

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	DISCC-AT
Langtitel:	Assessing the distributional effects of climate change impacts and adaptation in Austria, for just, targeted and efficient adaptation
Zitiervorschlag:	Bachner, G., Beier, J., Botzen, W., Hanger-Kopp, S., Hoff, H., Jury, M., Knittel, N., Leitner, M., Maraun, D., Marbler, A., Moshhammer, H., Preinfalk, E., Steininger, J., Stickler, T., Tesselaar, M., Wallner, P., Weber, C. (2025). DISCC-AT. Assessing the distributional effects of climate change impacts and adaptation in Austria, for just, targeted and efficient adaptation. Publizierbarer Endbericht. Graz.
Programm inkl. Jahr:	ACRP14 / 2022
Dauer:	01.10.2022 bis 31.01.2025
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Forschungsgruppe EconClim, Universität Graz
Kontaktperson Name:	Dr. Gabriel Bachner
Kontaktperson Adresse:	Brandhofgasse 5, 8010 Graz
Kontaktperson Telefon:	+43 316 380 8454
Kontaktperson E-Mail:	gabriel.bachner@uni-graz.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	<ul style="list-style-type: none"> • International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)/Niederösterreich • VU Amsterdam, Institute for Environmental Studies (IVM) /Niederlande • Medizinische Universität Wien/Wien

Allgemeines zum Projekt	
	<ul style="list-style-type: none"> • Universität Graz, Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Forschungsgruppe ReloClim/Steiermark
Schlagwörter:	Klimawandelfolgen; Verteilungsgerechtigkeit; Intersektionalität; Vulnerabilität; Hochwasser; Hochwasserversicherung; Hitze; Volkswirtschaftliche Effekte; Wohlfahrtseffekte;
Projektgesamtkosten:	314.807 €
Fördersumme:	299.759 €
Klimafonds-Nr:	C264882
Erstellt am:	22.10.2025

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Im Rahmen des inter- und transdisziplinären Forschungsprojekts DISCC-AT wurden Vulnerabilitätsmuster gegenüber Klimarisiken – insbesondere Hitze und Hochwasser – in Österreich systematisch untersucht. Ziel war es, differenzierte soziale Verwundbarkeiten sichtbar zu machen, sowie deren Verteilungseffekte zu analysieren, und somit eine evidenzbasierte Grundlage für gerechte und effiziente Anpassungsmaßnahmen bereitzustellen.

Das **methodische Design** umfasste qualitative Erhebungen, räumlich hochaufgelöste quantitative Modellierungen (insbesondere zu fluvialen Hochwasser und hitzebedingter Mortalität) sowie makroökonomische Simulationsansätze (zu den Auswirkungen von Hochwasser und hitzebedingter Verluste der Arbeitsproduktivität).

Die Ergebnisse der **qualitativen Arbeiten** belegen, dass konventionelle, homogenisierte Vulnerabilitätskonzepte unzureichend sind, um sozial differenzierte Risikoexpositionen und Anpassungspotenziale adäquat abzubilden. Stattdessen erweist sich ein intersektionaler Ansatz – unter Berücksichtigung von sich überlagernden Variablen wie Alter, Einkommen, Migrationshintergrund und Haushaltsform – als essenziell zur Charakterisierung komplexer Risikoprofile.

Im Bereich der **fluvialen Hochwasser-Risikomodellierung** zeigten sich signifikante räumliche Diskrepanzen zwischen risikobasierten Schadensmodellen auf Basis monetärer Vermögenswerte und solchen, die soziale Vulnerabilität einbeziehen. Je nach Politik-Fokus (sozial oder monetär) sind Anpassungsprojekte dementsprechend an unterschiedlichen Orten zu priorisieren. Politikinstrumente wie staatlich unterstützte Hochwasserversicherungen oder risikodifferenzierte Prämiengestaltung wurden als mögliche Stellschrauben zur Förderung gerechter Anpassung identifiziert. Für Haushalte im untersten Einkommensdrittel können durch öffentlich finanzierte oder öffentlich-private Modelle unversicherte Schäden eines 100-jährigen Hochwasserereignis (ausgedrückt in % vom Haushalts-spezifischen Wohlstand) von über 50% auf unter 15% (jeweils im Median) reduziert werden.

Die **Analyse der Übersterblichkeit** belegt eine zunehmende hitzebedingte Mortalität (Übersterblichkeit) – insbesondere in urbanen und sozioökonomisch benachteiligten Gruppen – die bereits heute die rückläufigen kältebedingten Todesfälle übersteigt. Klimawandelbedingt ist ein weiterer Anstieg hitzeassoziiertes Gesundheitsbelastungen zu erwarten. Ab einer über alle Bezirke (bevölkerungsgewichtet) gemittelten Temperatur von 13,6°C (Standardabweichung: 4,2°) nimmt die Zahl der täglichen Todesfälle mit steigenden Temperaturen am gleichen Tag zu. Im Durchschnitt beträgt dieser Anstieg pro Grad 3,1%. Am schwächsten ist dieser Anstieg in Reutte mit 0,5% und am stärksten in Wien Meidling mit 8,6% pro Grad.

Die **makroökonomische Modellierung** zeigt, dass klimawandelbedingte Wohlstandsverluste ungleich verteilt sind, sowohl für **Hitze** als auch für Hochwasser. Bezüglich hitzebedingter Arbeitsproduktivitätsverluste wurde nach Arbeiter („blue-collar“) und Angestellten („white-collar“) differenziert, sowie nach Anstrengung der Tätigkeit. Während unter einem RCP4.5 Emissionspfad bis zum Jahr 2080 produktivitätsbezogene Wohlfahrtsverluste für sowohl Angestellten- als auch Arbeiterberufe vernachlässigbar bleiben ($< 0\%$), zeigen sich unter dem Hochemissionsszenario RCP8.5 signifikant höhere Verluste insbesondere bei „blue-collar“-Arbeitnehmern (typische Arbeiter) im vierten Einkommensquartil suburbaner Regionen (bis zu $-0,35\%$). Demgegenüber bleiben die Einbußen für „white-collar“-Arbeitskräfte in allen Einkommenslagen vergleichsweise gering. Die Ergebnisse unterstreichen die erhöhte Vulnerabilität von körperlich tätigen Erwerbsgruppen gegenüber klimawandelbedingtem Hitzestress, insbesondere in Szenarien mit starkem Temperaturanstieg. Die aggregierte makroökonomische Modellierung zeigt zudem, dass klimabedingte Einbußen an Arbeitsproduktivität einen negativen Einfluss auf das österreichische BIP entfalten, wobei die stärksten Rückgänge unter RCP8.5 auftreten ($-0,05\%$ im Jahr 2080 im Vergleich zum Referenzszenario).

Bezüglich **Hochwasser** zeigt die modellgestützte Analyse zukünftiger flutbedingter Wohlfahrtsverluste bis 2080 eine ausgeprägte sozioökonomische Heterogenität. Unter allen bereits derzeit exponierten Haushalten steigen die Wohlfahrtsverluste im Zeitverlauf, jedoch mit sehr unterschiedlichen Raten in Abhängigkeit von Einkommen und Siedlungsstruktur. Besonders hohe Verluste ergeben sich bei Haushalten des untersten Einkommensquartils in ländlichen und suburbanen Räumen. Im Szenario SSP2-RCP4.5 ergibt sich im Jahr 2080 ein zusätzlicher Hochwasser-induzierter Wohlfahrtsverlust für diese Gruppen von $3,4\%$ (ländlich) bzw. $2,2\%$ (suburban), während urbane Haushalte höherer Einkommensquartile nur marginale Verluste ($0,35\%$) verzeichnen. Unter einem SSP4-RCP8.5 verstärken sich diese Muster erheblich: Die Wohlfahrtsverluste steigen in den unteren Einkommensquartilen auf bis zu $9,2\%$ (ländlich) bzw. $6,2\%$ (suburban), während wohlhabendere urbane Haushalte vergleichsweise geringer betroffen sind ($0,7\%$). Darüber hinaus wurden signifikante indirekte Effekte (Spill-Over) auf nicht direkt exponierte Haushalte identifiziert. Während Teile des obersten Einkommensquartils sogar Wohlfahrtsgewinne erfahren – bedingt durch höhere Kapitalrenten wie z.B. Mieteinnahmen – erleidet das untere Quartil in nicht betroffenen Regionen trotz physischer Nicht-Exposition ebenfalls Verluste von über $0,1\%$. Dies verdeutlicht die systemische Natur klimainduzierter Verteilungswirkungen.

Die Resultate unterstreichen die Notwendigkeit differenzierter Anpassungsstrategien, die räumliche wie sozioökonomische Vulnerabilitäten explizit adressieren, als auch, dass Klimaschutz (im Sinne von vermiedenen Schäden) besonders den vulnerablen Gruppen zugutekommt.

2 Executive Summary

Within the scope of the inter- and transdisciplinary research project DISCC-AT, patterns of social vulnerability to climate risks—particularly heatwaves and fluvial flooding—were systematically assessed across Austria. The overarching aim was to identify differentiated social vulnerabilities as well as the distributional effects of climate change impacts and thereby provide an evidence-based foundation for equitable and cost-effective adaptation strategies.

The research design integrated qualitative methods with high-resolution quantitative modelling—encompassing fluvial hazard and cost projections, heat-related mortality assessments, as well as the economic evaluation of both flooding and heat-induced labour productivity losses—supplemented by macroeconomic economy-wide modelling.

Findings from the **qualitative work** reveal that conventional, homogenized vulnerability frameworks are insufficient for capturing the socially stratified nature of risk exposure and adaptive capacity. Instead, an **intersectional** analytical lens—accounting for overlapping dimensions such as age, income, migration background, and household composition—proved essential in characterizing complex risk profiles.

In the domain of fluvial **flood risk modelling**, significant spatial discrepancies were found between standard asset value-based damage assessments and those incorporating social vulnerability indicators. Accordingly, depending on the normative policy focus (monetary versus social equity), spatial prioritization of adaptation investments should be reconsidered. Further, regarding adaptation, policy instruments such as state-supported **flood insurance** schemes or differentiated risk-based premium structures were identified as key levers for promoting distributive climate justice. DISCC-AT found that for households in the lowest income tercile, uninsured losses from a 100-year flood event—as a share of household-specific wealth—can be reduced from over 50% to below 15% (median values) through publicly financed or hybrid public-private insurance models.

Epidemiological analyses underscore an upward trend in heat-related excess mortality, particularly within urban and socioeconomically disadvantaged population groups—already surpassing the reduction in cold-related deaths. Given the projected trajectory of anthropogenic climate change, a further increase in heat-associated health burdens is anticipated. Starting from an average temperature of 13.6°C across all districts (population-weighted; standard deviation: 4.2°C), the number of daily deaths increases with rising temperatures on the same day. On average, this increase amounts to 3.1% per degree. The smallest increase is observed in Reutte at 0.5% per degree, and the largest in Vienna Meidling at 8.6% per degree. Also, labour productivity will be reduced by climate change, with very different effects across socio-economic groups; with an overall (economy-wide) moderate effect.

Macroeconomic modelling results demonstrate that climate-induced welfare losses are unevenly distributed, both for flood and heat risks. In terms of **heat-induced productivity losses**, simulations differentiated between occupational categories (blue- vs. white-collar) and work intensity. Under a RCP4.5 scenario, productivity-linked welfare losses remain negligible (<0%) for all worker types by 2080. However, under a high-emissions scenario (RCP8.5), significantly higher losses emerge—particularly for blue-collar workers in the fourth income quartile of suburban regions (up to -0.35%). In contrast, welfare impacts for white-collar workers across all income brackets remain relatively minor. These findings highlight the increased vulnerability of physically active labour sectors to climate-induced heat stress, especially under global scenarios of intensified warming. At the economy-wide level, heat-induced productivity losses negatively affect Austria’s GDP, with the most pronounced reductions occurring under RCP8.5 (up to -0.05% by 2080 relative to the reference scenario). With respect to **flood risk**, the welfare impact modelling up to 2080 reveals pronounced socio-economic heterogeneity. Welfare losses rise over time among all currently flood-exposed households, but at different rates depending on income and settlement structure. The most substantial losses occur among rural and suburban households in the lowest income quartile. In the SSP2-RCP4.5 scenario, these groups experience additional flood-induced welfare losses of 3.4% (rural) and 2.2% (suburban), whereas urban households in the highest income quartile face only marginal losses (0.35%). Under the SSP4-RCP8.5 scenario, this disparity becomes more pronounced: welfare losses reach up to 9.2% (rural) and 6.2% (suburban) among the poorest households, while affluent urban households remain relatively unaffected (0.7%). Additionally, the analysis identifies significant spill-over effects to households not directly exposed to floods. While segments of the highest income quartile experience welfare gains—driven by increased capital rents such as income from renting out living space—low-income households in physically non-exposed regions nevertheless incur losses exceeding 0.1%. These results highlight the systemic nature of climate-induced distributional effects.

Altogether, the findings underscore the necessity of adaptation strategies that explicitly address both spatial and socio-economic vulnerabilities. Furthermore, they reaffirm that ambitious climate mitigation—through avoided damages—disproportionately benefits the most vulnerable populations.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Der anthropogene Klimawandel stellt ein tiefgreifendes Risiko für natürliche und sozioökonomische Systeme dar. Während zahlreiche Studien die physischen und ökonomischen Auswirkungen von Extremereignissen wie Hitzeperioden und Hochwasser analysieren, bleibt eine zentrale Dimension weitgehend unbeachtet: die Verteilung der Effekte von Klimarisiken innerhalb der Gesellschaft, und weiters die Verteilungseffekte der damit verbundenen Anpassungsmaßnahmen. Vor dem Hintergrund zunehmender sozialer Disparitäten und einer wachsenden Vulnerabilität marginalisierter Gruppen ist es besonders wichtig diese Wissenslücke zu schließen, um Anpassung treffsicher gestalten zu können. Auch aktuelle politische Strategien wie der European Green Deal sowie die EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel unterstreichen die Notwendigkeit einer klimagerechten Transformation. Die Zielvorgabe lautet, Resilienz nicht nur technologisch und ökonomisch, sondern auch sozial ausgewogen zu gestalten. Ebenso der fünfte Sachstandsbericht des IPCC verweist explizit auf die Relevanz multidimensionaler Ungleichheiten als Schlüssel zur Reduktion klimabedingter Risiken.

Vor diesem Hintergrund adressiert DISCC-AT eine entscheidende Forschungslücke: Das Projekt beleuchtet soziale Verwundbarkeiten gegenüber klimabedingten Risiken in Österreich – insbesondere Hitze und Hochwasser – und untersucht deren Verteilungswirkungen auf nationaler Ebene. Insbesondere sozioökonomische Faktoren und deren Interaktionen (Intersektionalität) stehen im Vordergrund, um greifbare Risikoprofile besonders vulnerabler Gruppen herauszuarbeiten.

Das Hauptziel ist es, Entscheidungsträger*innen eine empirisch fundierte Grundlage für eine gerechte und effektive Klimawandelanpassungspolitik zu liefern. Das zentrale Ziel von DISCC-AT ist somit die Identifikation gruppenspezifischer sozialer Verwundbarkeiten gegenüber klimatischen Extremereignissen, sowie deren Quantifizierung, in Österreich. Auf dieser Basis können evidenzbasierte, gerechte und kosteneffiziente Anpassungsstrategien entwickelt und bestehende Politikinstrumente evaluiert werden. Der Fokus liegt auf den beiden zentralen Klimarisiken Hitze und Hochwasser, die bereits heute erhebliche gesundheitliche, ökonomische und soziale Auswirkungen haben und deren Intensität sowie Frequenz infolge des Klimawandels zunehmen wird.

Die methodische Umsetzung des Projekts erfolgte mittels verschiedenster inter- und transdisziplinärer Forschungsmethoden. Insgesamt sechs eng miteinander verknüpfte Arbeitspakete (APs) strukturierten die Projektarbeit.

AP1 (*Participatory assessment of intersectional vulnerabilities*) untersuchte durch **qualitative Interviews und partizipative Prozesse** die intersektionale Verwundbarkeit gegenüber Hitze und Hochwasser. Ziel war die Ableitung typisierter Risikoprofile auf Grundlage sozio-demografischer Merkmale wie Alter,

Einkommen, Geschlecht oder Migrationshintergrund. Dies erfolgte in enger Zusammenarbeit mit AP2.

AP2 (*Climate and socio-economic scenarios and data*) erstellte eine umfassende **Datenbasis zu klimatischen und sozioökonomischen Indikatoren**. Die Verknüpfung dieser Daten diente als Input für die Modellierungen in den AP3–5. In AP2 wurden zusätzlich, durch die Verschneidung von klimatologischen und sozio-ökonomischen Daten, konkrete Risikoprofile gegenüber Hitzerrisiken entwickelt (gemeinsam mit AP1).

AP3 (*Flood risk modelling*) analysierte mittels **Hochwassermodellen** und sozioökonomischen Indikatoren die räumlich differenzierte soziale Hochwasserrisikoexposition und bewertete politische Risikoausgleichsmechanismen, insbesondere im Kontext der Hochwasserversicherung als konkrete Anpassungsmaßnahme.

AP4 (*Health impact modelling*) quantifizierte die **gesundheitlichen Effekte von Hitzebelastung** mittels Health Impact Assessments (Übersterblichkeit) und untersuchte die Auswirkungen von Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen auf Arbeitsproduktivität mittels WGBT-Index Methode.

AP5 (*Economy-wide modelling of distributional effects*) modellierte, basierend auf den vorhergehenden Analysen in AP2-4, mittels dynamischen Computable General Equilibrium (CGE)-Modells die **Verteilungseffekte von Klimawandelfolgen** im Sinne von Wohlfahrtsverlusten auf nationalem Level bis 2080 unter verschiedenen SSP-RCP Szenarien (SSP1, SSP2, SSP4 in Kombination mit RCP4.5 und RCP8.5).

AP6 (*Stakeholder integration and co-production of knowledge for decision support*) diente als organisatorische **transdisziplinäre Schnittstelle** zwischen Wissenschaft und Praxis, um die Anforderungen von Stakeholdern in die Forschung zu integrieren und den Wissenstransfer zu gewährleisten.

