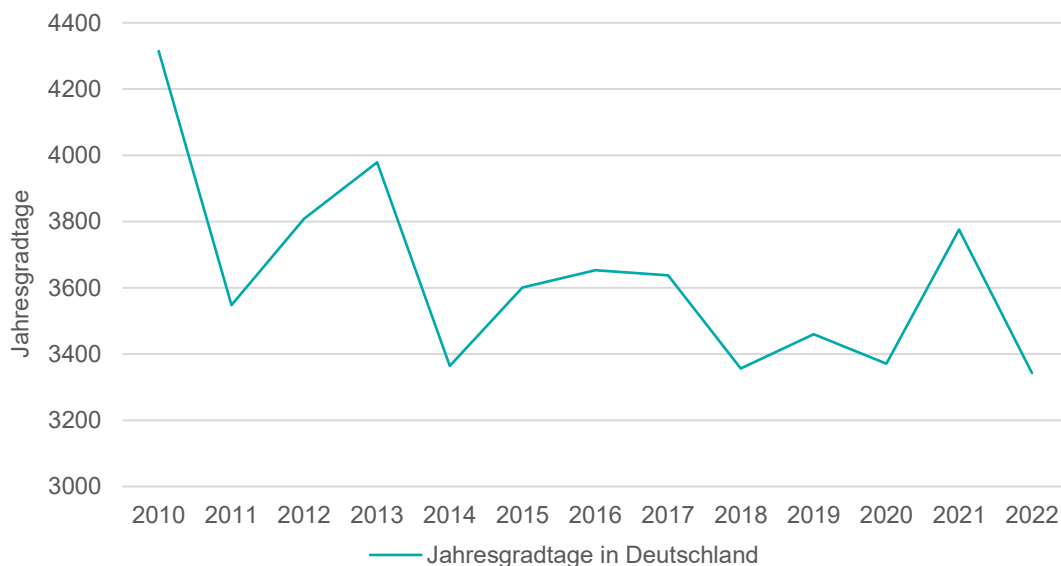


Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), eigene Darstellung

3| Jahresgradtage

In Abbildung 4 sind die Jahresgradtage als Mittel für Deutschland in dem Zeitraum von 2010 bis 2022 abgebildet. Hierfür wurde ein Mittelwert aller monatlichen „Gradtage“ jeder Wetterstation in Deutschland gebildet und diese für das entsprechende Jahr aufsummiert.

Abbildung 4: Jahresgradtage von Deutschland im Zeitraum von 2010 bis 2022



Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), eigene Darstellung

Ein Gradtag berechnet sich durch die Differenz zwischen Raumtemperatur und der Tagesmitteltemperatur (Grad Celsius). Die Raumtemperatur ist bei 20 Grad Celsius

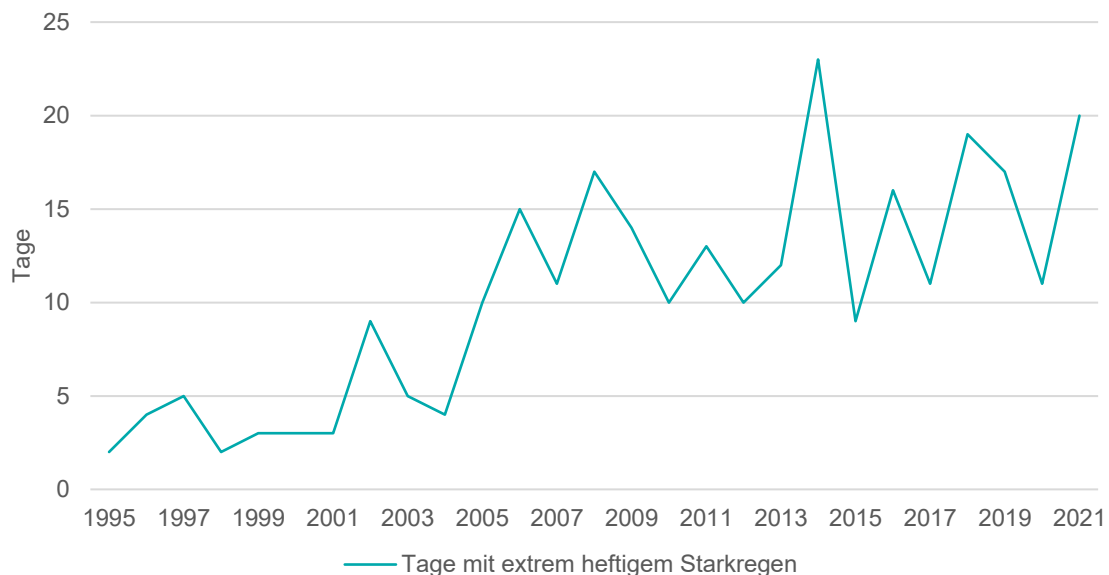
festgelegt. Es werden nur die Tage gezählt, an denen das Tagesmittel der Außentemperatur niedriger als 15 Grad Celsius liegt, da dies als Heiztag definiert ist. Ein höherer Wert der Jahresgradtage kann potenziell einem höheren jährlichen Heizenergiebedarf entsprechen.