Durch die Kombination von qualitativen und quantitativen Methoden sowie die Einbindung gesellschaftlicher Akteur*innen adressierte DISCC-AT die komplexen Interdependenzen zwischen Klima, sozialer Ungleichheit und Anpassungskapazitäten. Das Projekt lieferte damit einen entscheidenden Beitrag zur Operationalisierung des Konzepts der "just resilience" in der österreichischen Klimapolitik.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

AP1: Participatory assessment of intersectional vulnerabilities

Aktivitäten und Methoden

In AP1 wurden in enger Abstimmung mit den Arbeitspaketen 2 und 6 folgende zentrale Aktivitäten durchgeführt: In Task 1.1 wurden Bedarfe und Erwartungen relevanter Stakeholder im Hinblick auf eine Vulnerabilitätsbewertung im Rahmen von Sondierungsgesprächen (gemeinsam mit AP6) identifiziert. Darauf aufbauend wurde mithilfe der Software *kumu.io* eine umfassende Stakeholder-Landkarte erstellt. In Task 1.2 erfolgte eine vertiefte Analyse bestehender Vulnerabilitätsbewertungen sowie entsprechender Indikatoren für hitze- und hochwasserbezogene Risiken in Österreich. Die Ergebnisse wurden in einer visuellen Karte mithilfe von *kumu.io* zusammengefasst. In Task 1.3 wurde ein Workshop (gemeinsam mit AP6) organisiert sowie semistrukturierte Expert:inneninterviews durchgeführt. Ziel war es, Vulnerabilitätsfaktoren weiter zu präzisieren, deren Wechselwirkungen und Intersektionalität sichtbar zu machen und auf dieser Grundlage Erzählstränge zu entwickeln, die anschließend in Zusammenarbeit mit AP2 zu Risikoprofilen ausgearbeitet wurden. In Task 1.4 wurden die im Rahmen von AP1 gewonnenen Erkenntnisse synthetisiert und in finalen Karten, ebenfalls erstellt mit *kumu.io*, visualisiert. Die Ergebnisse wurden projektintern geteilt, insbesondere mit AP2 und AP5, aber auch mit AP3 und AP4. Mehr methodische Details sind in Abschnitt C zu finden.

Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse aus AP1 lassen sich in vier Hauptpunkte gliedern. Erstens wurde eine umfassende Stakeholder-Kartierung erstellt und auf *kumu.io* visualisiert (siehe [hier](#)). Zweitens wurden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu häufigen Vulnerabilitätsfaktoren ebenfalls auf *kumu.io* dargestellt (siehe [hier](#)). Drittens fand ein erster Stakeholder-Workshop statt, aus dem eine erste Reihe von Narrativen („Storylines“) zu Haushalten hervorging, die gegenüber Hitze- oder Hochwasserrisiken besonders vulnerabel sind (inklusive zugehöriger Indikatoren). Viertens wurden intersektionale Storylines für Haushalte erarbeitet, die besonders vulnerabel gegenüber Hitze- oder Hochwasserereignissen sind.

Die qualitative Untersuchung zur Hitzebelastung identifizierte sechs differenzierte, intersektionale Vulnerabilitätsnarrative. Da die Interviews zur Hitzebelastung besonders tiefgehende Einblicke lieferten, wurden diese visuell auf *kumu.io* aufbereitet (Abbildung 1; Zugang zur interaktiven Karte [hier](#)). Die spezifischen Links zu den Storylines finden sich in Tabelle 1. Im Hinblick auf Hochwasservulnerabilität konnten auf Grundlage der Interviews zentrale intersektionale Narrative identifiziert werden, die in Tabelle 2 zusammengefasst sind.

Storyline	Description
Profil 1	Personen mit Behinderungen und eingeschränkter Mobilität in Einpersonenhaushalten
Profil 2	Junge einkommensschwache Familien in suburbanen Räumen mit begrenzten sozialen Netzwerken und ohne Vorerfahrung mit Hochwasserereignissen
Profil 3	Haushalte mit eingeschränkten finanziellen Ressourcen, ohne Hochwasserversicherung und mit Pflegeverantwortung (z. B. für ältere Angehörige)
Profil 4	Ältere Menschen mit gesundheitlichen Einschränkungen und eingeschränkter Mobilität, die allein in ländlichen Regionen leben und von Isolation sowie Pflegebedürftigkeit betroffen sind
Profil 5	Einkommensschwache Bevölkerungsgruppen mit Migrationshintergrund, mit eingeschränktem Informationszugang und geringer Risikowahrnehmung

Tabelle 2: Qualitative Storylines zu Vulnerabilität gegenüber Hochwasser

Jede der Storylines zur Hitzebelastung zeigt ein komplexes und dynamisches Zusammenspiel sich überschneidender Vulnerabilitätsfaktoren, die die Anfälligkeit gegenüber Hitzestress erhöhen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass ein niedriges Einkommen bzw. eingeschränkte finanzielle Ressourcen fast immer eine Rolle in Bezug auf soziale Verwundbarkeit, aber auch auf die Anpassungskapazität spielen. Weitere zentrale Faktoren umfassen schlechte Wohnverhältnisse, Alter (insbesondere ältere Menschen und Kinder), gesundheitliche Beeinträchtigungen, soziale Netzwerke, soziale Teilhabe, die Zugänglichkeit zu Erholungsräumen, eingeschränkte Mobilität, das Leben in Einpersonenhaushalten oder Alleinerziehenden-Status. Weniger häufig in der Literatur beschriebene, aber in den Interviews hervorgehobene Faktoren sind Zeitarmut, Pflegeverpflichtungen sowie die Art der Erwerbstätigkeit (insbesondere hitzeexponierte und gering entlohnte Tätigkeiten).

Vulnerabilität im Zusammenhang mit Hochwasser wurde von Stakeholdern häufig in Verbindung mit niedrigem Einkommen und fehlenden finanziellen Ressourcen beschrieben – insbesondere im Hinblick auf Eigenvorsorge vor Extremereignissen sowie auf Wiederaufbaumaßnahmen danach. Die Perspektiven der Interviewten konzentrierten sich jedoch vorrangig auf Vulnerabilitätsfaktoren, die während eines Hochwasserereignisses relevant sind. Zu diesen zählen unter anderem der bauliche Zustand der Wohnung, Alter (ältere Menschen; Kinder), gesundheitliche Einschränkungen, Behinderungen, eingeschränkte Mobilität, soziale Netzwerke, fehlender oder unzureichender Versicherungsschutz, mangelnde Erfahrung mit Hochwasser, geringe Risikowahrnehmung sowie unzureichender Zugang zu Informationen.

Die qualitativen Daten verdeutlichen, dass kein einzelner Faktor allein ausreicht, um die Vulnerabilität von Individuen oder Gruppen zu erklären – was die Notwendigkeit unterstreicht, die Überschneidungen und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Faktoren zu untersuchen.

AP2: Climate and socio-economic scenarios and data

Aktivitäten und Methoden

Im Rahmen von AP2 Task 2.1 wurde ein Mixed-Methods-Ansatz entwickelt, um die in AP1 erarbeiteten Erzählstränge mit sozioökonomischen und klimatischen

Daten zu ergänzen. Ziel war es, Hitzebelastungsprofile innerhalb der österreichischen Bevölkerung zu erstellen. Dafür wurden georeferenzierte sozioökonomische Daten von Statistik Austria (2022) verwendet, die Informationen zu Einkommen, Wohnort und beruflichen Merkmalen wie Alter, Berufsfeld und Sektor (z. B. Landwirtschaft) beinhalteten. Task 2.2 beschäftigte sich mit der Erweiterung der klimatischen Datengrundlagen durch den SPARTACUS-Beobachtungsdatensatz von GeoSphere Austria, der nun auch Feuchtigkeitsmaße umfasst. Im Vergleich zu den ursprünglich in ÖKS15 verwendeten Temperaturdaten, die keine meteorologischen Variablen wie Luftfeuchtigkeit einbezogen, wurden für die zukünftige Hitzebelastung Bias-Korrekturen der täglichen Taupunkttemperatur (TD) und der bodennahen Lufttemperatur (TAS) durchgeführt.

Mehr methodische Details sind in Abschnitt C zu finden.

Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse aus AP gliedern sich in sozioökonomische sowie klimabezogene Datensätze und deren Aufbereitung.

Die zwischen AP1 und AP2 entwickelten Hitzebelastungsprofile, sowie die Zuordnung vulnerabler Hochrisiko-Cluster zu diesen Profilen, ermöglichen ein vertieftes Verständnis der Hitzebelastung innerhalb der österreichischen Bevölkerung. Diese wird als Schnittmenge von Gefährdung (hazard), Exposition (exposure) und Vulnerabilität (vulnerability) konzeptualisiert. Abbildung 2 visualisiert diese Schnittmenge: Die vertikale Achse zeigt die Anzahl der Hitzetage, die einzelnen Cluster sind als Blasen dargestellt – deren Größe entspricht der Anzahl an Individuen innerhalb des jeweiligen Clusters. Die horizontale Achse repräsentiert die durchschnittliche Vulnerabilität eines Clusters. Hochrisiko-Cluster sind farblich hervorgehoben und sind mittels Farbcodes den jeweiligen Profilen zugeordnet. Gelbe Blasen kennzeichnen nicht klassifizierte Cluster, graue Blasen liegen unterhalb des 75. Perzentils und gelten damit nicht als Hochrisiko.

Diese Visualisierung erlaubt eine differenzierte Darstellung der Hitzebelastung in der österreichischen Bevölkerung, heute und in Zukunft. Der größte Anteil der als hoch vulnerabel eingestufteten Bevölkerung entfällt auf Profil 1, gefolgt von Profil 2, dem ländlichen Pendant. Abbildung 2 zeigt zudem, dass Cluster aus Profil 3 und 5 zwar tendenziell mehr Hitzetage erleben, während alle Cluster aus Profil 4 durch eine vergleichsweise hohe Vulnerabilität gekennzeichnet sind. Durch die Integration der Profile mit Klima-, demografischen und sozioökonomischen Szenarien wurde auch ein Bild möglicher Zukunftsszenarien gezeichnet werden (rechte Grafik in Abbildung 2). Im Szenario SSP4 verschärft sich die Einkommensungleichheit, wodurch einkommensschwache Cluster weiter rechts im Diagramm erscheinen – ihre Vulnerabilität steigt entsprechend. Im Jahr 2080 unter SSP4 mit RCP8.5 rund 74 % der Bevölkerung in Hochrisiko-Cluster, während diese Zahl heute bei lediglich 23% liegt.

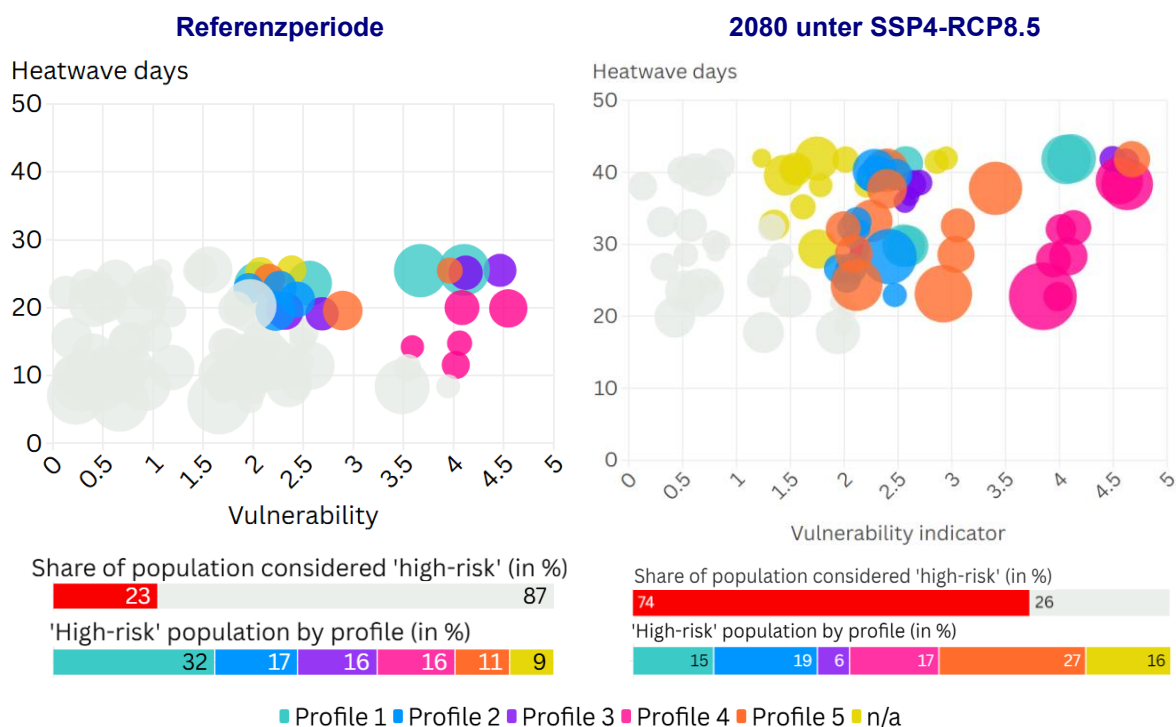


Abbildung 2: Vulnerabilität von Hochrisiko-Clustern und deren Profile in der Referenzperiode sowie für SSP4-RCP8.5 im Jahr 2080.

Bezüglich Klimadaten ergaben sich folgende Erkenntnisse: Die projizierten Veränderungen sowohl der Tagesmitteltemperatur (TAS) als auch der Taupunkttemperatur (TD) bewegen sich in ähnlicher Größenordnung – zwischen 1,2–1,4 °C bis zur nahen Zukunft (2021–2050) und 1,2–4 °C bis zum Ende des Jahrhunderts (2071–2100), jeweils bezogen auf die Referenzperiode 1971–2000. Auch Veränderungen in WBGT-ID, HUMIDEX und dem NOAA Heat Index (HI) liegen in vergleichbarer Größenordnung wie bei TAS. Eine detaillierte Beschreibung und weitere Visualisierungen dieser Projektionen finden sich in Abschnitt 4.1 von Jury et al. (2024a).

Das erzeugte Datenset zu Tagesmitteltemperatur (TAS), Taupunkttemperatur (TD) und den daraus abgeleiteten hitzebezogenen Indizes – Indoor Wet Bulb Globe Temperature (WBGT-ID), HUMIDEX und der NOAA Heat Index (HI) – für die drei RCPs (2.6, 4.5 und 8.5) wurde im Geosphere Datahub veröffentlicht und stellt eine Erweiterung des ÖKS15-Datensatzes für die österreichische Klimaforschung dar (Jury et al., 2024b, 2024c, 2024d).

Hinsichtlich der Modellwahl für die Wirkungsmodellierung und zur Abbildung der Bandbreite zukünftiger Hitzebelastungen lieferten beide angewandten Auswahlstrategien ähnliche Ergebnisse. Die drei ausgewählten Modelle sind: IPSL-CM5A-MR r1i1p1 WRF331F v1, MPI-ESM-LR r1i1p1 REMO2009 v1 und HadGEM2-ES r1i1p1 CCLM4-8-17 – sie repräsentieren jeweils minimale, mittlere und maximale projizierte Änderungen. Die Änderungen der bodennahen Lufttemperatur für das Ensemblemittel sowie die drei ausgewählten Modelle sind in Abbildung 3 dargestellt.

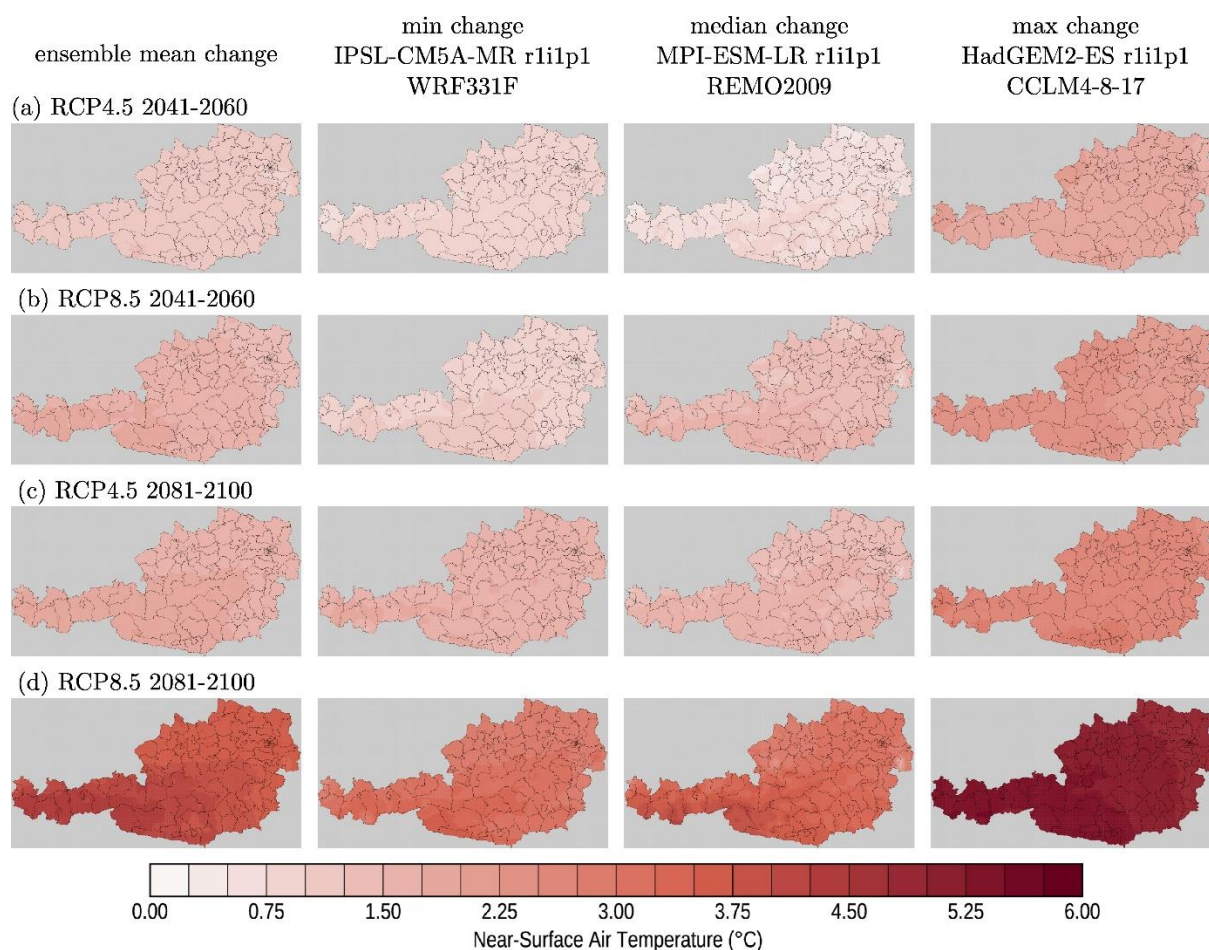


Abbildung 3: Veränderungen der jährlichen Mitteltemperatur nahe der Erdoberfläche im Ensemblemittel: IPSL-CM5A-MR r1i1p1 WRF331F v1, MPI-ESM-LR r1i1p1 REMO2009 v1 und HadGEM2-ES r1i1p1 CCLM4-8-17 repräsentieren jeweils die minimalen, mittleren und maximalen Änderungen (Spalten von links nach rechts) unter RCP4.5- und RCP8.5-Szenario für die Zeiträume 2041–2060 (obere zwei Zeilen) und 2081–2100 (untere zwei Zeilen) im Vergleich zur Referenzperiode 1995–2014.

Die Projektionen der EURO-CORDEX-Modelle sind insgesamt kühler als jene der CMIP5- und CMIP6-Ensembles. Auch das Mittel des ÖKS15-Ensembles liegt unter den in den letzten Jahren beobachteten Werten. Dennoch bewegen sich die Beobachtungen weiterhin im Bereich der durch ÖKS15 projizierten Zukunftsszenarien. Somit gelten die ÖKS15-Szenarien weiterhin als valide. Allerdings bildet ÖKS15 im Vergleich zu CMIP5 insbesondere das obere Ende der möglichen Erwärmungsszenarien schwächer ab – bis zu 2 °C weniger Sommererwärmung bis zum Jahrhundertende unter RCP8.5. Zusammen mit der durchschnittlichen Abweichung zu den jüngst beobachteten Werten deutet dies darauf hin, dass ÖKS15 die obere Grenze zukünftiger Sommererwärmung möglicherweise um bis zu 2,5 °C unterschätzt. Eine ausführliche Diskussion dazu findet sich in Abschnitt 5 von Jury et al. (2024a).

Ein weiteres Ergebnis aus WP2 ist der Online-Heat-Risk-Explorer für Österreich, abrufbar unter: <http://hrex.discc.at/>). Das Tool zeigt aktuelle und zukünftige Hitzebelastung auf einer räumlichen Auflösung von 1x1 km als Kombination aus Hitzetagen (Gefährdung), Bevölkerungsdichte (Exposition) und dem Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre (Vulnerabilität). Weitere Vulnerabilitätsdimensionen –

etwa Einkommen – werden derzeit ergänzt und stehen demnächst zur Verfügung.

AP3: Flood risk modelling

Aktivitäten und Methoden

Task 3.1 identifizierte Hochwasser-Vulnerabilitäts-Hotspots, indem soziale Vulnerabilität und Hochwassergefährdung kombiniert wurden. Anstelle physischer Schäden lag der Fokus auf sozioökonomischen Daten. Mithilfe des GLOFRIS-Modells wurden Hochwasserrisiken auf Basis von Klimamodellen (RCPs) analysiert, wobei standardisierte Daten durch detaillierte österreichische Daten ersetzt wurden. Ein Vulnerabilitätsindikator wurde entwickelt, der Haushaltseinkommen, ältere Personen und Alleinerziehende auf einer 1x1-km-Skala kombiniert – etablierte Faktoren sozialer Hochwasservulnerabilität. Daten zu Einkommen (Statistik Austria, 2022) und Haushaltszusammensetzungen wurden gewichtet zu einem Index (1 = gering, 10 = hoch). Dieser Index wurde mit Hochwasserinundationsdaten (GLOFRIS) überlagert, um räumliche soziale Hochwasserrisiken für Österreich abzubilden, sowohl für aktuelle als auch zukünftige Gefahren.

Task 3.2 analysierte, wie Anpassungsmaßnahmen gestaltet werden können, um Verteilungsungleichheiten zu mindern, insbesondere durch eine sozial ausgewogene Verringerung der Hochwasserversicherungslücke in Österreich. Verschiedene politische Szenarien wurden simuliert, darunter ein öffentlicher Rückversicherer, eine Ausweitung des Katastrophenfonds, ein System mit gedeckelten risikobasierten Prämien sowie ein Status-quo-Szenario mit verbesserten Schutzmaßnahmen. Entscheidungen der Haushalte zu Versicherungen und Schutzinvestitionen wurden auf Basis eines subjektiven erwarteten Nutzenmodells (SEU) modelliert, wobei Einkommen als zentraler Faktor diente. Ein partielles Gleichgewichtsmodell des Versicherungsmarktes bewertete Prämien, Versicherungsabdeckung und Anpassungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Risiko, Prämienkosten und Schutzmaßnahmen.

Mehr methodische Details sind in Abschnitt C zu finden.

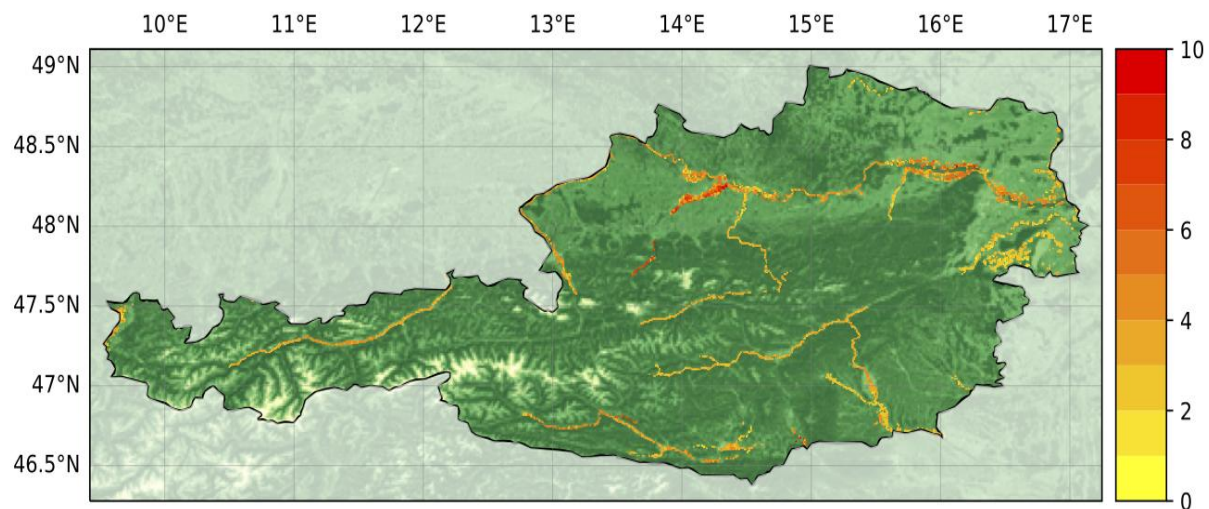


Abbildung 4: Eine Hotspot-Karte des sozialen Hochwasser-Risikos, basierend aus Überlagerung von Vulnerabilitätsindex und der Überflutungsbereich eines 250-jährlichen Hochwassers.

Ergebnisse

In AP3 wurde die Hochwasserrisikomodellierung durchgeführt. Dabei wurden Daten zu Vulnerabilität und Hochwasser (hazard) überlagert, um eine Hotspot-Karte der sozialen Hochwasserauswirkungen in Verbindung mit einer bestimmten Hochwasserwahrscheinlichkeit zu erzeugen. Abbildung 4 zeigt die daraus resultierende Karte unter Verwendung einer Überflutungskarte, die einem 250-jährlichen Hochwasser im Jahr 2010 entspricht. Diese Ergebnisse haben mehrere Implikationen für das Hochwasserrisikomanagement in Österreich. Erstens machen die klar erkennbaren Hotspots des sozialen Hochwasserrisikos – sowohl in den aktuellen als auch in den zukünftigen Projektionen von Tesselaar et al. (2024) – deutlich, dass in diesen Gebieten adäquate Schutzmaßnahmen erforderlich sind. Traditionelle „harte“ Hochwasserschutzmaßnahmen wie Deiche und Schutzwälle könnten errichtet werden, um gegen solche Hochwasserereignisse zu schützen. Derzeit verfügen viele der als besonders gefährdet identifizierten Gebiete über Schutzmaßnahmen, die Wasserstände mit Wiederkehrperioden zwischen 30 und 100 Jahren abwehren können (BMLRT, 2021). Das bedeutet, dass 50- oder 100-jährliche Hochwasser in einigen Bereichen abgemildert werden können, 250-jährliche Hochwasser, wie sie im DISCC-AT-Modell gezeigt werden, jedoch wahrscheinlich nicht.

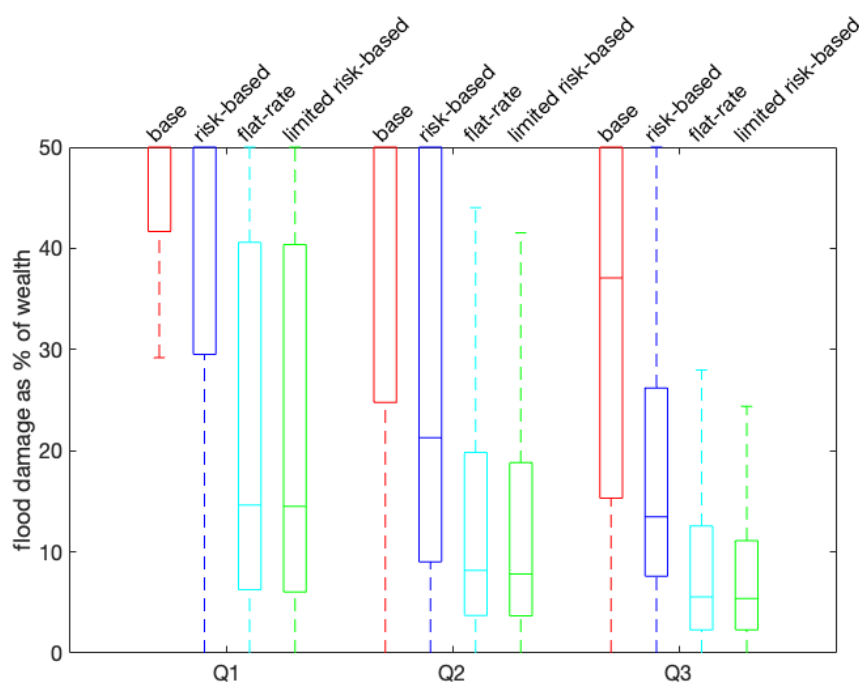


Abbildung 5: Boxplots der projizierten ungedeckten Hochwasserschäden im Jahr 2010 als Anteil am Haushaltsvermögen, verursacht durch ein 100-jährliches Hochwasserereignis, das alle österreichischen Überschwemmungsgebiete gleichzeitig betrifft. Die Ergebnisse sind für drei Einkommensgruppen dargestellt (Q1 = einkommensschwach, Q3 = einkommensstark) sowie für unterschiedliche Versicherungsstrategien. Die roten Boxplots zeigen ein Szenario ohne Möglichkeit zur Versicherung oder Investition in Maßnahmen zur Katastrophenrisikoreduktion (Disaster Risk Reduction, DRR). Die blauen Boxplots stellen ein Szenario dar, in dem Haushalte die Möglichkeit haben, sich zu risikobasierten Prämien zu versichern und in DRR-Maßnahmen zu investieren. Die türkisfarbenen und grünen Boxplots repräsentieren Szenarien öffentlicher bzw. öffentlich-privater Versicherungssysteme, in denen eine Versicherungspflicht besteht und DRR-Maßnahmen optional sind.

Weiters implizieren die Ergebnisse dass Entscheidungen über Investitionen in „harte“ sowie „weiche“ Maßnahmen zur Risikominderung das soziale Hochwasserrisiko deutlich stärker berücksichtigen sollten, insbesondere wenn Prioritäten bei der Auswahl von Schutzgebieten gesetzt werden müssen. Unsere Analyse zeigt, dass eine ausschließliche Berücksichtigung des monetären Werts physischer Schäden zu gesellschaftlich suboptimalen Ergebnissen führen kann. Regionen mit hohen Sachschäden sind nicht zwangsläufig jene, in denen die Auswirkungen auf Lebensgrundlagen am gravierendsten sind. Zudem sollten Investitionsentscheidungen auch zukünftige Hochwassergefahren und -expositionen einbeziehen. Derzeitige Hotspots des Hochwasserrisikos, die heute Maßnahmen erfordern, könnten in der Zukunft an Dringlichkeit verlieren. Daher kann es wirtschaftlich nicht sinnvoll sein, in kostenintensive und langfristige Schutzmaßnahmen zu investieren, deren Nutzen – die Reduktion des Hochwasserrisikos – zukünftig abnehmen könnte. Stattdessen sollten alternative Maßnahmen zur Risikoreduktion in Betracht gezogen werden, die das aktuelle (soziale) Hochwasserrisiko wirksam senken und gleichzeitig kostengünstiger sind. Eine wichtige „weiche“ Anpassungsmaßnahme zur Verbesserung der Hochwasserbewältigungskapazitäten ist die Versicherung. Allerdings ist die große Versicherungslücke in Österreich ein limitierender Faktor für die Wirksamkeit von Versicherungen zur Stärkung der Resilienz. Eine Reform der Versicherungspolitik ist daher ein zentrales Instrument, um die Versicherungslücke zu schließen und

die Resilienz gegenüber Hochwasser zu erhöhen. Die in Abbildung 5 dargestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Versicherungs- und Anpassungslücken bei einkommensschwachen Bevölkerungsgruppen in Österreich besonders stark ausgeprägt sind. Eine Umstellung vom derzeitigen System – bei dem zusätzlich zur Deckung von 20–50 % der Schäden durch den Katastrophenfonds kaum weitere Absicherung besteht – auf ein System, in dem private Versicherer risikobasierte Prämien mit höherer Deckung anbieten, würde überwiegend einkommensstarke Haushalte begünstigen und die bestehenden Lücken bei einkommensschwachen Haushalten weitgehend unberührt lassen. Solche Entwicklungen könnten soziale Ungleichheiten verschärfen, da einkommensschwache Haushalte stärkeren Hochwasserfolgen ausgesetzt sind und über eine geringere Wiederherstellungskapazität verfügen (Sayers et al., 2018). Letztlich könnte dies zu einer räumlichen Konzentration einkommensschwacher Haushalte in hochwassergefährdeten Gebieten führen, da diese durch niedrigere Immobilienpreise angezogen werden oder nicht in der Lage sind, in sicherere Gegenden umzuziehen (Tate et al., 2021). Es gibt mehrere Maßnahmen, um ein solches Szenario zu vermeiden. Eine stärkere Quersubventionierung von Versicherungsprämien zwischen Haushalten mit niedrigem und hohem Risiko – idealerweise verbunden mit einer Versicherungspflicht für alle Haushalte in Österreich – würde die Zugänglichkeit von Versicherungen für einkommensschwache Haushalte verbessern. Um dabei finanzielle Anreize zur Eigenvorsorge aufrechtzuerhalten, sollte der Umfang des Risikoteilens begrenzt sein. Neben der Quersubventionierung von Prämien kann die Anpassungslücke einkommensschwacher Haushalte auch durch Zuschüsse oder zinsgünstige Darlehen zur hochwassersicheren Nachrüstung von Gebäuden verringert werden, wie von Kunreuther (2021) vorgeschlagen. Schließlich sollten in besonders hochwasseranfalligen Gebieten verstärkt infrastrukturelle Schutzmaßnahmen umgesetzt werden, wie auch von Sayers et al. (2018) und Tate et al. (2021) empfohlen.

AP4: Health impact modelling

Aktivitäten und Methoden

Als Grundlage führte Task 4.1 eine systematische Literaturrecherche zur (sozialen) Vulnerabilität gegenüber Hitzeeinwirkungen durch. Die Ergebnisse wurden in einem narrativen Working Paper zusammengefasst. Da sich in der epidemiologischen Analyse zudem deutliche Effekte von Kälte auf die Mortalität zeigten, wurde die Literaturrecherche erweitert, um auch die gesundheitlichen Auswirkungen von Kälteextremen zu berücksichtigen.

In Task 4.2 wurden sozialstrukturelle Merkmale auf Ebene von politischen Bezirken gesammelt und analysiert, um eine Clusterbildung nach sozialen Vulnerabilitätskriterien zu ermöglichen. Diese räumliche Ebene wurde gewählt, da Mortalitätsdaten mit hoher zeitlicher Auflösung nur bis auf Bezirksebene

verfügbar sind. Datenquellen umfassten primär Statistik Austria und das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV, 2024).

In Task 4.3 wurden zeitlich hochaufgelöste Zeitreihenanalysen auf Bezirksebene durchgeführt. Tägliche Sterbefalldaten für den Zeitraum 1970–2020 wurden von Statistik Austria bereitgestellt, während tägliche Bezirkstemperaturen aus 1x1 km Rasterdaten des SPARTACUS-Datensatzes abgeleitet wurden. Die Zeitreihenmodelle wurden gemäß etablierter Methodik – wie im APHEA-Projekt (Samoli et al., 2001) vorgeschlagen – optimiert. Es kamen negative binomiale General Additive Models (GAMs) zum Einsatz, wobei langfristige sowie saisonale Trends und Wochentageeffekte kontrolliert wurden. Die Effektschätzungen der 111 Bezirke wurden anschließend in lineare Meta-Regressionen überführt, um determinierende Faktoren interregionaler Unterschiede in der Hitze- und Kälteverletzlichkeit zu identifizieren.

Darauf aufbauend wurden in Task 4.4 die Effektschätzungen je Bezirk in eine Health Impact Analysis (HIA) überführt, mit dem Ziel, die gesamtösterreichische hitze- und kältebedingte Mortalität unter mehreren zukünftigen Szenarien abzuschätzen (Hitze und Kälte jeweils separat sowie in Kombination).

In Task 4.5 wurden Hitze-bedingte Produktivitätsverluste für Arbeit berechnet. Analysiert wurden drei Arbeitsintensitäten (200, 300, 400 W) für Innen- und Außenarbeit. Der Zeithorizont umfasste historische Daten (1995–2014) sowie Zukunftsperioden (2021–2040, 2041–2060, 2071–2090) unter den Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5.

Mehr methodische Details sind in Abschnitt C zu finden.