In dem abgebildeten Zeitraum lässt sich eine abnehmende Tendenz der Jahresgradtage beobachten. Im Jahr 2010 lag der Wert des Jahresgradtag bei 4315. Dieser Wert 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 5 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 2021 schwankt das Ausmaß der Tage, an denen ein Starkregen dieser Stufe beobachtet wurde. Dementsprechend wurden 2015 neun Tage, 2017 elf und 2020 ebenfalls elf Tage mit einem heftigen Starkregen gezählt, wohingegen 2018, 2019 und 2021 immer mindestens siebzehn Tage mit einem solchen Starkregen gezählt wurden.

Abbildung 5: Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer Wetterstation in Deutschland eine Niederschlagshöhe von 40 mm pro Stunde oder mehr gemessen wurde, 1995 bis 2021



Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), 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

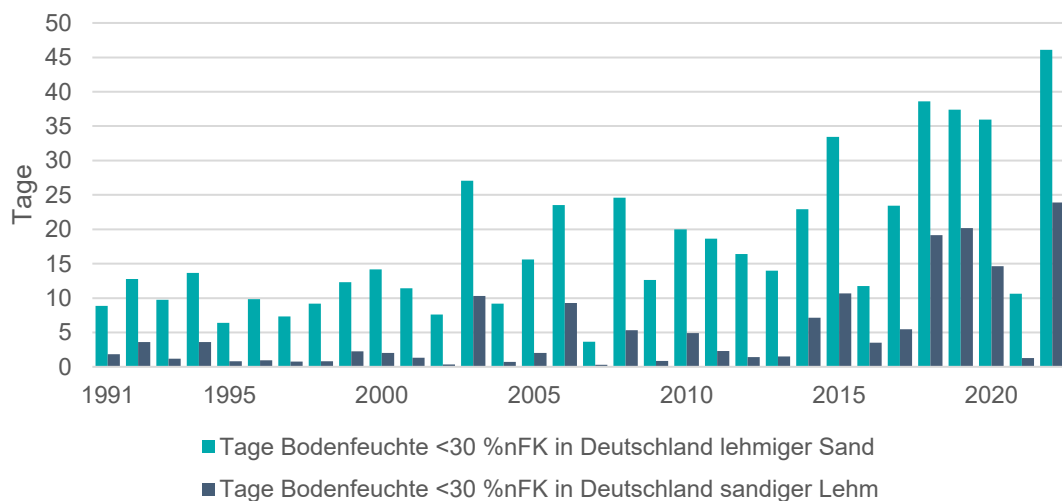
Feldkapazität (nFK) ist ein Begriff, der den maximalen Wassergehalt eines Bodens beschreibt, den Pflanzen effizient nutzen können. Sie stellt den Anteil des Bodenwassers dar, der von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden kann. Die nFK wird in Prozent ausgedrückt und variiert je nach Bodentyp. Bei einer 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 6 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) und 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 2022 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 (<https://www.umweltbundesamt.de/monitoringbericht-2015-klimaentwicklung-in#--5>).

Abbildung 6: Mittlere Anzahl der Tage mit Bodenfeuchtwerten <30 %nFK auf lehmigem Sand- und sandigem Lehm Boden in Deutschland, 1991 bis 2022



Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), eigene Darstellung

6) Zukünftige Klimaentwicklung

Klimaprojektionen, u. a. des Deutschen Wetterdienstes (Deutscher Wetterdienst (DWD) 2022), 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. 2022b). 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 die 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. In Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021, S. 9) wird festgestellt, 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 beruht 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 im Modell abgebildeten Klimawirkungen wurden nach den folgenden Kriterien ausgewählt:

- **Hohes Klimarisiko** im pessimistischen Fall bis zur Mitte des Jahrhunderts
- **Nachgelagerte Klimawirkung** (Ende der Wirkungskette)
- **Mittlerer oder hoher Grad der Gewissheit** bei der Bewertung des Risikos
- **Quantifizierbarkeit** und Abbildbarkeit im makroökonomischen Modell
- **Volkswirtschaftliche Relevanz**

Zudem wurden auf Basis weiterer Literaturstudien (Flaute et al. 2022) zusätzliche Handlungsfelder als relevant erachtet und ebenfalls für die Szenario-Erstellung herangezogen. Insgesamt ergeben sich daraus die folgende Handlungsfelder bzw. Eingriffsfaktoren: Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Wald- und Forstwirtschaft, Fischerei, Schifffahrt (Industrie und Gewerbe), menschliche Gesundheit und Versicherungen (Industrie und Gewerbe, private Haushalte). Dabei sind das Grundstücks- und Wohnungswesen und die Produktionsweisen mitbetroffen. Die ausgewählten Handlungsfelder und die zugehörigen Klimawirkungen sind in Tabelle 1 detailliert dargestellt.

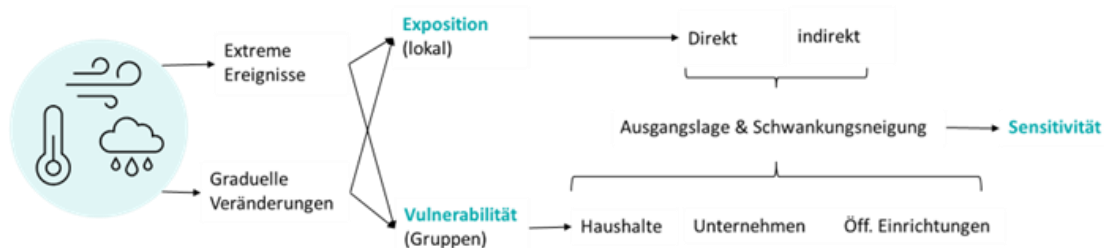
Tabelle 1: Im Klimaszenario berücksichtigte Handlungsfelder und die jeweiligen Klimawirkungen

Handlungsfeld	Klimaereignis und Klimawirkung
Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft	Auslöser: Hitze und Dürre Klimawirkung: höherer Einsatz und Bedarf von Wasser
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 der Meerestemperatur Klimawirkung: Artensterben, Fischkrankheiten, Algen
Schifffahrt (Industrie und Gewerbe)	Auslöser: Hitze und Dürre Klimawirkung: geringere Schiffbarkeit, 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 Klimawirkung: Belastung der menschlichen Gesundheit und des Gesundheitssystems

Quelle: eigene Darstellung und Auswertung auf Basis der KWRA 2021

Die unterschiedlichen Ausprägungen der Folgen des Klimawandels sind in Abbildung 7 als Überblick dargestellt und in Stöver et al. (2022a) ausgiebig erläutert.

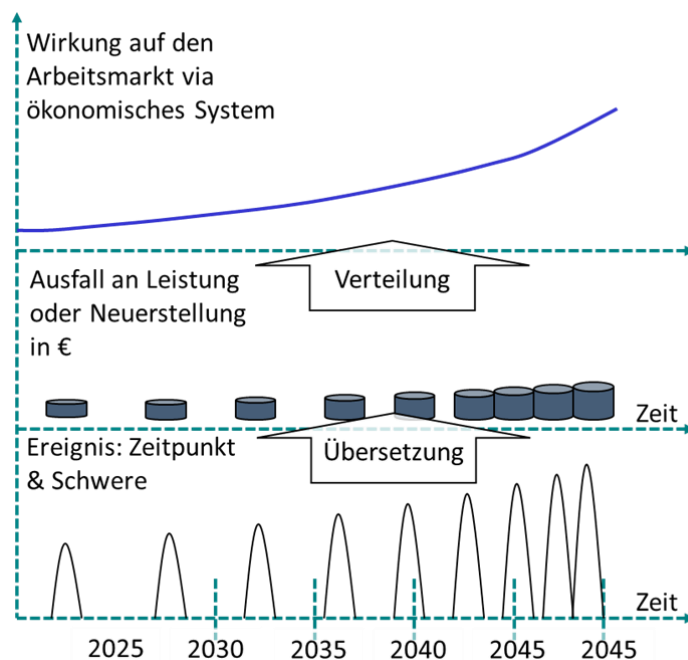
Abbildung 7: Formen des Klimawandels



Quelle: Stöver et al. (2022a)

Für die Szenariorechnungen sind die Einzelereignisse zu Pfaden umgelegt, d. h. die Folgen von Extremwetterereignissen werden in einen stetigen Verlauf übersetzt (vgl. Abbildung 8). Dieser Ansatz wird verfolgt, da es ex ante nicht möglich ist zu erahnen, wann und wo genau zukünftige Extremwetterereignisse auftreten. Auch ist festzustellen, dass die zeitpunktbezogene Erfassung eines Wetterereignisses (Beispiel Ahr-Hochwasser) nicht zielführend ist, da sich die Beseitigung der Folgen und damit die Finanzierungsnotwendigkeiten bei Großereignissen ebenso über Jahre hinziehen. Angesichts des herrschenden Fachkräftemangels ist z. B. nicht davon auszugehen, dass die zusätzlich nötigen Arbeitskräfte vor Ort rekrutiert werden können.