Ergebnisse

In AP4 wurden hitzebedingte Gesundheitseffekte untersucht. Ergebnisse aus AP4 zeigen, dass eine höhere Bevölkerungsdichte, ein höherer Anteil an Einpersonenhaushalten, obdachlosen Personen, nicht-EU-europäischen Staatsbürger*innen, Arbeitslosen sowie das Leben in städtischen Gebieten – insbesondere in der Bundeshauptstadt Wien – die Vulnerabilität gegenüber Hitze erhöhen. Demgegenüber war eine höhere Vulnerabilität gegenüber Kälte mit einem höheren Anteil österreichischer Staatsbürger*innen nach Geburtsort und Staatsangehörigkeit, einem größeren Anteil an Grünflächen im Bezirk sowie einem höheren Anteil landwirtschaftlich tätiger Personen assoziiert. Die Ergebnisse sind qualitativ in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Qualitative Ergebnisse der Meta-Regression

Characteristic	Vulnerability	
	Cold	Hot
Population density		↑
Single households		↑
Austrian citizen	↑	↓
Non-EU Europe	↓	↑
Austrian born	↑	↓
Homeless		↑
Vienna		↑
Urban		↑
Altitude	↓	↓
Percent working		↓
Percent unemployed		↑
Green space	↑	
Tourism	↓	↓
Agriculture	↑	↓
Energy production	↓	↓

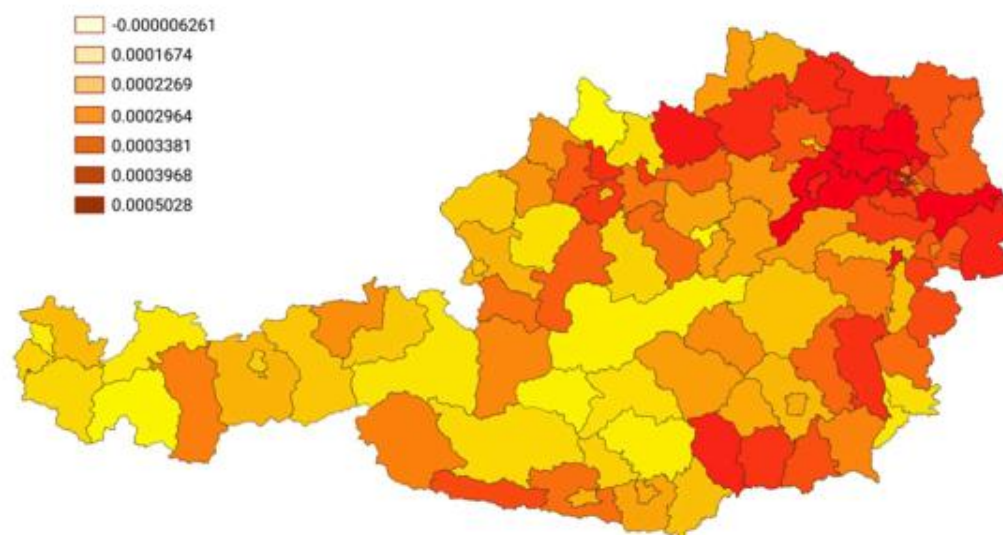


Abbildung 6: Hitzevulnerabilität (Koeffizient des Effekts der Tagestemperatur auf tägliche Mortalität in Personen)

Abbildung 6 zeigt die Unterschiede in der Vulnerabilität gegenüber Hitze auf Bezirksebene in Österreich. Ab einer über alle Bezirke (bevölkerungsgewichtet) gemittelten Temperatur von 13,6°C (Standardabweichung: 4,2°) nimmt die Zahl der täglichen Todesfälle mit steigenden Temperaturen am gleichen Tag zu. Im Durchschnitt beträgt dieser Anstieg pro Grad 3,1%. Am schwächsten ist dieser Anstieg in Reutte mit 0,5% und am stärksten in Wien Meidling mit 8,6% pro Grad.

Laut der Analyse auf Bezirksebene, aggregiert für ganz Österreich, übersteigt der Anstieg der hitzebedingten Mortalität bereits jetzt den Rückgang der kältebedingten Sterbefälle. Aufgrund des fortschreitenden Temperaturanstiegs ist in nahezu allen Szenarien mit einer Zunahme temperaturbedingter Todesfälle zu rechnen. Die Ergebnisse der Gesundheitsfolgenabschätzung (Health Impact Assessment, HIA), kumuliert über alle Bezirke, sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

Bezüglich hitzebedingter Arbeitsproduktivitätsverlusten zeigt Abbildung 9 die Ergebnisse für die gewählten Szenario- und Modellkombinationen. Es zeigt sich, dass in manchen Regionen bis zum Ende des Jahrhunderts Verluste von bis zu -1,9 % pro Jahr möglich sind. Zudem sind die Effekte im Osten Österreichs deutlich stärker ausgeprägt.

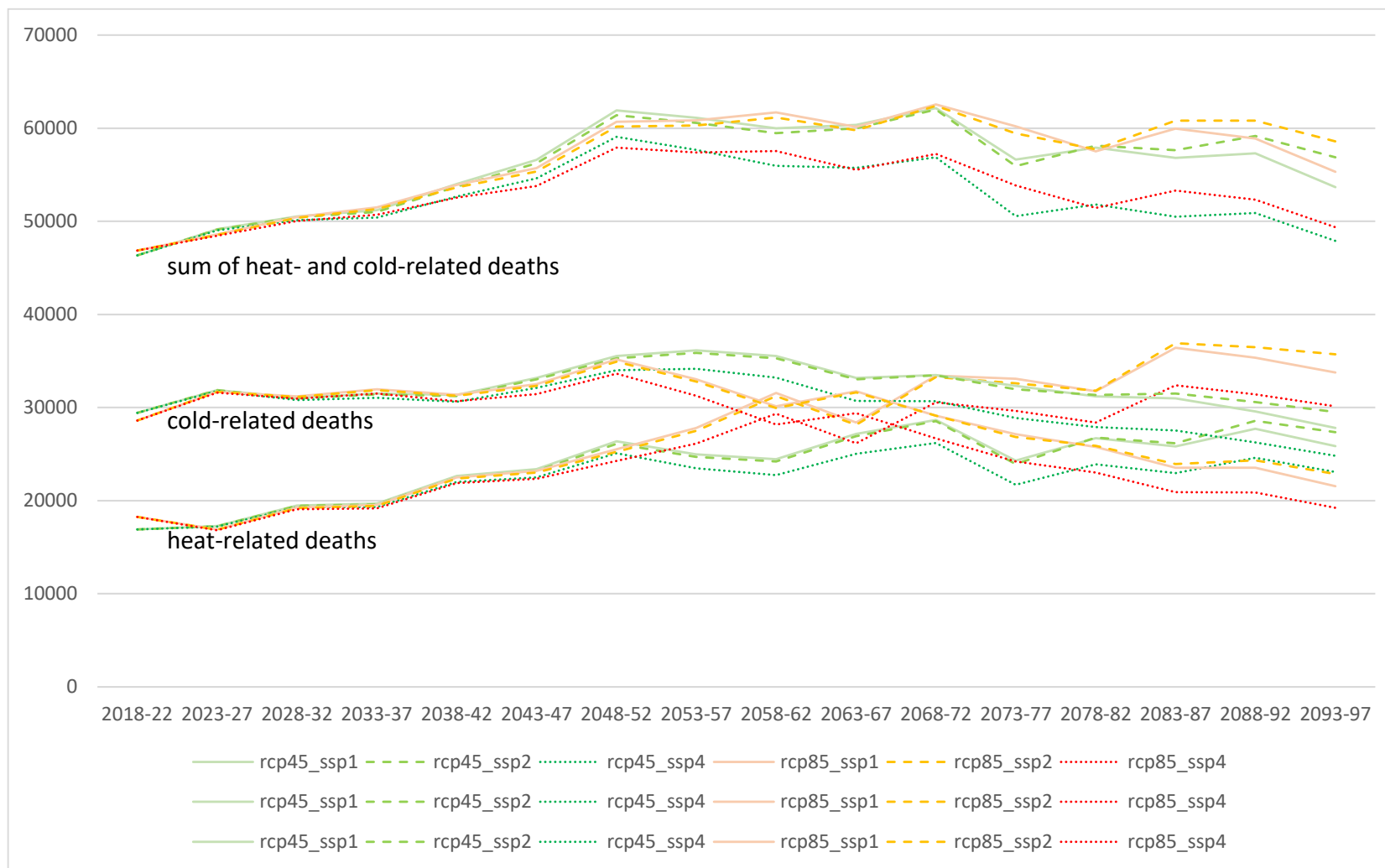


Abbildung 7: Vorhersagen der temperaturbedingten Todesfälle (durchschnittliche jährliche Werte pro 5-Jahres-Gruppen) für verschiedene Szenarien sozioökonomischer und klimatischer Entwicklungen. Derzeit (linke Seite) gibt es weniger hitzebedingte Todesfälle (weniger als 2000) als kältebedingte Todesfälle (etwa 3000). Die Gesamtsumme (oberstes Bündel von Linien) liegt knapp unter 5000. Bis Mitte dieses Jahrhunderts kreuzen sich die Bündel für hitzebedingte und kältebedingte Todesfälle, und im späteren Teil des Jahrhunderts übersteigen hitzebedingte Todesfälle in allen Szenarien die kältebedingten Todesfälle. Die Gesamtzahl der temperaturbedingten Todesfälle steigt aufgrund zunehmender Temperaturen sowie einer wachsenden und alternden Bevölkerung. Im zweiten Teil des Jahrhunderts wird die Bevölkerung und die Mortalitätsrate insgesamt zurückgehen, wodurch auch die temperaturbedingten Todesfälle abnehmen werden.

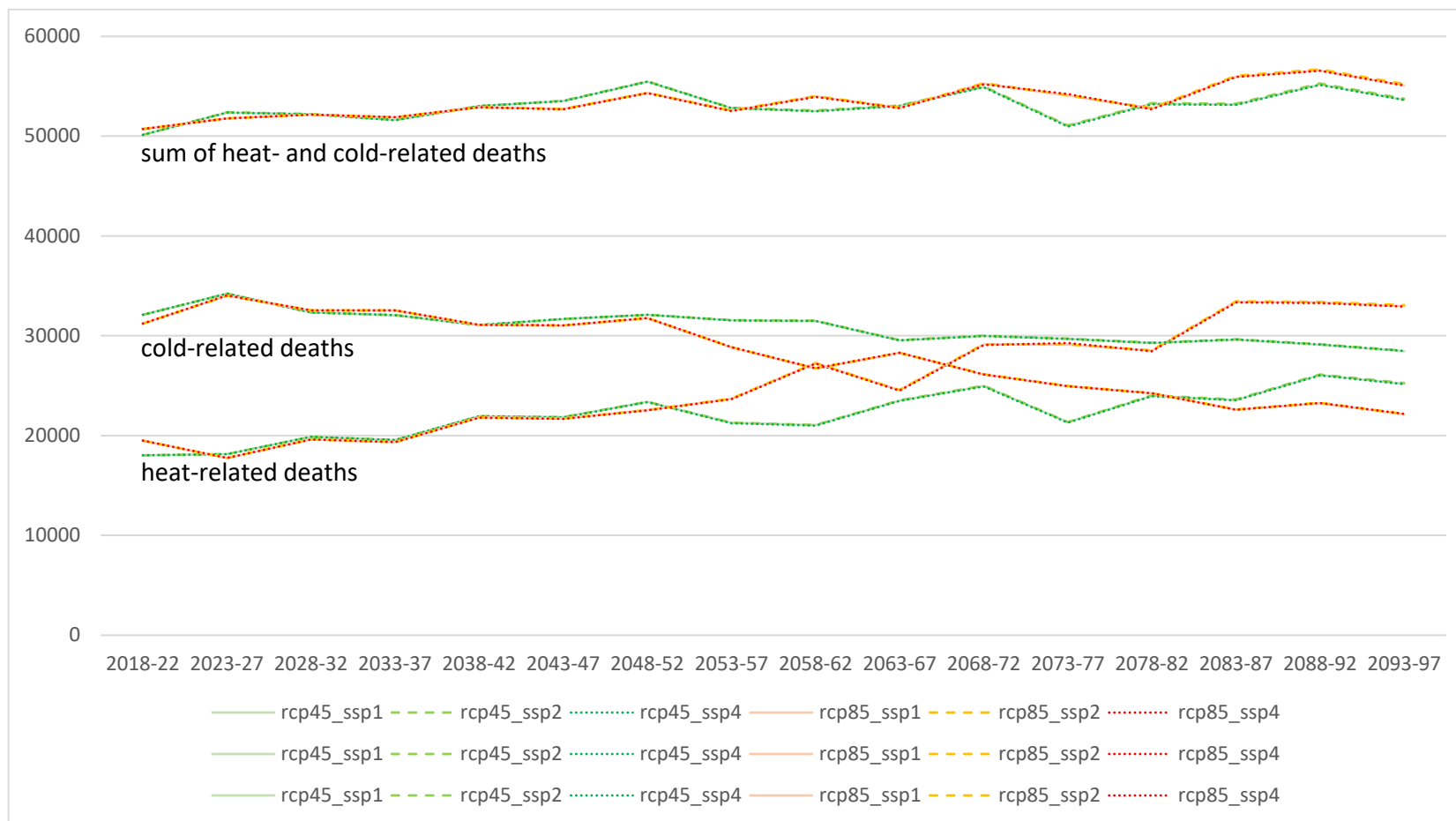


Abbildung 8: Gleich wie Abbildung 7, jedoch unter der Annahme einer konstanten Bevölkerung und allgemeinen Mortalitätsraten. Diese Abbildung stellt daher nur die Auswirkungen des Klimawandels dar. Wie bereits zuvor, ist zu erkennen, dass hitzebedingte Todesfälle bis zur Mitte des Jahrhunderts die kältebedingten Todesfälle übersteigen werden. Insgesamt werden die temperaturbedingten Todesfälle (die Summe aus hitze- und kältebedingten Todesfällen) aufgrund des Klimawandels allein nur leicht ansteigen.

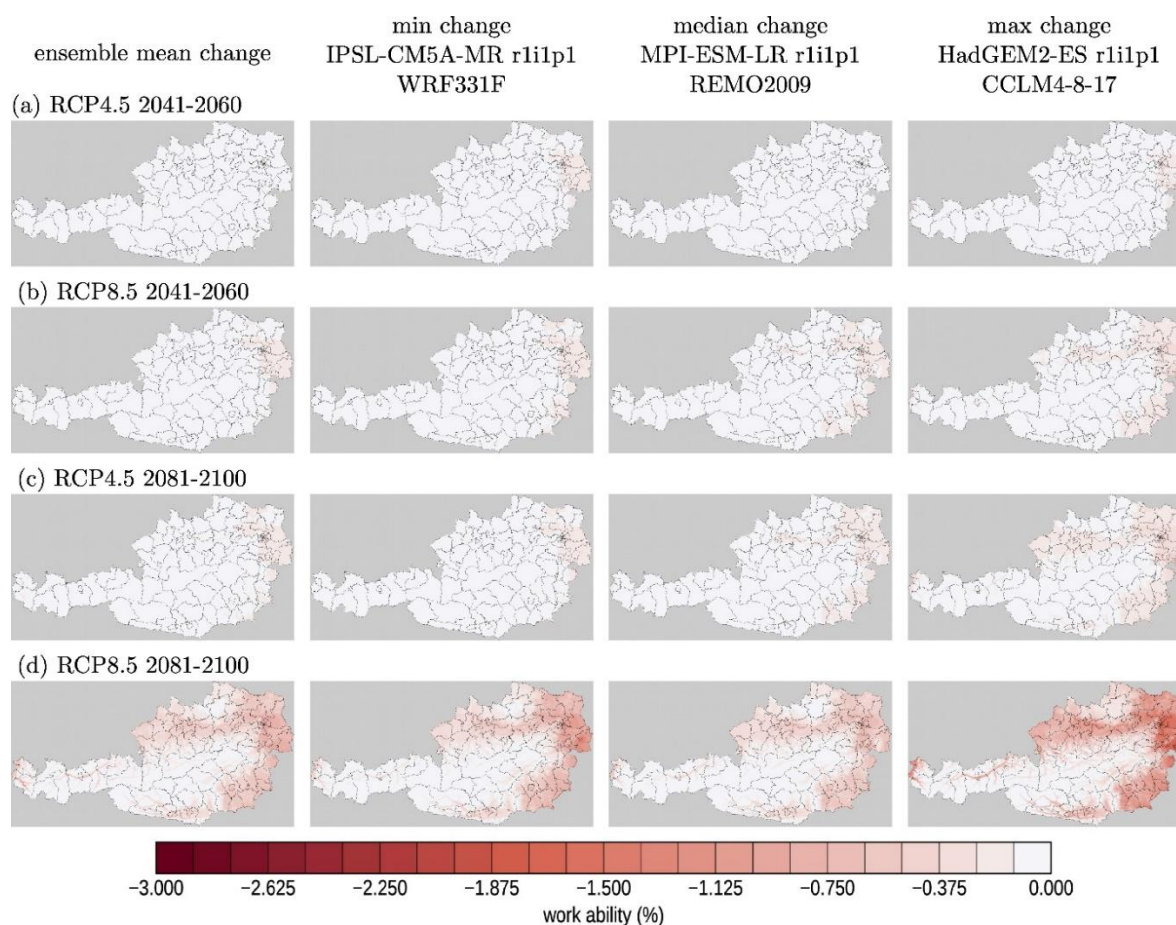


Abbildung 9: Veränderungen der jährlichen Mittelwerte der Arbeitsproduktivität für schwere körperlicher Arbeit im Freien (400 W) im Ensemblemittel: IPSL-CM5A-MR r1i1p1 WRF331F v1, MPI-ESM-LR r1i1p1 REMO2009 v1 und HadGEM2-ES r1i1p1 CCLM4-8-17 repräsentieren jeweils die minimalen, mittleren und maximalen Veränderungen (Spalten von links nach rechts) unter den Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 bis 2041–2060 (obere zwei Zeilen) und 2081–2100 (untere zwei Zeilen), jeweils im Vergleich zur Referenzperiode 1995–2014.

AP5: Economy-wide modelling of distributional effects

Aktivitäten und Methoden

Die Ergebnisse aus den vorhergehenden Aps wurden in einer gesamtwirtschaftlichen Analyse der Risiken von Überschwemmungen und Hitzewellen gebündelt. Zu diesem Zweck wurde ein rekursiv dynamisches „computable general equilibrium“ (CGE) Modell für Österreich verwendet und weiterentwickelt (Bachner, 2024). Dabei lag der Fokus auf der Zerlegung des repräsentativen privaten Haushalts, um eine explizite Darstellung unterschiedlicher sozioökonomischer Gruppen zu ermöglichen, die mit den österreichischen volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung übereinstimmt. Mittels dieses Ansatzes konnten auch indirekte Effekte auf nicht direkt exponierte Haushalte errechnet werden.

Zunächst wurde (Task 5.1) die Input-Output-Tabelle des CGE-Modells durch die Aufteilung des repräsentativen Haushalts in 12 Gruppen erweitert. Diese basieren auf Einkommensquartilen (Q1-Q4) und drei Regionen (städtisch, vorstädtisch, peripher), um Unterschiede in Vulnerabilität und Exposition

gegenüber Klimarisiken abzubilden. Einkommen und regionale Differenzierung wurden als Schlüsselgrößen gewählt, da sie Anpassungsfähigkeit und Risikobelastung maßgeblich beeinflussen. In einem nächsten Schritt (Task 5.2) wurde das Modell auf sechs SSP-RCP-Szenario-Kombinationen kalibriert (SSP1, 2 und 4 mit RCP4.5 und RCP8.5, bis 2080), welche jeweils unterschiedliche sozioökonomischen und demografische Dynamiken beinhalten (insbesondere Einkommensverteilung und Urbanisierung). In den folgenden Schritten (Tasks 5.3 und 5.4) wurden die Modellkopplungen zu AP3 (Hochwasser) und zu AP4 (Arbeitsproduktivitätsverluste) durchgeführt, was schließlich dazu führte, dass zwei verschiedene CGE-Modelle kalibriert wurden, um den unterschieden in der Vulnerabilität gegenüber Hitze und Hochwasser gerecht zu werden. In Task 5.4 wurden die geschätzten Arbeitsproduktivitätsverluste aus AP4 den 12 Haushalten des CGE-Modells zugeordnet. Daten zu drei Arbeitsintensitäten (200W, 300W, 400W) und zwei Standorten (Innen-/Außenbereich) wurden mit georeferenzierten Mikrodaten (Statistik Austria, 2022) abgeglichen. Beschäftigungsdaten ermöglichten eine Modellkalibrierung für „blue-collar“ und „white-collar“ Arbeit. In Task 5.5 wurden schließlich die Auswirkungen verschiedener SSP-RCP-Szenarien bis 2080 auf Verteilungseffekte und gesamtwirtschaftliche Indikatoren wie das BIP analysiert. Überschwemmungs- und Hitzewirkungen wurden in das CGE-Modell integriert: Überschwemmungskosten als Wiederherstellungsausgaben je Haushalt und Hitzewirkungen als Reduktion des Arbeitskräfteangebots basierend auf Produktivitätsverlusten.