Abbildung 8: Übergang von diskretionären Einzelereignisse zu kontinuierlichen Pfaden im Modell



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Wie bereits geschildert kann unterstellt werden, dass die Häufigkeit der Ereignisse zunimmt und gleichzeitig die Intensität der Ereignisse steigt. D. h. Ereignisse in

Zusammenhang mit Hitze, Sturm und Wasser werden voraussichtlich häufiger (von Jahrhunderthochwasser zu 50-Jahre-Hochwasser) und intensiver.

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 % zusätzlich 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 steigt der Anteil jährlich um 2,1 %. In den kommenden 30 Jahren kommt durch die Annahme eine Wachstumssteigerung von 0,3 % pro Jahr hinzu. Es werden allerdings nicht nur mehr Leistungen der Wasserwirtschaft eingesetzt, sondern auch angenommen, dass die Wasserwirtschaft ihre Leistungserstellung, also ihre Produktionsweise, selbst deutlich verändert. Der Einsatz von Strom, Baumaßnahmen und Verwaltung sowie Ingenieurleistung nimmt 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 2022 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von 10 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt (StBA) 2022; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von gut 10 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,03 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze nimmt bis 2050 langsam zu und liegt dann um fast 7 000 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. Dadurch entstehen weltweit Knappheiten, die zu Importpreissteigerungen für Agrarprodukte führen. 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 2022 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von 80 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt (StBA) 2022; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von fast 240 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,5 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze reduziert sich 2050 um insgesamt fast 80 000. 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 vorher die Buchen und Fichten (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 2022 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von fast 8 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt (StBA) 2022; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von gut 30 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das

preisbereinigtes BIP also um 0,1 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze liegt 2050 um insgesamt fast 2 000 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 2022 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von 0,6 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt (StBA) 2022; 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. 1 000.

5| Schifffahrt: Die Schifffahrt wird im Sommer immer häufiger mit Niedrigwasser konfrontiert sein, 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 2022 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von fast 40 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt (StBA) 2022; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von gut 8 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,02 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze reduziert sich 2050 um insgesamt knapp 3 000 – in der Schifffahrt bleiben sie annähernd unverändert.

6| Gesundheit: 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.

Zur **Einordnung:** Das Gesundheitswesen hatte 2022 einen geschätzten Produktionswert in Höhe von fast 300 Mrd. Euro (Statistisches Bundesamt (StBA) 2022; eigene Berechnungen auf Basis von INFORGE). Die Kostensteigerungen verursachen hier einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von 0,5 Mrd. Euro. Die Auswirkungen auf das BIP fallen insgesamt eher gering aus – im Jahr 2050 liegt es preisbereinigt um 0,001 % niedriger. Die Anzahl der Arbeitsplätze verändert sich nicht.

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, verdoppelt die Versicherungswirtschaft ihre Abschreibungen bis zum Jahr 2050, wodurch die Abschreibungen im Jahr 2050 um mehr als 5 Mrd. Euro steigen. Das Grundstücks- und Wohnungswesen muss nun ebenfalls häufiger Abschreibungen hinnehmen, welche bis 2050 um 2 % steigen. Dies ist auch als eine Reduktion der Lebensdauer aller Gebäude um zwei Jahre interpretierbar. Ferner legen die privaten Haushalte kumuliert ca. 15 Mrd. Euro zurück, um auf Gebäudeschäden vorbereitet zu sein. Schließlich erhöhen auch die Unternehmen ihre Abschreibungen bis 2050 um 0,3 %.

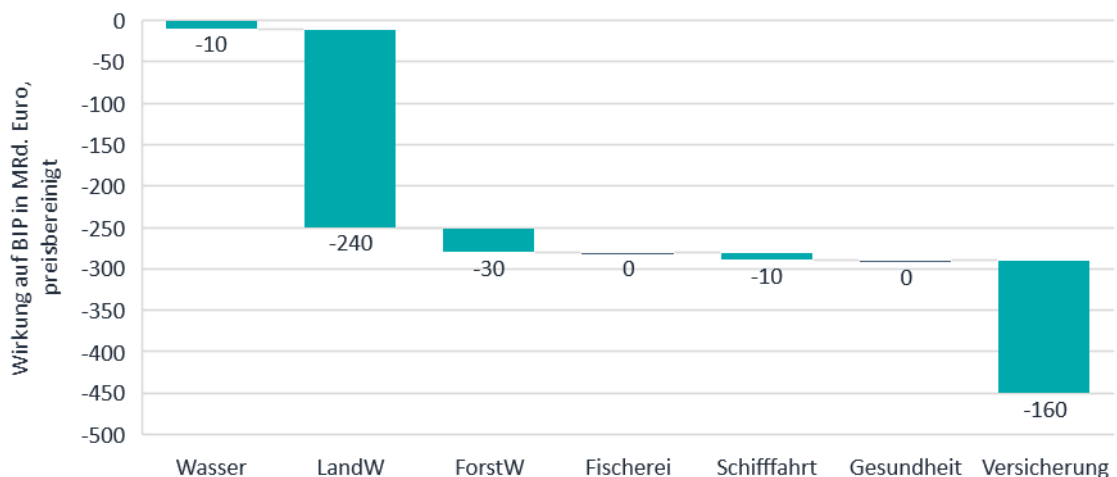
Zur **Einordnung**:

Höhere Versicherungsprämien, Rückstellungen und Rücklagen verursachen einen kumulierten ökonomischen Schaden bis 2050 in Höhe von 165 Mrd. Euro. Im Jahr 2050 fällt das preisbereinigte BIP also um 0,3 % niedriger aus. Die Anzahl der Arbeitsplätze reduziert sich 2050 um insgesamt fast 40 000.

2.3 KOSTEN DES KLIMAWANDELS IM ÜBERBLICK

Zusammengenommen entsteht zwischen 2025 und 2050 aufsummiert ein Wertschöpfungsverlust (gemessen am preisbereinigten BIP) in Höhe von gut 450 Mrd. Euro. Den größten Einfluss auf die Verluste nehmen, wie in Abbildung 9 zu erkennen ist, die Klimawirkungen in den Bereichen Landwirtschaft und Versicherung. 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. Somit sind auch Branchen vom Klimawandel betroffen, die nicht direkt einer Klimawirkung unterliegen.

Abbildung 9: Klimaschäden im Überblick (kumulierte Verluste im realen BIP von 2023 bis 2050 auf 10 gerundet)



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

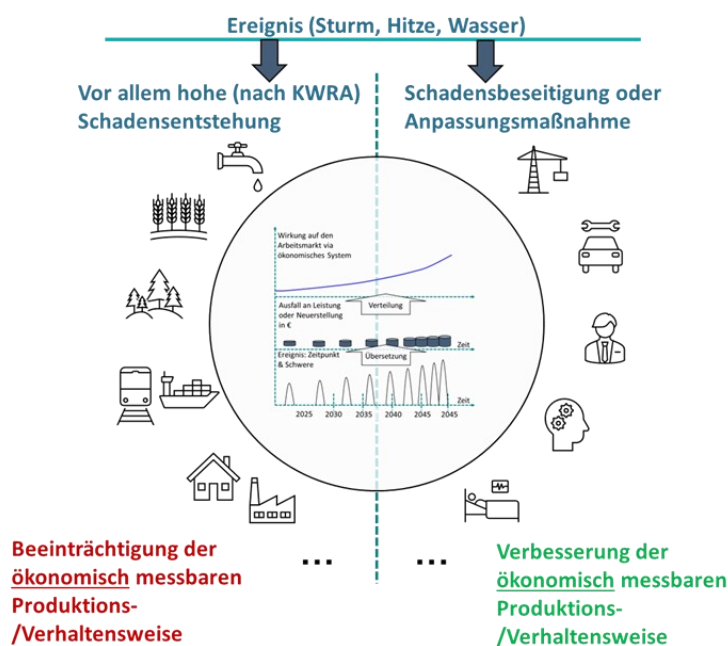
3 MASSNAHMEN ZUR KLIMAFOLGENANPASSUNG

3.1 GENERELLE ÜBERLEGUNGEN

Die Anpassungsmaßnahmen zur Vermeidung bzw. Linderung der Folgen des Klimawandels sind in ihren spezifischen Ausprägungen nicht vollständig abbildbar und dadurch nicht vollends zu erfassen. Es wird davon ausgegangen, dass vor allem die Land- und Forstwirtschaft spezifische Anpassungsmaßnahmen vornehmen. In Orientierung an den Rückstellungen erfolgen aber vor allem höhere Investitionen in Ausrüstungsgüter und Bauten. Ferner wird unterstellt, dass die Aufgaben des Planungswesens (konkret: Wirtschaftszweig 71: „Architektur- und Ingenieurbüros sowie technische Untersuchung“) deutlich zulegen (müssen). Vor allem die öffentliche Verwaltung und das Baugewerbe greifen voraussichtlich verstärkt auf die Leistungen zu. Zudem werden begleitende öffentliche Forschungen unterstellt.

Um die grundlegenden Mechanismen des Zusammenwirkens von Klimafolgen und Klimafolgenanpassungen zu verstehen, ist es wichtig zu verstehen, dass die Klimaveränderungen alle Unternehmen und Haushalte mehr oder weniger trifft – eher nicht in Bezug auf das Ansehen der Tätigkeit oder die Einkommensposition, sondern in Zusammenhang mit Exposition (Örtlichkeit) und Vulnerabilität (vgl. Abbildung 7). Gleichzeitig führen die eingesetzten finanziellen Mittel aber vor allem dazu, dass bestimmte Branchen von Wiederaufbau bzw. Präventionsmaßnahmen profitieren. Es kommt zu einer Umverteilung zwischen Branchen. Insgesamt ist davon auszugehen, dass diese dem Strukturwandel (produzierendes Gewerbe und Dienstleistungen) entgegenwirkt. Abbildung 10 beschreibt auf der linken Seite die Druckpunkte für die Klimafolgen und auf der rechten Seite die Anknüpfungspunkte für die Klimafolgenanpassung.

Abbildung 10: Druckpunkte für die Schadensentstehung und Anknüpfungspunkte für die Anpassungsmaßnahmen



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

3.2 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 zum 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.

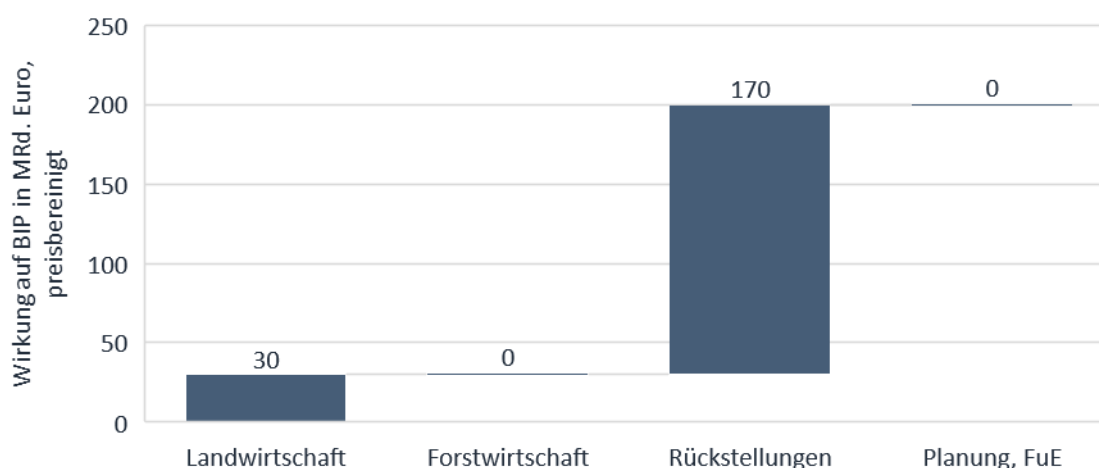
3| Auflösung der Rückstellungen/Versicherungen: Die angenommenen Rückstellungen haben einen Wertschöpfungsverlust in Höhe von rund 165 Mrd. Euro ausgelöst (s. o.) – sie werden nun aufgelöst. In dem Zuge steigen die Investitionen in Bauten bis 2050 um 8 % und in Ausrüstungsgüter um 2 %. Damit fallen die 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 Bauinvestitionen 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 %.

3.3 STRUKTURWANDEL IN ERWERBSTÄTIGKEIT UND PRODUKTION AUFGRUND VON KLIMAFOLGEN UND ANPASSUNG IM ÜBERBLICK

In Anbetracht der Gesamtergebnisse kommen durch die Klimafolgenanpassungen gegenüber den Klimafolgen ohne Anpassungsmaßnahmen gemäß der Annahmensetzung preisbereinigte Wertschöpfungszuwächse in Höhe von fast 200 Mrd. Euro hinzu (s. Abbildung 11). Die stärksten positiven Effekte resultieren aus den Rückstellungen. Auch die Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft tragen zur Verkleinerung der wirtschaftlichen Verluste durch den Klimawandel bei. Trotz ihres auf den ersten Blick geringen Beitrags zur Wertschöpfung sind auch die Anpassungsmaßnahmen in Forstwirtschaft sowie Planung und Forschung wichtige Bestandteile der Anpassung an den Klimawandel. Die forstwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen sind sehr langfristiger Natur, nehmen aber vor allem auch durch die Sicherstellung von Ökosystemleistungen einen positiven Einfluss auf Lebensqualität und Klimaschutz. Planung und Forschung legen die Grundlage für erfolgreiche Anpassungen in der Zukunft. Dieser Bereich bedürfte mehr finanzieller Mittel, die aber nur schwerlich mehr als die erfassten Wertschöpfungszuwächse bewirken.