Mehr methodische Details sind in Abschnitt C zu finden.

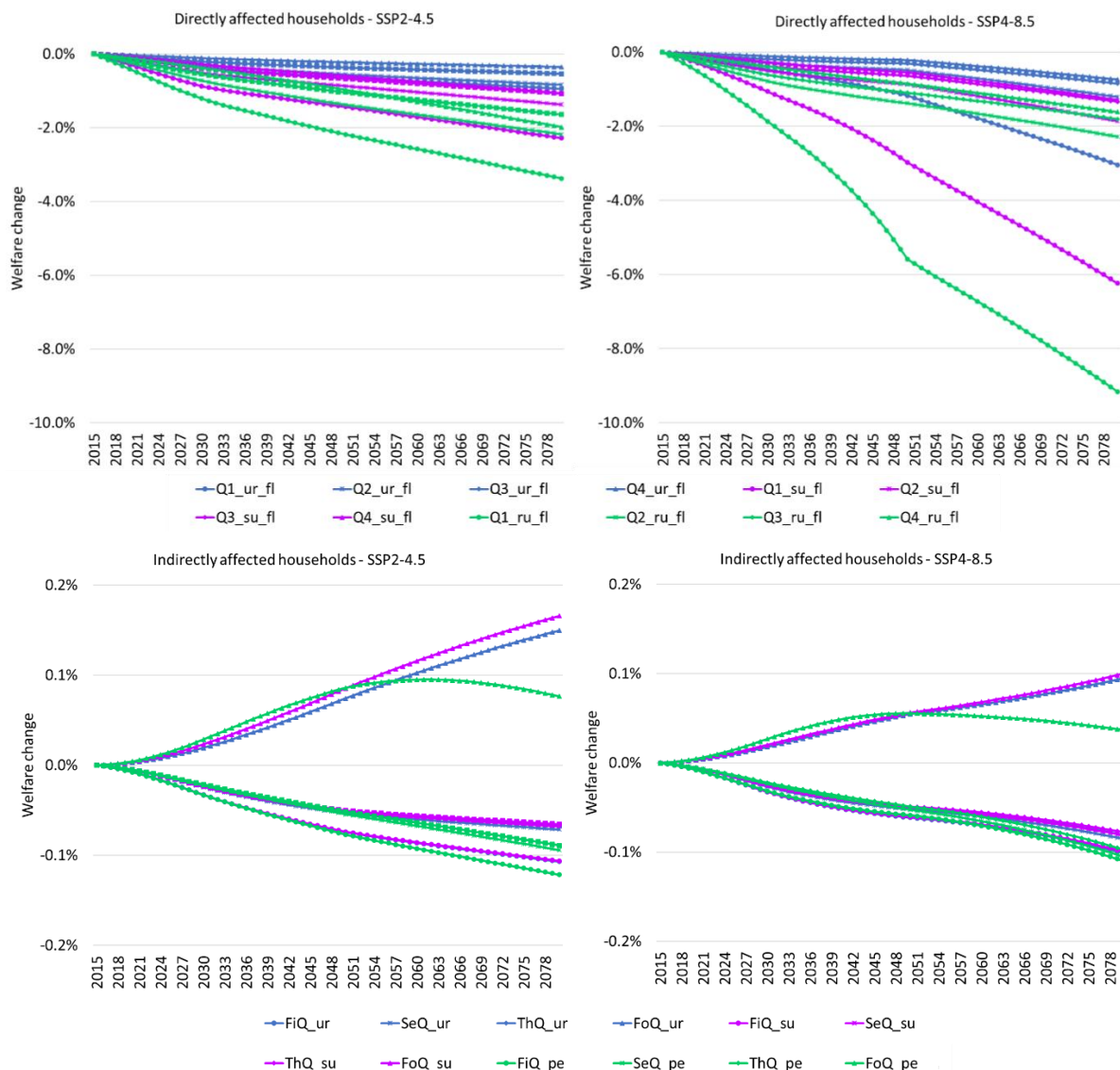


Abbildung 10: Auswirkungen zukünftiger zusätzlicher Hochwasserschäden auf die Wohlfahrt von Haushalten unter SSP2-4.5 (GFDL-ESM2M) und SSP4-8.5 (HadGEM2-ES) bis zum Jahr 2080 im Vergleich zu einer Baseline ohne zusätzliche Hochwasserschäden. Q1–Q4 = Einkommensquartile 1 bis 4; ur = urban; su = suburban; ru = ländlich.

Ergebnisse

Im Rahmen von WP5 wurde eine gesamtwirtschaftliche Analyse der Auswirkungen von Hochwasser sowie von Hitze-induzierten Arbeitsproduktivitätsverlusten durchgeführt, um Wohlfahrtseffekt und deren Verteilung zu berechnen.

Die Ergebnisse bezüglich Hochwasser zeigen, dass die Wohlfahrtsverluste bis 2080 für alle Haushalte, die bereits heute exponiert sind, zunehmen, jedoch mit sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 dargestellt. Besonders für einkommensschwache Haushalte in Vororten und ländlichen Gebieten steigen die Wohlfahrtsverluste deutlich stärker im Vergleich zu städtischen Haushalten. Im SSP2-4.5-Szenario wird 2080 der Wohlfahrtsverlust (zusätzlich zum bereits heutigen Risiko), für das untere Einkommensquartil in ländlichen Gebieten mit 3,4 % und für Haushalte im

unteren Einkommensquartil in Vororten mit 2,2% beziffert (relativ zu einem Baseline Szenario ohne zusätzliche Schäden aus Hochwasser). Dem gegenüber stehen relativ niedrige Wohlfahrtsverlusten für höhere Einkommensquartile, insbesondere in städtischen Gebieten, wo das höchste Einkommensquartil bis 2080 einen zusätzlichen Wohlfahrtsverlust von 0,35% verzeichnet. Im SSP4-8.5-Szenario, ein Szenario mit höherer sozioökonomischer Ungleichheit und einem höheren Erwärmungsniveau, bleiben die qualitativen Muster unverändert, jedoch sind die zusätzlichen Wohlfahrtsverluste erheblich höher und betragen 9,2% bzw. 6,2% für die ländlichen und vorstädtischen unteren Einkommensquartile sowie 0,7% für Haushalte im städtischen vierten Quartil. Interessanterweise zeigt sich, dass es erhebliche indirekt Effekte auch auf jene Haushalte gibt, die nicht direkt von Hochwassern betroffen sind (v.a. durch Konsumpreiseffekte und Kapitalrenten). Wir stellen fest, dass die Wohlfahrtsniveaus der Haushalte im vierten Quartil (städtisch, vorstädtisch und ländlich) im Vergleich zum Baseline-Szenario sogar steigen, da ihr Einkommen positiv durch höhere Kapitalrenten (z.B. Einnahmen aus Vermietung) beeinflusst wird. Alle anderen nicht exponierten Haushalte erleiden ebenfalls Wohlfahrtsverluste. Wiederum sind es die ärmsten Quartile (Q1) in ländlichen und vorstädtischen Gebieten, die am meisten leiden, mit einem Rückgang der Wohlfahrt von mehr als -0,1 %, obwohl sie nicht direkt exponiert sind.

Bezüglich Hitze-induzierten Arbeitsproduktivitätsverluste stellen wir differenzierte Auswirkungen des Klimawandels auf die Arbeitsproduktivität, das BIP und das Wohlstandsniveau in verschiedenen Haushaltsgruppen und Berufsgruppen unter den beiden Emissionsszenarien RCP4.5 und RCP8.5 fest. Die Arbeitsproduktivitätsverluste bis 2080 sind unter RCP4.5 sowohl für Angestellte („white-collar“) als auch für Arbeiter („blue-collar“) minimal und bleiben nahe bei 0%. Unter RCP8.5 jedoch erleben Arbeiter, insbesondere jene im suburbanen vierten Einkommensquartil, signifikant größere Verluste (bis zu -0,35%) im Vergleich zu Angestellten, deren Verluste eher gering bleiben (siehe Abbildung 11 für SSP4-RCP8.5). Die makroökonomische Analyse zeigt, dass die Arbeitsproduktivitätsverluste das BIP Österreichs von 2015 bis 2080 negativ beeinflussen, wobei die Rückgänge unter RCP8.5 stärker ausfallen als unter RCP4.5. Der stärkste BIP-Effekt (-0,05% im Jahr 2080 im Vergleich zu einer Basislinie ohne zusätzliche Arbeitsproduktivitätsverluste) wird in Simulationen mit der Klimamodellkombination MOHC-HadGEM2-ES unter SSP4 beobachtet. Insgesamt zeigen die Ergebnisse klar, dass der Klimawandel insbesondere Arbeiter in Bezug auf Produktivitätseinbußen und Wohlfahrtsverluste überproportional betrifft, wobei eine größere Variabilität je nach gewähltem Klimamodell und Emissionsszenario besteht.

Die Resultate unterstreichen die Bedeutung der Emissionsminderung, um langfristige wirtschaftliche und soziale Auswirkungen zu verringern, und heben die Notwendigkeit gezielter Anpassungsmaßnahmen hervor, um die erhöhte Vulnerabilität spezifischer Bevölkerungsgruppen zu adressieren.

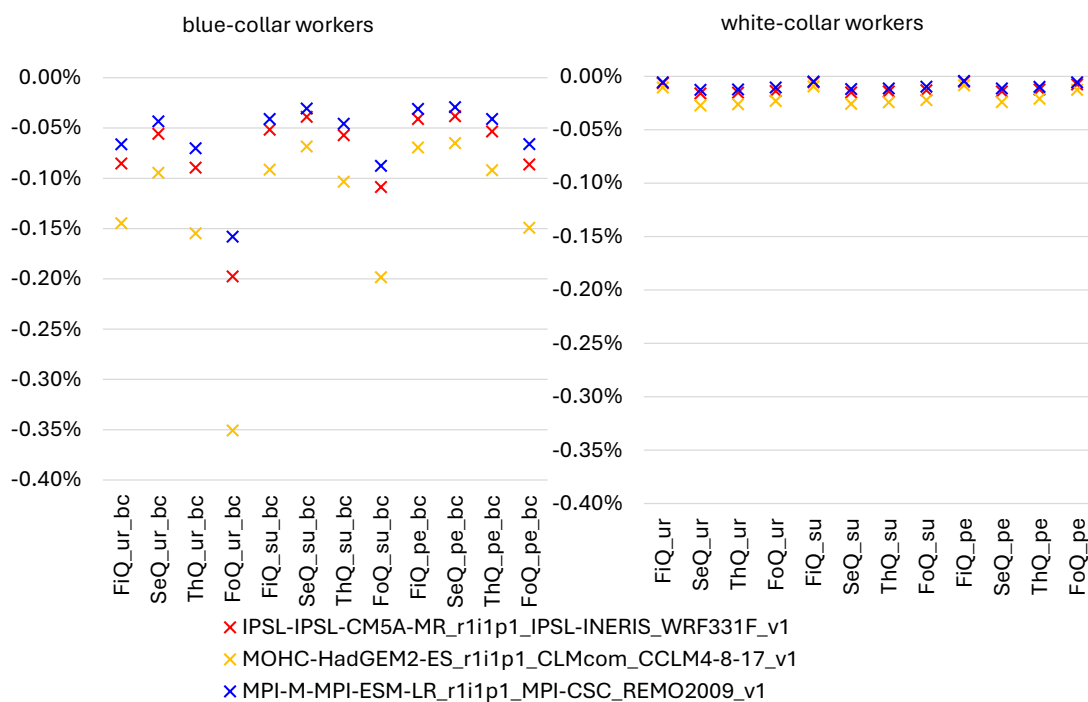


Abbildung 11: Wohlfahrtsverluste im Jahr 2080 unter SSP4-RCP8.5 für Arbeiter*innen („blue-collar“, linke Seite) und Angestellten („white-collar“, rechte Seite). Die Farben kennzeichnen verschiedene GCM-RCM-Kombinationen.

AP6: Stakeholder integration and co-production of knowledge for decision support

Aktivitäten und Methoden

AP6 (Task 6.1) förderte durch Gespräche, Interviews und kontinuierlichen Dialog den Co-Produktionsprozess zwischen Stakeholdern, Experten und dem Projektteam. Dies sicherte die Abstimmung der Methoden auf Anwenderbedürfnisse und erhöhte die Praxisrelevanz der Ergebnisse. Task 6.2 umfasste die Organisation eines Kick-off-Workshops, um den Arbeitsplan und die Methoden mit Stakeholder-Prioritäten abzustimmen und Wissenslücken zu identifizieren. Der Workshop erweiterte die Stakeholderbasis und förderte den Co-Production-Ansatz, indem wissenschaftliche Analysen mit qualitativem Stakeholder-Wissen verknüpft wurden. Erste Anwendungsideen, wie die Bewertung von Fördermaßnahmen oder Checklisten zur Hitzevulnerabilität, wurden entwickelt. Task 6.3 umfasste einen Synthese-Workshop, in dem finale Ergebnisse präsentiert, diskutiert und für Anwender durch zusätzliche Informationen ergänzt wurden. Es wurden Maßnahmen und Rahmenbedingungen für verschiedene Vulnerabilitätsprofile erarbeitet sowie politische Kernbotschaften zur Integration in Anpassungs- und Sozialpolitik entwickelt.

Mehr methodische Details sind in Abschnitt C zu finden.

Ergebnisse

WP6 befasste sich mit der Integration von Stakeholdern, insbesondere durch die Organisation von Workshops und Veranstaltungen, wobei die Ergebnisse in

anderen Arbeitspaketen (insbesondere in WP1 und WP2) verwendet wurden. Um der Nachfrage nach gezielterer, effizienter und gerechterer Anpassung gerecht zu werden (wie sie beispielsweise in der Nationalen Anpassungsstrategie gefordert wird) und um Fehlanpassungen zu vermeiden, produzierte DISCC-AT spezifische Informationen zu multidimensionalen und intersektionalen Verwundbarkeiten verschiedener Bevölkerungsgruppen und reflektierte diese kontinuierlich und prüfte sie im Hinblick auf die Bedürfnisse der Stakeholder und Praktiker zur Entscheidungsunterstützung. Teilnehmer des Syntheseworkshops und des abschließenden Webinars identifizierten ebenfalls Möglichkeiten, diese neuen Informationen in die laufenden Aktivitäten ihrer jeweiligen Institutionen zu integrieren. Eine weitere Möglichkeit, die neuen Informationen, die in DISCC-AT erzeugt wurden, zu nutzen, liegt in der Integration in "Hitzeschutzpläne" von Städten wie Graz, Linz und Wien, um Anpassungsmaßnahmen differenziert nach spezifischen (intersektionalen) Verwundbarkeiten umzusetzen – anstatt pauschaler Maßnahmen für alle Bevölkerungsgruppen gleichermaßen anzuwenden.

Im Allgemeinen stellte der partizipative transdisziplinäre Ansatz des Projekts sicher, dass die Forschungsagenda mit den Bedürfnissen, Erfahrungen und dem Fachwissen der Stakeholder in Einklang gebracht wurde, insbesondere durch einen Workshop zu Beginn des Projekts (bei dem typische Verwundbarkeitsmerkmale und deren Kombinationen systematisch bewertet wurden) und gegen Ende des Projekts (wo die resultierenden kontextbezogenen Verwundbarkeitscluster präsentiert und diskutiert wurden) sowie durch eine Reihe von Dialogen und Interviews mit Experten für Verwundbarkeit und Anpassung während des gesamten Projekts. Diese partizipativen Methoden lieferten qualitative Informationen in Form von Narrativen, die mit den quantitativen Ergebnissen der anderen Arbeitspakete in neues wissenschaftlich und gesellschaftlich robustes Wissen über intersektionale Verwundbarkeiten und Verwundbarkeits-Hotspots integriert werden konnten. Die Co-Produktion von Wissenschaft und Praxis entwickelte ebenfalls Maßnahmen zur Reduzierung der Verwundbarkeiten von besonders vulnerablen Gruppen. In einem abschließenden Webinar wurde die Nützlichkeit der in DISCC-AT erzeugten neuen Informationen, insbesondere der geographisch explizit verfügbaren Informationen (in Form von Karten), von einer breiten Palette von Stakeholdern bestätigt.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Zunächst werden im Folgenden, basierend auf den im Forschungsantrag gestellten Forschungsfragen, Antworten und Schlussfolgerungen sowie konkrete Politikempfehlungen erörtert, gefolgt von detaillierteren Schlussfolgerungen pro Arbeitspaket.

Antworten auf Forschungsfragen

Forschungsfrage #1 + #2

Was sind die Vulnerabilitäten und insbesondere Anpassungskapazitäten von unterschiedlichen sozialen Gruppen, hinsichtlich Hitze und Überflutungsrisiken? Welche sozio-ökonomischen Einschränkungen gibt es hinsichtlich Anpassungskapazitäten?

→ Spezifikation: **Wie überschneiden sich Faktoren der Vulnerabilität gegenüber Hitze und Überflutungsrisiko?**

Unsere Forschung zeigt, dass die allgemeine Vulnerabilität gegenüber Klimarisiken aus einem komplexen Zusammenspiel verschiedener Faktoren entsteht. Durch die Betrachtung der Überschneidungen zwischen diesen Faktoren, wie Geschlecht, Ethnizität, Einkommen, Gesundheitsbeeinträchtigungen, Wohnbedingungen, Behinderungen und Risikobewusstsein, konnten wir unterschiedliche Szenarien der Vulnerabilität gegenüber Hitzestress und Überschwemmungen identifizieren. Insbesondere war die **Vulnerabilität gegenüber Hitze** oft mit niedrigem Einkommen, schlechten Wohnbedingungen und eingeschränkter sozialer Teilhabe aufgrund von Gesundheitsbeeinträchtigungen und Alter verbunden. Auch alleinerziehende Haushalte mit niedrigem Einkommen und geschlechtsspezifischen Betreuungsaufgaben waren besonders gefährdet. Die Ergebnisse unterstreichen, dass bestehende Ungleichheiten wie Armut, Diskriminierung und ungleicher Zugang zu Ressourcen und Infrastruktur (z.B. Gesundheitsversorgung oder Grünflächen) zentrale Treiber der sozialen Vulnerabilität gegenüber Klimarisiken sind und die Anpassungskapazitäten einschränken können.