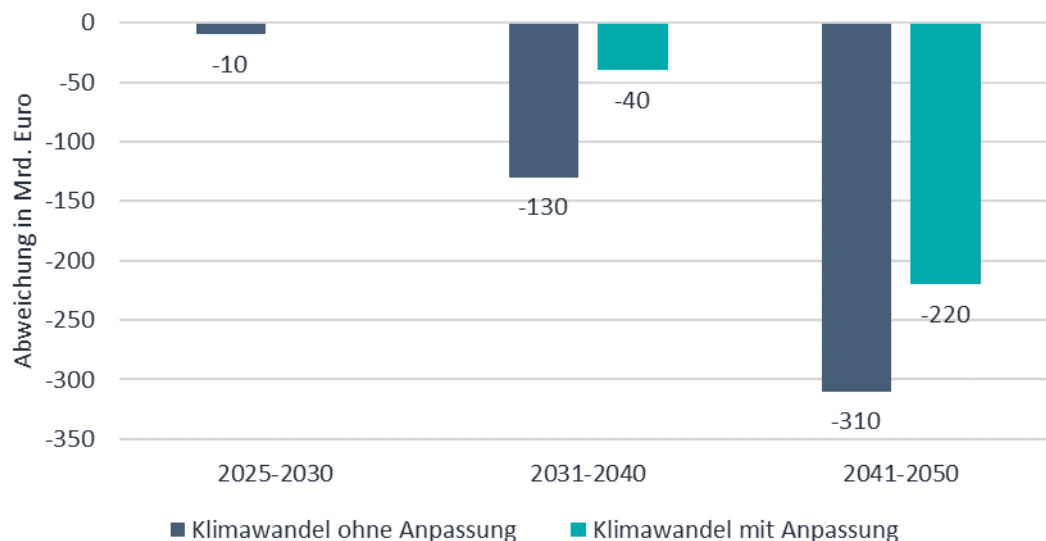
Abbildung 11 Wertschöpfungsänderung gegenüber Klimafolgen durch Anpassungsmaßnahmen (in Mrd. Euro, auf 10 gerundet, kumuliert 2023 bis 2050)



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 12 stellt vergleichend die Wertschöpfungsverluste durch Folgen des Klimawandels mit und ohne Anpassungsmaßnahmen dar. Es zeigt sich, dass angesichts der Annahmen nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Wertschöpfungsverluste durch die Anpassungsmaßnahmen vollständig kompensiert werden können. Dazu führen vor allem die nicht vollständigen Rückführungen der Wertschöpfungsverluste in der Landwirtschaft und der Forstwirtschaft. Dies ist auch plausibel, da die Forstwirtschaft lange Zeiträume erfasst, welche außerhalb des Projektionszeitraums liegen und sich die Landwirtschaft in einigen Regionen gegen die Weiterbearbeitung der Fläche entscheiden wird. Selbst die Bewässerungsanlagen oder neue Anbaumethoden ermöglichen nicht auf allen durch den Klimawandel verlorenen Flächen eine kostendeckende Produktion.

**Abbildung 12: Folgen des Klimawandels mit und ohne Anpassungsmaßnahmen
(gemessen in kumulierten Wertschöpfungsverlusten des realen BIP, auf
10 gerundet)**



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Ein Blick auf die Eckzahlen zeigt, dass bei einer Fortschreibung der von Prognos erhobenen Werte kumulierte Wertschöpfungsverluste von bis zu 600 Mrd. Euro auftreten könnten. Davon sind 400 Mrd. Euro solche, die über die bereits festzustellenden und im Datenmaterial enthaltenen hinausgehen. Unter den Annahmen zu den Klimafolgen summieren sich die Kosten auf 450 Mrd. Euro auf und liegen damit in der Größenordnung des Eingangs veranschlagten Wertes von 400 Mrd. Euro. Die Gegenmaßnahmen können die Hälfte der Wertschöpfungsschäden wiederum nicht ganz kompensieren. Vielmehr verbleiben Verluste von aufsummiert 260 Mrd. Euro. Dies ist auch insofern nachvollziehbar, als dass nicht alle Schäden versichert werden können und damit auch nicht ausreichend Mittel zur Verfügung stehen, um die Ausgangslage vollständig wiederherzustellen. Zudem ist eine Wiederherstellung (gleicher Art am gleichen Ort) ggf. gar nicht mehr möglich. Ferner nehmen die Aufwendungen für Planung und Umsetzung zu.