Neben den qualitativen Erkenntnissen aus dem Co-Creation-Prozess wurden die Faktoren, die die Anfälligkeit gegenüber Hitze bestimmen, durch eine Literaturrecherche und eine quantitative epidemiologische Bewertung für Österreich untersucht. Diese bestätigte die meisten der aus der Literatur und dem Co-Creation-Prozess bekannten Faktoren als Treiber für übermäßige Sterblichkeit: Personen mit geringem Einkommen, ältere Menschen, Kinder, (schwängere) Frauen, städtische Bevölkerung, Arbeiter*innen (v.a. im Außenbereich), Migrant*innen, sozial Isolierte und Menschen mit medizinischen Bedingungen (insbesondere kardiovaskuläre, respiratorische, Nieren- und psychische Erkrankungen) sind anfälliger für Hitze. Wir stellen fest, dass sozioökonomische Variablen auf vielfältige Weise miteinander verbunden sind und mit Merkmalen assoziiert werden können, die hitzebedingte Gesundheitsrisiken beeinflussen. Menschen, die in Armut leben, wohnen oft in Stadtvierteln mit weniger Grünflächen und höheren Temperaturen. Die Sterblichkeit während Hitzewellen ist in Bezirken mit einem geringen Anteil an Grünflächen höher. Die Analysen auf Bezirks-Ebene zeigt, dass der Anstieg der hitzeassoziierten Sterblichkeit in ganz Österreich bereits jetzt den Rückgang der kältebedingten Todesfälle übersteigt. Aufgrund des fortschreitenden Temperaturanstiegs sind in nahezu allen Szenarien in Zukunft mehr temperaturbedingte Todesfälle zu erwarten. Daher sind gezielte

Anpassungsmaßnahmen wichtig, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels und des steigenden Hitzestress zu mildern. Diese Maßnahmen sollten sich auf die Bevölkerungsgruppen konzentrieren, die mehrere der oben genannten Anfälligkeiten aufweisen. Die Bekämpfung der Ursachen sozioökonomischer Ungleichheit und/oder Umweltungerechtigkeit wird nicht nur den größten Einfluss auf die Anpassung an die Hitzeauswirkungen haben, sondern auch andere soziale Vorteile bieten.

In Bezug auf **Überflutungsrisiko** stellen wir fest, dass (niedriges) Einkommen eine erhebliche Barriere für die Anpassung darstellt, insbesondere bei der Umsetzung von risikoreduzierenden Maßnahmen auf Immobilienebene und beim Abschluss einer Hochwasserversicherung. Bei der Versicherungsdeckung hat die Versicherungsprämie starken Einfluss. Wichtige sozioökonomische Hindernisse für den Abschluss einer Versicherung sind das Einkommen, aber auch potentielle Fehleinschätzungen des eigenen Überflutungsrisikos, die durch gezielte politische Maßnahmen überwunden werden können. Daher haben wir quantitativ bewertet, wie die Anfälligkeit gegenüber Überschwemmungen, in Form von unversicherten Immobilienschäden, durch risikoreduzierende Maßnahmen der Eigentümer und durch Versicherungsschutz verringert werden kann. Wir kommen zu dem Schluss, dass ein Entschädigungssystem mit obligatorischem Versicherungsschutz und begrenzten risikobasierten Prämien eine hohe Deckung gewährleistet und gleichzeitig risikoreduzierende Maßnahmen durch die Versicherungsnehmer fördert. Wir haben weiters untersucht, wie sich die Anpassungsfähigkeiten zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen unterscheiden und festgestellt, dass diese für ländlichen Gruppen bzw. Haushalte (im Vergleich zu städtischen), tendenziell niedriger ist.

Forschungsfrage #3

Wie kann der öffentliche Sektor Anpassungskapazitäten erhöhen, wo dies am dringendsten notwendig ist?

Wir stellen fest, dass Sozialpolitik stark mit einer gerechten (öffentlichen) Anpassung an den Klimawandel verbunden ist, insbesondere wenn man die Verwundbarkeiten der Menschen, ihre Treiber und die resultierenden Fähigkeiten betrachtet. Das Einkommen hat sich als sehr wichtig erwiesen, doch bedeutet ein höheres Einkommen allein (d.h. eine bloße Umverteilung des Einkommens) nicht unbedingt eine Erhöhung der Anpassungsfähigkeiten. So spiegelt das Einkommen verschiedene intersektionale Faktoren (wie Bildung, Gesundheitszustand, Wohnort in der Nähe von Grünflächen) in einem Indikator wider. Sozialpolitik kann helfen, diese Faktoren zu verbessern, was sich in besserer Anpassungskapazität und höherem Einkommen materialisieren würden.

Darüber hinaus haben wir festgestellt, dass der öffentliche Sektor ein starkes Interesse und einen großen Einfluss auf die Festlegung von Versicherungsprämien (gegen Hochwasser) und auf Anreize zur Erhöhung der Durchdringung von Versicherung in der Gesellschaft hat. Davon ausgehend, dass die derzeitige öffentliche Regelung der *ad hoc* Entschädigung geändert werden muss, gibt es mehrere Entscheidungen hinsichtlich des Hochwasserschutzes und des Designs des Versicherungsmarktes zu treffen. Wir stellen fest, dass die Verbesserung der Hochwasserschutzinfrastruktur, so dass überall mindestens einem 100-jährlichen Hochwasser standgehalten wird, die Lücke im Hochwasserversicherungsschutz erheblich verringern kann. Eine effektivere (kostengünstigere) Politik besteht

jedoch darin, eine obligatorische Versicherungsdeckung einzuführen und ein Maß an Risikostreuung durchzusetzen, um zu vermeiden, dass sich manche Haushalte aus Kostengründen nicht versichern können. Ein Versicherungssystem, das einen öffentlichen Regulierer und Rückversicherer sowie private Erstversicherer einbezieht, balanciert die wichtigen Ziele der Bereitstellung einer erschwinglichen Deckung und der Förderung risikobewusster Entscheidungen durch die Versicherungsnehmer gut aus. Neben diesen Maßnahmen zur Verbesserung der Leistbarkeit von Versicherung in Hochrisikozonen können die Prämien über einen Katastrophenfonds subventioniert werden, ähnlich wie die österreichische Hagelversicherungsregelung.

Die entwickelten Risikoprofile und Karten des sozialen Überschwemmungsrisikos zeigen, wo die öffentliche Anpassung gegen Hitzestress und Überschwemmungsrisiko unter Gerechtigkeitsgesichtspunkten priorisiert werden sollte. Dies ermöglicht eine gezielte Steigerung der Anpassungsfähigkeiten. Die makroökonomische Bewertung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Hitze zeigt darüber hinaus, wo wirtschaftliche Nachteile durch den Klimawandel entstehen oder verstärkt werden. Dies kann als Entscheidungsgrundlage für weitere Risikomanagement-Politiken dienen.

Forschungsfrage #4

Wer trägt die Wohlfahrtskosten von Klimawandel-induzierten Überflutungen und Gesundheitsauswirkungen und wer profitiert von öffentlicher Anpassung?

Die Hochwassermodellierung zeigt, dass die wirtschaftliche Belastung durch zukünftige Überflutungen unverhältnismäßig stark von ländlichen und einkommensschwachen Haushalten getragen wird. Dies lässt sich teilweise durch niedrigere Hochwasserschutz-Niveaus in ländlichen Gebieten und somit höhere Schäden dort erklären. Auch bei den Wiederherstellungskosten zeigt sich deutlich, dass diese für einkommensschwache Haushalte im Vergleich zu einkommensstarken Haushalten eine größere Belastung darstellen. Wir sehen, dass diese Diskrepanzen bis 2080 zunehmen, insbesondere in Szenarien mit wachsenden sozioökonomischen Ungleichheiten.

Höhere Hochwasserschutzstandards sind somit besonders vorteilhaft, um relative Wohlfahrtsverluste für einkommensschwache Gruppen zu vermeiden. Dies hat Implikationen für die Priorisierung zukünftiger Hochwasserschutzinfrastruktur, die derzeit hauptsächlich auf die Exposition von Vermögenswerten abzielt, anstatt auf die sozioökonomischen Merkmale der betroffenen Bevölkerung. Dies ist auch für die Gestaltung zukünftiger Risikostreuungssysteme relevant, bei denen eine Versicherungsdeckung zu erschwinglichen Preisen entscheidend ist, um diese Unterschiede zumindest in Bezug auf die finanziellen Auswirkungen von Überschwemmungen zu verringern.

Hinsichtlich Hitzestress stellen wir fest, dass die durch Hitze verursachten Produktivitätsverluste des Faktors Arbeit in Österreich bis 2080 lokal bis zu -1,9% erreichen könnten, wobei insbesondere die östlichen Regionen betroffen sind. Unter dem Szenario RCP4.5 (+2.1 bis 3.5°C) bleiben die Verluste sowohl für Büros als auch für Industriearbeiter minimal, aber unter einem Hoch-Emissions-Szenario (RCP8.5 mit +3,3 bis 5,7°C) sind Industriearbeiter – insbesondere diejenigen in einkommensschwachen Vororten – stärker betroffen, mit Rückgängen von bis zu -0,35%. Langfristig bedeutet dies Einkommensverluste für die arbeitende

Bevölkerung, insbesondere für jene, die im Freien arbeiten. Die Verluste bei Büroangestellten bleiben in jedem Szenario sehr gering, da diese körperlich weniger belastet sind.

Forschungsfrage #4

Gibt es ein Risiko für öffentliche Fehlanpassung aus einer Gerechtigkeitsperspektive?

Es besteht ein Risiko der Fehlanpassung (Maladaptation), wenn Verwundbarkeiten – und insbesondere ihre Ursachen und intersektionalen Faktoren – nicht wirksam adressiert werden. Verwundbarkeiten resultieren oft aus bereits bestehenden sozialen Ungleichheiten, die Ansatzpunkte für öffentliche und gerechte Anpassung sein können. Anpassungspolitiken, die diese Ungleichheiten nicht reduzieren, bergen das Risiko öffentlicher Fehlanpassung. Ein Beispiel ist die Förderung und Subventionierung von individuellen Kühlmaßnahmen (z.B. Klimaanlage). Solche Subventionen könnten für bestimmte marginalisierte Gruppen (wie einkommensschwache Haushalte oder Haushalte mit Sprachbarrieren) unzugänglich sein, während sie durch höhere Energiepreise (aufgrund des insgesamt höheren Energiebedarfs) oder Lärm und Abwärme betroffen sein könnten und sich ihre Situation dadurch verschlechtert.

Darüber hinaus kann es zu öffentlicher Fehlanpassung kommen, wenn die Verantwortung für die Anpassung auf marginalisierte Gruppen verlagert wird und sich der öffentliche Sektor (zu früh) auf deren eigene Anpassungsfähigkeiten verlässt, ohne strukturelle Probleme (wie z.B. unzureichenden und unerschwinglichen Wohnraum oder schlechte Arbeitsbedingungen) gelöst zu haben.

Außerdem besteht ein Risiko der öffentlichen Fehlanpassung, wenn gefährdete Gruppen nicht ausreichend an der Gestaltung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen beteiligt sind. Der Ausschluss bestimmter vulnerabler Gruppen kann zu Top-down-Entscheidungen führen, die die Lebensrealitäten, Bedürfnisse und Fähigkeiten der am stärksten von Überschwemmungen und Hitzestress Betroffenen übersehen. Als Ergebnis könnten Anpassungsmaßnahmen scheitern, marginalisierten Gruppen zu nutzen – zum Beispiel, wenn Arbeitsvorschriften ohne Beteiligung von hitzebetroffenen Arbeitern gestaltet werden.

Bezüglich Hochwasser stellen wir fest, dass es eine Diskrepanz zwischen öffentlichen Investitionen in den Hochwasserschutz und hohem „sozialem Hochwasserrisiko“ gibt. Unterschiede in der (sozialen) Verwundbarkeit werden bei großangelegten physischen Anpassungsinvestitionen nicht berücksichtigt. Es sollten daher gezielt gefährdete Gruppen unterstützt werden, die weniger von physischen Anpassungsinvestitionen profitieren.

Forschungsfrage #5:

Wie kann gerechte Anpassung in existierende Strukturen des Sozialsystems und des Versicherungssystems und integriert werden?

In bestehenden Aktivitäten wie dem *Naturegefahrencheck* ist die Integration von sozialen Verwundbarkeitsindikatoren entscheidend, damit gefährdete Gruppen in systematischer identifiziert werden können und sichergestellt wird, dass Anpassungsmaßnahmen und -politiken diejenigen unterstützen, die sie am meisten benötigen. Die Integration einer gerechten Anpassung in bestehenden

Strukturen erfordert eine intersektionale Perspektive, die überlappende Treiber der Verwundbarkeit in Anpassungspolitiken berücksichtigt. Unsere Zusammenarbeit mit Stakeholdern deutet darauf hin, dass die Ursachen der Verwundbarkeit nicht allein durch technische oder rein wirtschaftliche Anpassungspolitiken angegangen werden können. Stattdessen müssen sie mit robusten Sozialpolitiken kombiniert werden, um die unmittelbaren Klimaauswirkungen abzufedern und die Treiber der Verwundbarkeit langfristig zu bekämpfen.

Neue Anpassungspolitiken sollten in enger Zusammenarbeit mit gefährdeten Gruppen und diversen Stakeholdern entwickelt werden, um prozedurale Gerechtigkeit zu gewährleisten. Partizipation stellt sicher, dass Maßnahmen nicht nur effektiv, sondern auch legitim sind. Wege für Sozialpolitiken, die zu einer gerechten Anpassung an den Klimawandel beitragen, sind in Tabelle 4 für die nationale und regionale/lokale Ebene aufgeführt (wobei die Grenzen nicht immer eindeutig sind).

Tabelle 4: Zu stärkende oder neue sozialpolitische Maßnahmen, die zu gerechter Klimawandelanpassung beitragen können.

Nationales Level	Regionales/lokales Level
<ul style="list-style-type: none"> • Einführung einer Mindestenergiesicherheit • Etablierung von Hitze und Gesundheit als Schwerschnitts-Thema in der Politik • Weiterentwicklung des „Wohlfahrtsstaates“ durch die Etablierung eines armutsfesten Sozialsystems (z.B. Reform der Grundsicherung und Notfallhilfe), das Menschen in die Lage versetzt, sich selbst zu versorgen, z.B. durch Bildung (nicht nur ein reines Transfersystem). • Erweiterung und Differenzierung von Warnsystemen • Entwicklung einer nationalen Strategie zur Reduzierung von Obdachlosigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Integration gefährdeter Gruppen in Bau-, Stadt- und Raumplanung • Begrünung und Kühlung von Wohngebäuden • Ermutigung von KLAR!-Regionen, transformative Maßnahmen zu ergreifen • Anpassung sozialer Institutionen an den Klimawandel • Sensibilisierung durch verschiedene Kanäle auf kommunaler Ebene • Entsiegelung und Frischluftschneisen

Spezifische Politikempfehlungen

Neugestaltung des Katastrophenfonds

Ein zentrales Instrument im Kontext des Hochwasserrisikos ist die Entschädigung nach Hochwasserereignissen aus öffentlichen Mitteln, dem Katastrophenfonds. Im Kontext einer gerechten Anpassung stellen wir fest, dass das derzeitige Entschädigungssystem jedoch verändert werden muss, sowohl im Interesse der von Hochwasser gefährdeten Bevölkerung als auch der öffentlichen Finanzen. Wir untersuchen verschiedene Hochwasserversicherungsregelungen, die das derzeitige System ersetzen könnten, hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Chancengleichheit beim Zugang zur Versicherungsdeckung zu gewährleisten. Ein rein privat organisiertes Versicherungssystem würde in dieser Hinsicht schlecht abschneiden, während ein System, das von privaten Versicherern und einem öffentlichen Rückversicherer und Regulierer betrieben wird, zu einer hohen Zugänglichkeit zur Versicherungsdeckung für alle Haushalte führen könnte.

Effektive Zonierungsvorschriften

Die Ergebnisse der Hochwassermodellierung zeigen, dass die Ungleichheit zunimmt, da Klima- und sozioökonomischer Wandel das Risiko bis 2080 erhöhen – dies wirft nicht nur Fragen zur Finanzierung des Risikos auf, sondern zeigt auch die potenzielle Wirksamkeit zusätzlicher Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements und effektiver Zonierungsvorschriften zur Reduzierung der zukünftigen Exposition.

Verschiebung des Fokus auf soziales Hochwasserrisiko anstelle von wertbasiertem Risiko

Unsere Bewertung des sozialen Hochwasserrisikos gibt kein klares Bild davon, wo die Bemühungen im Hochwasserrisikomanagement aus einer sozialen Perspektive priorisiert werden sollten. Diese Erkenntnis stellt die Entscheidungsfindungen in Frage, die ausschließlich auf Kosten-Nutzen-Analysen (CBA) basieren – eine Anforderung für groß angelegte Projekte in Österreich – da diese Analysen Nutzen basierend auf der Summe vermiedener Schäden bewerten. Diese Methode neigt dazu, Unterschiede in der Vulnerabilität zu ignorieren und Investitionen in den Hochwasserschutz in dicht besiedelte Gebiete oder Gebiete zu lenken, in denen die Menschen relativ wohlhabend sind.

Einkommensabhängige Darlehens- oder Subventionsprogramme für private Anpassung

Ein einkommensabhängiges Darlehens- oder Subventionsprogramm kann eingesetzt werden, um die Anwendung von Anpassungsmaßnahmen auf Immobilienebene durch einkommensschwache Haushalte zu fördern. Eine weitere Möglichkeit, Anpassungsmaßnahmen auf Immobilienebene zu stimulieren, besteht darin, strenge hochwasserresistente Bauvorschriften für Neubauten zu implementieren. Sowohl Subventionen als auch Bauvorschriften werden in Niederösterreich in gewissem Umfang umgesetzt und bieten ein potenzielles Modell, dem andere Bundesländer folgen können. Solche Reformen könnten auch auf das Hitze-Risiko übertragbar sein, erfordert jedoch weitere Untersuchungen.

Berücksichtigung sowohl sozioökonomischer als auch klimatischer Veränderungen in der zukünftigen Planung

Unsere Analysen unterstreichen die Bedeutung der Einbeziehung zukünftiger klimatischer **und** sozioökonomischer Entwicklungen in das Hochwasserrisikomanagement sowie in die Anpassung an die Hitze. Angesichts der alternden Bevölkerung Österreichs ist die Berücksichtigung des demografischen Wandels von entscheidender Bedeutung.

Detaillierte Schlussfolgerungen aus den Arbeitspaketen

AP1: Homogene Konzepte von Verletzlichkeit sind unzureichend, um die Komplexität abzubilden, wer in Österreich gegenüber Klimarisiken verletzlich ist. Frühere Studien haben Verletzlichkeit häufig über breite demografische Gruppen wie ältere Menschen, Frauen, armutsbetroffene Personen oder Migrant*innen kategorisiert. Unsere Forschung zeigt jedoch – im Einklang mit zahlreichen Studien zur Intersektionalität (z.B. Versey 2021) – dass Verletzlichkeit aus einem nuancierten Zusammenspiel intersektionaler Faktoren entsteht. Durch die Berücksichtigung der Schnittstellen zwischen Merkmalen wie Geschlecht, Einkommen, gesundheitlichen Beeinträchtigungen, Wohnverhältnissen, Behinderung und Risikobewusstsein konnten unterschiedliche Narrative von Verletzlichkeit identifiziert werden. So war etwa Vulnerabilität gegenüber Hitze häufig mit niedrigem Einkommen, schlechten Wohnverhältnissen sowie eingeschränkter sozialer Teilhabe aufgrund gesundheitlicher Beeinträchtigungen und Alter assoziiert. Auch alleinerziehende Haushalte mit niedrigem Einkommen und geschlechtsspezifischen Pflege/Sorge-Verpflichtungen zeigten eine erhöhte Verwundbarkeit. Die Ergebnisse unterstreichen, dass bestehende Ungleichheiten – wie Armut, Diskriminierung sowie ungleicher Zugang zu Ressourcen und Infrastrukturen (z.B. Gesundheitsversorgung oder Grünflächen) – zentrale Treiber sozialer Verletzlichkeit gegenüber Klimarisiken darstellen.

Anpassungspolitiken und -maßnahmen sollten daher eine intersektionale Perspektive einnehmen, die die komplexen und sich überlagernden Faktoren von Verletzlichkeit miteinbeziehen. Darüber scheint es erforderlich zu sein, Anpassungsmaßnahmen mit umfassenderen sozialpolitischen Strategien zu verbinden, um die Ursachen von Verletzlichkeit zu adressieren, die im Rahmen dieser Studie zwar nicht im Fokus standen, jedoch teilweise aus der Analyse hervorgingen. Ein solcher integrierter Ansatz ist essenziell, um sowohl die unmittelbaren Auswirkungen von Klimarisiken auf besonders verletzbare Gruppen abzufedern als auch die strukturellen Treiber sozialer Verletzlichkeit zu adressieren und so eine sozial gerechte Klimaanpassung zu fördern.

AP2: Die ÖKS15-Methodik, basierend auf der univariaten SDM-Methode, erwies sich bei der Korrektur des Bias in den beiden Basisvariablen TAS (Temperatur) und TD (Taupunkttemperatur) als effektiv. Allerdings wurden einige Defizite hinsichtlich der intervariablen Konsistenz zwischen TAS und der relativen Luftfeuchtigkeit festgestellt, wobei die korrigierten Modelle eine höhere Anzahl gesättigter Tage im Vergleich zur SPARTACUS-Referenz zeigten. Diese überrepräsentierten gesättigten Tage treten überwiegend außerhalb der warmen Jahreszeit auf und sollten daher nur einen geringen Einfluss auf die Projektionen hitzebedingter Auswirkungen haben. Zudem zeigte sich, dass die Projektionen der zugrundeliegenden EURO-CORDEX-Modelle kälter sind als jene der CMIP5- und CMIP6-Ensembles. Auch das mittlere ÖKS15-Ensemble ist kälter als die in den letzten Jahren beobachteten Werte. Dennoch liegen die beobachteten Änderungen weiterhin innerhalb der Bandbreite der in ÖKS15 projizierten Zukünfte. Da das Ensemble einen Bereich möglicher Zukünfte beschreibt, der die

beobachteten Werte weiterhin einschließt, können die ÖKS15-Szenarien weiterhin als valide angesehen werden. Nichtsdestotrotz bildet ÖKS15 im Vergleich zu CMIP5 eine geringere Bandbreite möglicher Zukünfte ab, insbesondere am oberen Rand, mit einer Unterschätzung von etwa 2°C für den Sommer bis zum Ende des Jahrhunderts unter dem Hochemissionsszenario RCP8.5. Zusammen mit der mittleren Abweichung zu den in den letzten Jahren beobachteten Werten könnte dies bedeuten, dass die ÖKS15-Projektionen das obere Ende der zukünftigen sommerlichen Erwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 2,5°C unterschätzen.

Die Analyse von sozio-ökonomischen Daten, überlagert mit klimatologischen Indikatoren zu Hitze, erlaubten eine differenzierte Darstellung der **Hitzebelastung** in der österreichischen Bevölkerung im Sinne von **Risiko-Profilen**, heute und in Zukunft. Der größte Anteil der als hoch vulnerabel eingestuften Bevölkerung entfällt auf Risiko-Profile, die von geringem Einkommen, Alleinerzieher*innen-Status und Wohnort in Hitzeinseln geprägt (sowohl in urbanen als auch in rural Gebieten) sind. Durch die Integration der erarbeitenden Vulnerabilitäts-Profile mit Klima-, demografischen und sozioökonomischen Szenarien wurde auch ein Bild möglicher Zukunftsszenarien gezeichnet. Im Szenario SSP4 beispielsweise verschärft sich die Einkommensungleichheit, wodurch im Jahr 2080 unter RCP8.5 rund 74 % der Bevölkerung in Hochrisiko-Cluster fallen, während dieser Anteil heute bei lediglich 23% liegt.

AP3: Die Analysen zu **Hochwasserrisiko** zeigten, dass Hochwasserrisikoabschätzungen, die heterogene Vulnerabilität gegenüber Hochwasser unter Berücksichtigung sozioökonomischer Indikatoren einbeziehen, erhebliche Unterschiede, im Vergleich zu herkömmlichen Ansätzen, die Hochwasserrisiken lediglich anhand ökonomischer Werte von Vermögenswerten bewerten, hinsichtlich der Lokalisierung von Risikohotspots aufweisen. Hochwasserrisikomanagement sollte daher die heterogene Vulnerabilität gegenüber Hochwasser berücksichtigen, insbesondere bei Entscheidungen über die Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen, insbesondere bei langfristigen und kapitalintensiven Projekten. In Gebieten mit hohem sozialem Hochwasserrisiko, aber vergleichsweise geringem physischem Hochwasserrisiko könnten weniger kapitalintensive Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden, wie die Entwicklung adäquater Evakuierungspläne, die Förderung von Maßnahmen zur Risikoreduktion auf Haushaltsebene sowie die Einführung eines erschwinglichen und robusten Mechanismus zur Entschädigung von Hochwasserschäden.

Darüber hinaus wurde gezeigt, dass in Österreich derzeit eine erhebliche Lücke im Bereich **Hochwasserversicherung** und Anpassungsschutz besteht. Infolge dessen müssen nach einem Hochwasserereignis Haushalte und öffentliche Institutionen Finanzmittel umschichten, um nichtversicherte Schäden zu decken. Verbesserungen im Hochwasserschutz bieten kurzfristige Vorteile zur Verringerung dieser Schutzlücke, werden jedoch im Zuge des Klimawandels zunehmend weniger wirksam. Daher sollte die Versicherungsabdeckung

verbessert werden, entweder durch eine Ausweitung oder eine Einschränkung der Leistungen des Katastrophenfonds. Letzteres würde die Etablierung eines privaten Hochwasserversicherungsmarktes ermöglichen, der durch staatliche Rückversicherungen unterstützt werden könnte. Die Ergebnisse zeigen, dass eine staatliche Beteiligung an der Bereitstellung von Hochwasserversicherung vorteilhaft ist, um Gerechtigkeit hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit an Hochwasser zu gewährleisten und um zunehmender soziale Ungleichheit in der Vulnerabilität entgegenzuwirken. Die österreichische Regierung sollte deshalb ein gewisses Maß an Risikoteilung sicherstellen; ggf. auch über Pflichtversicherung. Ein begrenzter risikobasierter Prämienansatz kann zusätzlich Anreize für Anpassungsmaßnahmen schaffen.

AP5: Die makroökonomische Analyse des **Hochwasserrisikos** zeigte, dass Haushalte mit niedrigem Einkommen, insbesondere in ländlichen und suburbanen Gebieten, aufgrund niedrigerer Schutzniveaus im Vergleich zu Städten überproportional hohe Hochwasserschäden erleiden. Bis 2080 erreichen unter SSP2-4.5 die Wohlfahrtsverluste für die einkommensschwächsten Gruppen in ländlichen Gebieten 3,4% (Im Vergleich zu Referenzszenario ohne zusätzliche Schäden), während sie für einkommensstarke städtische Haushalte lediglich 0,35% betragen. Unter SSP4-8.5 (höhere Ungleichheit und stärkere Erwärmung) vergrößern sich diese Unterschiede weiter: Ländliche und suburbane Haushalte mit niedrigem Einkommen müssen mit Wohlfahrtsverlusten von bis zu 9,2% bzw. 6,2% rechnen, während wohlhabendere Haushalte lediglich Verluste von 0,7% erfahren. Auch nicht exponierte Haushalte sind betroffen: Während wohlhabendere Haushalte von steigenden Kapitalpreisen profitieren könnten, verzeichnen ärmere, nicht exponierte Haushalte – die über keine nennenswerten Kapitalanlagen verfügen – Wohlfahrtsverluste von über 0,1%. Diese ungleiche Verteilung der Auswirkungen erfordert gezielte politische Interventionen, die insbesondere einkommensschwache und ländliche Bevölkerungsgruppen priorisieren, um eine weitere Verschärfung innerstaatlicher Wohlfahrtsungleichheiten zu vermeiden.

Im Hinblick auf **hitzebedingte Arbeitsproduktivitätsverluste** zeigen unsere Ergebnisse, dass die haushaltsspezifischen Wohlfahrtseffekte deutlich stärker ausfallen als auf aggregierter Ebene. Dies deutet auf eine sehr heterogene Kostenverteilung hin, wobei insbesondere Arbeiter*innen im handwerklichen und industriellen Bereich („Blue-Collar“-Arbeiter*innen) am stärksten betroffen sind. Die Auswirkungen nehmen nach 2050 deutlich zu, weshalb weiterer Forschungsbedarf insbesondere hinsichtlich der langfristigen Folgen heutiger Anpassungspolitiken für die Zeit nach 2050 besteht. Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind insgesamt gering. Obwohl die Effektgrößen im Vergleich zu anderen klimatischen Risiken relativ klein sind, sind die Wohlfahrtsverluste unter RCP8.5 über alle SSPs hinweg bis zu viermal höher als unter RCP4.5. In Übereinstimmung mit den direkten Auswirkungen sind auch die makroökonomischen Einbußen für „Blue-Collar“-Arbeiter*innen im Vergleich zu „White-Collar“-Beschäftigten (Angelstellten) um den Faktor zehn stärker

ausgeprägt. Daraus ergibt sich, dass Anpassungspolitiken gezielt bestimmte Bevölkerungsgruppen adressieren sollten.

AP6: In den Stakeholder-Prozessen wurde neben der Identifizierung von wichtigen Indikatoren der Vulnerabilität (die zur Erstellung der Risiko-Profile dienten) auch eine Fülle an konkreten Maßnahmen, die speziell auf vulnerable Gruppen abzielen, erarbeitet. Diese sind in Tabelle 5-Tabelle 7 dargestellt, getrennt nach den Risiken Hochwasser und Hitze, sowie für die systemische, breitere Perspektive. Diese Maßnahmen können nun mit bestehenden Dokumente, wie z.B. der Nationalen Anpassungsstrategie abgeglichen werden, und dort ggf. Eingang finden.

Tabelle 5: Erarbeitete Maßnahmen zu Hochwasser

	Maßnahme
Hochwasser	Barrierefreie Evakuierungs- und Notfallpläne
	Eigenvorsorge in das Gesetz schreiben
	Barrierefreie Warnungen, Informationen
	Partizipation von Menschen mit Behinderung
	Bewusstseinsbildung bzgl. sozialer Dimension des Klimawandels
	Inklusive Kat.schutz-Pläne
	Risk signalling (through pricing/insurance)
	Flood communities
	Einheitliche Stabsarbeit auf allen Ebenen
	SKKM Fachgruppe "Vulnerabilität"
	Higher insurance coverage
	Lobby
	Bodenschutzstrategie
	Inklusion in Kat.schutz Übungen
	Kat.schutz Übungen mit Menschen mit Behinderung

Tabelle 6: Erarbeitete Maßnahmen zu Hitze

Hitze	Hitzekümmerner einsetzen
	Sanierungsoffensive für Gebäude, thermische Sanierungen forcieren
	Klimatisierte Wohnräume für alle
	Bewusstseinsbildung über verschiedenste Kanäle, z.B. Omas for Future,
	Erfassung intersektionaler Vulnerabilitäten bei Einstufung/Monitoring von Pflegeorganisationen, sowie entsprechende Ausbildung

	Nachbarschaftliche Hilfsnetzwerke, und entsprechende Incentives
	Identifikation gefährdeter Personen durch systematisches Hitzemonitoring (Planung)
	Klimasoziale Sozialarbeit
	Grätzelinitiativen fördern
	Klimawandelanpassungskonzept

Tabelle 7: Erarbeitete Maßnahmen zur Systemperspektive

System-Perspektive	Bereitstellung von Infos (z.B. Naturgefahren) auf Gemeindeebene
	Kompetenzzentrum Hitze und Klima mit angegliedertem one-stop-shop für Bürger:innen
	Berücksichtigung von vulnerablen/stark betroffenen Gruppen bei Stadt und Raumplanung (Gemeinde- und Grätzelebene)
	Sonnencreme, Kopfschutz und Wasser für wohnungslose Menschen
	Vulnerabilität sichtbar machen durch: a) Kommunikation („ein Gesicht geben“), und b) Massnahmen wie Notfallregister, Karten, etc.
	Kühlung von Wohngebäuden statt individuell denken (Bsp Sozialbau, Gemeindebau)
	Soziale Vulnerabilität und Mehrfachbelastung bei Bau-, Stadt-, und Landschaftsplanung mitdenken
	Armutsfester Sozialstaat: a) neue Grundsicherung, b) Reform Arbeits- und Notstandshilfe c) Erhöhung Ausgleichszulage
	Klimawandelanpassungsgesetz v.a. Berücksichtigungsgebot (wie in Deutschland) inkl. Fokus auf Vulnerabilitäten
	Ent-Generalisierung der Daten (Gender Aspekte, Wien vs Bundesländer)
	Beschäftigung/Erwerbsarbeit: a) Investition in zukunftsfähige Berufsfelder, b) Erleichterung von Umschulungen, c) ...
	Förderungen den neuen Umweltgegebenheiten anpassen
	KLAR Programm für grössere Brocken ermutigen - transformative Ansätze zusätzlich zu inkrementellen Einzelmassnahmen wie Trinkbrunnen
	Klimacheck inklusive Anpassungskriterien = Vulnerabilitäten (in Verhandlungen)
	Flexibles Budget für kurzfristige Massnahmen (inkl. Anpassung an lokale Gegebenheiten)

C) Projektdetails

6 Methodik

AP1

Stakeholder-Beteiligungsaktivitäten gewinnen zunehmend an Bedeutung, was die Notwendigkeit einer klaren und transparenten Dokumentation darüber aufwirft, wer in die Aktivitäten einbezogen wurde und warum (Lemke et al., 2024). Um die Grundlage für einen inklusiven und transparenten Forschungsprozess im gesamten DISCC-AT-Projekt zu schaffen, wurde ein systematisches Stakeholder-Mapping mit den Konsortialpartnern durchgeführt. Als Stakeholder wurden nicht als die vulnerablen gesellschaftlichen Gruppen selbst definiert, sondern als Akteure, die eng mit betroffenen Gruppen in Austausch stehen und mit ihnen arbeiten. Der Prozess der Stakeholder-Identifikation nutzte die umfangreiche Expertise des Projektteams (basierend auf früheren ACRP- und verwandten Projekten) und beinhaltete auch eine Überprüfung der akademischen und grauen Literatur sowie Internet-Recherchen mit Schlüsselwörtern. Die aus diesem Prozess hervorgegangene erste Liste von Stakeholdern wurde mithilfe einer Schneeball-Methode erweitert, wobei Empfehlungen aus Scoping-Gesprächen und Teilnehmern des ersten Stakeholder-Workshops (Task 1.3) einfließen. Stakeholder wurden hauptsächlich auf der organisatorischen Ebene aggregiert und mittels der Software kumu.io in einer Stakeholder-Map visualisiert ([siehe hier](#)), um eine ausgewogene Repräsentation über verschiedene Gruppen hinweg sicherzustellen und potenzielle Verbindungen zu identifizieren. Dieser Prozess führte zu einem gut verteilten Stakeholder-Netzwerk, das öffentliche Verwaltung, NGOs, Versicherungs- und Wirtschaftssektoren, Zivilschutz und Interessengruppen umfasste. Mehrere Organisationen mit übergreifenden Anliegen sowohl zu Überschwemmungs- als auch zu Hitzesrisiken wurden identifiziert. Das Stakeholder-Mapping informierte schließlich die Auswahl der Teilnehmer*innen für die folgenden Scoping-Gespräche (vor dem ersten Workshop), Co-Produktions-Workshops und semi-strukturierte Expert*innen-Interviews. Die Scoping-Gespräche wurden mit WP6 vor dem ersten Workshop durchgeführt, um die Bedürfnisse, Erwartungen oder Wissenslücken der Stakeholder besser zu verstehen.

Weiters wurde in AP1 eine umfassende Literaturübersicht über bestehende Vulnerabilitätsbewertungen und Indikatoren für hochwasser- und hitzebedingte Risiken in Österreich durchgeführt. Aufgebaut wurde auf bestehender Literatur zu Vulnerabilitätsbewertungen und Indikatoren für Österreich, wie z.B. Leis und Kienberger (2020), die die Bedeutung einer umfassenden Betrachtung verschiedener Vulnerabilitätsfaktoren hervorheben. Während diese und andere Studien in verschiedenen Gefährdungskontexten in Österreich durchgeführt wurden, existierte bislang keine Übersicht über diese Arbeiten. Daher ergänzten wir die Literaturübersicht mit Schlüsselwortsuchen auf Google, Google Scholar

und Scopus sowie Empfehlungen von Projektmitgliedern und Grauliteratur, die durch Stakeholder-Beteiligung (Task 1.1) gesammelt wurde. Die gesammelten Studien wurden qualitativ mit NVivo analysiert, um soziale Vulnerabilitätsindikatoren zu kodieren. Die identifizierten Indikatoren wurden dann mittels kumu.io visualisiert ([siehe hier](#)). Die Vulnerabilitätsindikatoren-Karte kategorisierte Indikatoren anhand ihrer Relevanz für Hochwasser- oder Hitzerrisiken (oder beides), ihrer Quellen und der Frage, ob sie in intersektionalen Studien angewendet wurden. Die Stakeholder validierten und verfeinerten die Karte während des ersten Co-Produktions-Workshops (Task 1.3). Insgesamt wurden 121 qualitative und quantitative Indikatoren identifiziert, von denen 34 als allgemeine Indikatoren und 87 als spezifische Indikatoren (z. B. Alter als allgemeiner Indikator mit spezifischen Unterkategorien) klassifiziert wurden. Die Analyse zeigte, dass 18 Indikatoren sowohl für Hochwasser- als auch für Hitzerrisiken relevant waren, insbesondere sozioökonomische Faktoren, während andere stärker Risiko-spezifisch (Hochwasser oder Hitze) waren.