3.4 AKTUELLE ARBEITEN AN ERWEITERUNGEN FÜR FOLGEMODELLE

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Analyse und Einsatz von Klimadiensten zum Kapazitätsaufbau, Bildung und Vernetzung zur Klimawandelanpassung“ untersuchen das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) mit der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) und dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), wie sich die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen auf Berufe im Branchenkontext auswirken. Das Projekt ist vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) in Auftrag gegeben worden.

Im Zuge dieser Zielsetzung werden unterschiedliche Annahmen modelliert, welche die Folgen durch Hitzebelastung und durch Starkregenereignisse abmildern sollen. Im Fokus stehen dabei Investitionen in lebenswerte, urbane Räume – beispielsweise durch Dach- und Fassadenbegrünung oder die Pflanzung und Erhaltung von Stadtbäumen.

Daneben spielt aber auch das Regenwassermanagement eine wesentliche Rolle, damit das Wasser bei Starkregenereignissen aufgenommen und für Dürrephasen gespeichert werden kann.

Zusätzlich werden auch zukünftige Transformationen in der Land- und Forstwirtschaft modelliert, die im Zuge der Klimaanpassung nötig werden, sowie verstärkte Investitionen in die Gebäudesanierung und die Katastrophenvorsorge. Außerdem wird der Umgang innerhalb der Wirtschaftszweige mit den zusätzlichen Belastungen untersucht und beispielsweise durch zusätzliche Weiterbildungsbedarfe abgebildet.

Der Fokus innerhalb des Forschungsvorhabens liegt auf der Modellierung der Wirkung von Klimaanpassungsmaßnahmen auf die Arbeitskräftenachfrage nach den 144 Berufsgruppen der Klassifikation der Berufe (Bundesagentur für Arbeit (BA) 2021). Dabei wird erarbeitet, welche Berufsgruppen im Zusammenhang mit der Klimaanpassung stärker nachgefragt sein werden. Mit einer ersten Veröffentlichung innerhalb dieses Projektes und der Beschreibung der Klimaanpassungsberufe ist im Herbst 2023 zu rechnen.

4 LITERATUR

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-Expertennetzwerks. Online verfügbar unter <https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPtBerichte/SPT101.pdf>, abgerufen am 15.06.2023.

Bundesagentur für Arbeit (BA) (2021): Klassifikation der Berufe 2010 – überarbeitete Fassung 2020. Band 1: Systematischer und alphabetischer Teil mit Erläuterungen, Nürnberg.

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2022): Klimaprojektionen. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/klimaprojektionen_node.html, zuletzt aktualisiert am 07.10.2022, abgerufen am 15.06.2023.

Flaute, M., Reuschel, S. & Stöver, B. (2022): Volkswirtschaftliche Folgekosten durch Klimawandel: Szenarioanalyse bis 2050 – Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland, Osnabrück. GWS Research Report 2022/02.

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.

Kahlenborn, W., Porst, Luise, Voß, M., Fritsch, U., Renner, K., Zebisch, M., Wolf, M., Schönthaler, K. & Schausser, I. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Kurzfassung. Hg. v. Umweltbundesamt. Climate Change 26/2021.

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. In: *Earth's future* 8 (12). DOI: 10.1029/2020EF001616.

Statistisches Bundesamt (StBA) (2022): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Inlandsproduktberechnung, Detaillierte Jahresergebnisse 2021. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Fachserie 18 Reihe 1.4.

Stöver, B., Bernardt, F., Großmann, A., Reuschel, S. & Wolter, M. I. (2022a): Anpassung an die Klimakrise – strukturierte Bewertung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Hg. v. GWS, Osnabrück. GWS Discussion Paper 04. Online verfügbar unter <http://papers.gws-os.com/gws-paper22-4.pdf>.

Stöver, B., Flaute, M. & Reuschel, S. (2022b): Forschungsstand und Literatur zu den volkswirtschaftlichen Folgekosten des Klimawandels in Deutschland – Studie im Rahmen des Projektes Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland. Forschungsstand, Osnabrück. GWS Research Report 2022/01.

Trenczek, J., Lühr, O., Eiserbeck, L. & Sandhövel, M. (2022a): Übersicht vergangener Extremwitterschäden in Deutschland – Methodik und Erstellung einer Schadensübersicht. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“ – AP 2.1. Hg. v. Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz.

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. Online verfügbar unter https://www.prognos.com/sites/default/files/2022-07/Prognos_KlimawandelfolgenDeutschland_%20Auswahl_Untersuchungsereignisse_AP2_2.pdf.

Zika, G., Hummel, M., Maier, T. & Wolter, M. I. (2023): Das QuBe-Projekt: Modelle, Module, Methoden. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), Nürnberg. Online verfügbar unter Im Erscheinen.