In mehreren Iterationen und eng verbunden mit WP2 wurden Profile von Haushalten, die gegenüber Hitze und Hochwasser verwundbar sind, entwickelt. Das Forschungsdesign orientierte sich an der Archypenanalyse, die darauf abzielt, wiederkehrende Muster zu identifizieren, mit dem Ziel, politische Entscheidungsträger zu informieren (siehe beispielsweise Eisenack et al., 2019; Oberlack et al., 2019) – in Fall von DISCC-AT, um wiederkehrende Muster der Vulnerabilität durch qualitative und quantitative Methoden zu erkennen. Dafür wurde ein Co-Production -Workshop organisiert. Der Workshop hatte drei Hauptziele: a) Überprüfung der im Task 1.2 identifizierten Vulnerabilitätsindikatoren, einschließlich derer im Zusammenhang mit der Anpassungsfähigkeit, und Identifizierung zusätzlicher Indikatoren sowie deren Quantifizierung, wenn notwendig, b) Untersuchung der Intersektionalität von Vulnerabilitätsfaktoren durch einen Storyline-Ansatz, c) Zusammenstellung des Wissens- und Informationsbedarfs der Stakeholder. Der fünf Stunden andauernde Workshop beinhaltete Beiträge aus allen WPs und ermöglichte vertiefte Diskussionen. Ein zentrales Ergebnis des Workshops im Hinblick auf WP1 war, dass die Stakeholder besonders daran interessiert waren, zu verstehen, wie sich Vulnerabilitätsfaktoren überschneiden und wie diese Überschneidungen zu kumulierten Risiken beitragen. Infolgedessen wurde die Methodologie angepasst (weg von einem Umfrage-basierten Expertenbefragungsprozess zur Quantifizierung von Indikatoren) und es wurde ein Mixed-Methods-Ansatz entwickelt, der in Zusammenarbeit mit WP2 qualitative und quantitative Daten integrierte, um Risikoprofile (oder Archypen, wie sie in der Literatur oft bezeichnet werden) für Hochwasser und Hitze zu entwickeln. Im Rahmen dieses Vorhabens führte WP1 semi-strukturierte Expert*innen-Interviews durch, um die Überschneidungen von Vulnerabilitätsfaktoren weiter zu untersuchen. Die Interviews, die sich auf die Erfahrungen der Stakeholder mit vulnerablen Gruppen konzentrierten, lieferten qualitative Einblicke in die Treiber der Vulnerabilität und identifizierten sich

überschneidende Merkmale derjenigen, die gegenüber Hochwasser und Hitzestress verwundbar sind. Insgesamt wurden 22 Interviews durchgeführt, die jeweils etwa eine Stunde dauerten, transkribiert und dann mit NVivo analysiert wurden. Die Ergebnisse der Analyse wurden für Hitze mit kumu.io visualisiert ([siehe hier](#)). Diese Erkenntnisse trugen zu a) der Entwicklung qualitativer Storylines von verwundbaren Gruppen und b) der Integration qualitativer Einblicke in eine Clusteranalyse bei, die die Grundlage für einen Mixed-Methods-Ansatz zur Entwicklung von Risikoprofilen mit WP2 bildete. Im Juni 2024 fand ein zweiter Workshop statt, um die Ergebnisse des Projekts zu präsentieren, deren Anwendbarkeit in der Politik und Praxis zu diskutieren und um in einem „Policy Lab“-Setting Maßnahmen zu erarbeiten, die sozial gerechte Anpassungsoptionen ermöglichen und um die individuelle und gesellschaftliche Anpassungsfähigkeit zu stärken. Die Diskussionen mit den Stakeholdern wurden durch strukturierte Notizen auf Flipcharts dokumentiert.

Durch die Änderungen im Elicitation-Prozess der Vulnerabilitätsfaktoren hin zu einem Mixed-Methods-Ansatz in Zusammenarbeit mit WP2/5 waren die Aufgaben 1.3 und 1.4 eng miteinander verknüpft. Die Ergebnisse aus WP1, insbesondere aus der Literaturübersicht und den Interviews, wurden direkt in die Arbeiten von WP2 integriert und informierten somit indirekt die makroökonomischen Modellierungsaufgaben in WP5, wo die in WP2 entwickelten Risikoprofile genutzt wurden. Regelmäßige Austauschprozesse innerhalb des Projektteams, einschließlich der WPs 3 und 4, förderten den Wissensaustausch zwischen den Teams und unterstützten Modellierungsbemühungen, wo dies möglich war. Um den Wissenstransfer zu verbessern, wurden alle Visualisierungen, die in den Aufgaben 1.1-1.3 erstellt wurden, mit dem Projektteam geteilt, wodurch sichergestellt wurde, dass die Erkenntnisse aus WP1 effektiv zu den übergeordneten Forschungszielen beitragen.

AP2

In AP2, das für sozioökonomische und klimatische Daten verantwortlich war, wurden folgende Aktivitäten durchgeführt: In Task 2.1 wurde zur Ergänzung der in AP1 entwickelten Erzählstränge ein Mixed-Methods-Ansatz konzipiert. Ziel war es, qualitative Daten aus AP1 mit einer statistischen Analyse georeferenzierter sozioökonomischer Daten zu verknüpfen, um Hitzebelastungsprofile innerhalb der österreichischen Bevölkerung zu charakterisieren. Die sozioökonomischen Daten stammten aus der integrierten Lohn- und Einkommensteuerstatistiken von Statistik Austria (2022). Die verwendeten sozioökonomischen Variablen auf Individualebene umfassten das Gesamteinkommen (als Summe aus Bruttoarbeits-, Kapital- und Transfereinkommen), den georeferenzierten Wohnort (mit einer Auflösung von 1x1 km) sowie eine Reihe binärer Variablen, die anzeigen, ob die Person älter als 65 Jahre ist, einer manuellen Tätigkeit nachgeht („blue collar“), im produzierenden Gewerbe oder in einem Freiluftsektor (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Bauwesen) arbeitet oder nicht. Darüber hinaus enthielt der Datensatz die Anzahl an Hauptwohnsitzen pro 1-km-Rasterzelle als

Maß für die Bevölkerungsdichte. Aufgrund der georeferenzierten Datenlage konnten mittlere Einkommenswerte je Rasterzelle abgeleitet werden. Die Einkommensinformationen wurden in Form von Quartilen je Rasterzelle und Personengruppe mit gleichen Merkmalen bereitgestellt. Zur Annäherung auf Individualebene wurde eine gleichmäßige Einkommensverteilung innerhalb der Quartile und Gruppen angenommen. Aus Datenschutzgründen wurden für Rasterzellen mit vier oder weniger Personen mit identischen Merkmalen keine Einkommensdaten übermittelt. Insgesamt lagen sozioökonomische Informationen für 6.803.247 in Österreich lebende Personen vor. Als Indikator für die Hitzebelastung wurde die Gesamtanzahl an Hitzewellentagen pro Jahr verwendet, basierend auf dem SPARTACUS- Beobachtungsdatensatz von GeoSphere Austria (2020), verfügbar auf einer Auflösung von 1 km.

Task 2.2 befasste sich mit klimatischen Datengrundlagen. Die im Rahmen von ÖKS15 verfügbaren Hitzeindikatoren basieren ausschließlich auf Temperaturdaten, während viele international etablierte Hitzeindizes zusätzlich meteorologische Variablen wie Luftfeuchtigkeit berücksichtigen. Da GeoSphere Austria kürzlich den SPARTACUS-Beobachtungsdatensatz in Version 3.0 um Feuchtigkeitsmaße erweitert hat, wurde dieser Datensatz zur Deckung des Informationsbedarfs hinsichtlich zukünftiger Hitzebelastung im Rahmen von DISCC-AT herangezogen. Im Zuge dessen wurde ÖKS15 erweitert, indem eine Bias-Korrektur sowohl der mittleren täglichen Taupunkttemperatur (TD) als auch der bodennahen Lufttemperatur (TAS – aufgrund leicht veränderter Werte im Vergleich zu früheren SPARTACUS-Versionen) vorgenommen wurde. Darauf aufbauend wurden drei temperatur- und feuchtigkeitsbasierte Hitzeindizes abgeleitet: Wet Bulb Globe Temperature für Innenräume (WBGT-ID), HUMIDEX, NOAA Heat Index (HI). Um das umfangreiche Modellspektrum für Wirkungsschätzungen nutzbar zu machen und gleichzeitig die Unsicherheitsbandbreite zukünftiger Hitzebelastungen zu berücksichtigen, wurden drei Klimamodelle ausgewählt, die repräsentativ für minimale, mittlere und maximale Veränderungen der Zielgrößen stehen. Die zukünftigen Änderungen wurden für zwei Emissionsszenarien (RCP 4.5 und RCP 8.5), drei sozioökonomische Entwicklungspfade (SSP1, SSP2 und SSP4) sowie für drei Zukunftszeiträume (2021–2040, 2041–2060 und 2071–2090) abgeschätzt.

AP3

Das Ziel von Task 3.1 bestand in der Identifikation sogenannter Hochwasser-Vulnerabilitäts-Hotspots – also Gebieten, in denen hohe Hochwassergefährdung mit sozioökonomisch bedingter hoher Verletzlichkeit zusammenfällt, was auf besonders stark potenziell betroffene Bevölkerungsgruppen hinweist. Im Gegensatz zu herkömmlichen Hochwasserrisikomodellen, die vorrangig physische (monetäre) Schäden quantifizieren, lag der Fokus hier auf sozialen Aspekten der Vulnerabilität. Zur Ermittlung dieser Hotspots wurden Hochwassergefährdungskarten (Flusshochwasser) mit hochaufgelösten sozioökonomischen Daten überlagert, die die soziale Verwundbarkeit gegenüber

Überflutungen widerspiegeln. Für die Hochwassersimulation kam das GLOFRIS-Cascade-Framework (Ward et al., 2017; Winsemius et al., 2016) zum Einsatz. Dieses Modell integriert Hochwassergefährdung, Exposition und Vulnerabilität, um potenzielle Schäden auf einer Auflösung von 30" x 30" (ca. 1x1 km) zu modellieren. GLOFRIS erzeugt Projektionen zukünftiger Hochwasserrisiken unter Verwendung von Globalen Klimamodellen (GCMs), die wiederum auf den Representative Concentration Pathways (RCPs) beruhen. Da das innovative Ziel dieser Studie in der Erfassung sozialer Vulnerabilität gegenüber Hochwasser bestand, wurden die standardmäßig im GLOFRIS-Modell verwendeten Expositions- und Vulnerabilitätsdaten durch detaillierte sozioökonomische Daten für Österreich ersetzt.

Dafür wurde ein räumlich expliziter Vulnerabilitätsindikator entwickelt, der Informationen über das Haushaltseinkommen, die Anzahl älterer Personen sowie die Anzahl von Alleinerzieher:innenhaushalten pro km² kombiniert – alles etablierte Indikatoren sozialer Hochwasservulnerabilität (Koks et al., 2015; Sayers et al., 2018; Cutter et al., 2003; Rufat et al., 2015). Die zur Berechnung genutzten Einkommensdaten stammen von Statistik Austria (2022) (bereitgestellt durch AP2) und lagen für den Großteil Österreichs auf einer 1x1-km-Skala vor, inklusive verschiedener Einkommenskategorien, der Anzahl an Personen über 65 Jahren und quartilsbasierter Einkommensverteilungen. Informationen zur Haushaltszusammensetzung wurden auf einer größeren Verwaltungseinheit (Bezirke) erhoben. Diese Indikatoren wurden mit gleichen Gewichtungen kombiniert, um einen zusammengesetzten Vulnerabilitätsindex im Bereich von 1 (geringe Vulnerabilität) bis 10 (hohe Vulnerabilität) pro km²-Zelle zu erzeugen. Im letzten Schritt wurde dieser Index mit Hochwasserinundationsdaten aus GLOFRIS (gemessen in Metern, für bestimmte Wiederkehrintervalle) überlagert. Das Ergebnis ist eine räumliche Projektion des sozialen Hochwasserrisikos, das physische Gefährdung mit sozialer Verwundbarkeit kombiniert. Somit konnte das soziale Risiko der aktuellen und zukünftigen Hochwassergefahr in Österreich sichtbar gemacht werden.

In Task 3.2 lag der Fokus auf der Frage, wie Anpassungsmaßnahmen so gestaltet werden können, dass sie bestehende Verteilungsungleichheiten mindern. Zentral war dabei die Herausforderung, die Versicherungslücke gegen Hochwasser in Österreich sozial ausgewogen zu reduzieren. Es wurde untersucht, wie sich Hochwasser auf Haushalte unterschiedlicher Einkommensgruppen auswirken und inwiefern politische Änderungen in der Organisation des Hochwassermanagements und der Versicherungsarchitektur diese Verteilung beeinflussen. Dazu wurden mehrere hypothetische politische Szenarien simuliert:

- die Einführung eines öffentlichen Rückversicherers,
- eine Ausweitung des Katastrophenfonds,
- ein Versicherungssystem mit gedeckelten risikobasierten Prämien,
- sowie ein Status-quo-Szenario mit verbesserten technischen Schutzmaßnahmen.

Für jedes dieser Szenarien wurde modelliert, wie Haushalte auf Basis eines subjektiven erwarteten Nutzenmodells (SEU) Entscheidungen über den Abschluss einer Versicherung (sofern freiwillig) und Investitionen in Schutzmaßnahmen treffen. Haushaltseinkommen – disaggregiert auf Haushaltsebene anhand der in Task 3.1 verwendeten Daten – stellte dabei einen zentralen Treiber für diese Entscheidungen dar. Die Analyse basiert auf einem partiellen Gleichgewichtsmodell des Hochwasserversicherungsmarktes (Hudson et al., 2019; Tesselaar et al., 2023), welches Versicherungsprämien unter verschiedenen idealtypischen Versicherungssystemen und Risikoszenarien bewertet. Das Modell erlaubt die Simulation von Versicherungsabdeckung und Anpassungsmaßnahmen auf Haushaltsebene unter Berücksichtigung von Hochwasserrisiko, Prämienhöhe sowie Wirksamkeit und Kosten von Schutzmaßnahmen.

AP4

Die Methode zur Analyse von Temperatur- und Mortalitätszusammenhängen in Österreich (Tasks 4.2 und 4.3) basierte auf einem mehrstufigen Ansatz, um die komplexen Beziehungen zwischen Temperatur und Sterblichkeit zu quantifizieren. Dabei wird berücksichtigt, dass sowohl kurzfristige als auch langfristige Temperatureffekte auftreten können.

1. Datengrundlage und Modellierung der Temperatur:
Temperaturdaten wurden basierend auf einer 1-km-Rasterauflösung modelliert und umfassten tägliche Höchst-, Mindest- und Durchschnittstemperaturen, sowie verschiedene hitzebezogene Indizes (wie "Tropical Nights" und "Heat Index"). Zur Berechnung der Modelle wurde der temperaturgewichtete Durchschnitt für die Bevölkerung verwendet, da dies in den meisten getesteten Bezirken die besten Ergebnisse erzielte.
2. Zeitliche Variation und Modellierung:
Langfristige und saisonale Schwankungen wurden durch natürliche Splines modelliert. Die optimale Knotenzahl wurde durch Minimierung der Autokorrelation sowie Einbeziehung des Wochentags als Dummy-Variable festgelegt. Bei großen Datensätzen (wie z. B. täglichen Todeszahlen auf nationaler Ebene) wurde eine Poisson-Regressionsanalyse verwendet, während für kleinere Bezirke aufgrund der Datenverteilung eine negative Binomialregression (General Additive Model - GAM) eingesetzt wurde.
3. Berücksichtigung von Verzögerungseffekten:
Um zeitlich verzögerte Temperaturwirkungen zu berücksichtigen, wurden Distributed-Lag-Modelle angewandt. Die Analyse zeigte, dass bei hohen Temperaturen der Effekt am selben Tag (Lag 0) am stärksten ist, während bei kalten Temperaturen die durchschnittlichen Werte der letzten Wochen relevanter sind. Die nichtlinearen Effekte wurden durch Temperatur und Temperatur im Quadrat approximiert.

4. Modellvergleiche:

In einer Validierungsphase wurden verschiedene Temperaturmaße und -modelle anhand des Akaike-Information-Criterion verglichen. Ein einfaches Modell, das dieselben Temperaturwerte für den Tag, das Quadrat der Temperatur sowie den Durchschnitt der letzten 14 Tage berücksichtigte, stellte sich als geeignet heraus.

5. Berücksichtigung von Bezirksmerkmalen:

Zu den analysierten Bezirksmerkmalen gehörten sozioökonomische Daten (z. B. Bevölkerungsdichte, Einkommensniveau, Altersstruktur) sowie externe Faktoren wie Arbeitslosenquoten und Tourismusintensität. Diese Merkmale wurden teilweise in univariaten Regressionsanalysen untersucht, um ihren Zusammenhang mit Temperaturmodellen zu bewerten.

Insgesamt wurde die Methode durch die Kombination von statistischen Modellen, räumlichen Daten und Klimaparametern darauf ausgelegt, regionale Unterschiede in der Hitzeanfälligkeit und deren Auswirkungen auf die Mortalitätsraten zu analysieren.

In Task 4.4 wurde schließlich basierend auf den geschätzten Parametern aus Tasks 4.3 in einem Health Impact Assessment (HIA) die zukünftige Entwicklung der Todesfälle durch Hitze und Kälte (getrennt) unter sich verändernden Klima und Sozio-ökonomischen Faktoren berechnet.

Zusätzlich zur beschriebenen statistischen Analyse wurden in Task 4.5 zudem Hitze-induzierte Produktivitätsverluste des Faktor Arbeit berechnet. Grundlage hierfür waren die in AP2 abgeleiteten Änderungen der Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), welche auf drei verschiedene Arbeitsintensitäten (200, 300 und 400 W) angewendet wurden, gemäß der Methodik nach Knittel et al. (2020). Der Zeithorizont umfasste historische Daten (1995–2014) sowie 20-Jahres-Mittelwerte für drei Zukunftsperioden: nahe Zukunft: 2021–2040, mittlere Zukunft: 2041–2060, ferne Zukunft: 2071–2090. Es wurden zwei Klimaszenarien berücksichtigt – RCP 4.5 und RCP 8.5 – sowie drei Allgemeine Zirkulationsmodelle (GCMs): MPI-ESM, HadGEM2-ES und IPSL. Die Arbeitsfähigkeitsverluste (Work Ability Loss) wurden differenziert nach Innen- und Außenarbeit sowie den drei Arbeitsintensitäten: niedrigintensiv (200 W), mittelintensiv (300 W), hochintensiv (400 W).

AP5

In Task 5.1 wurde die Datenbasis des CGE-Modells, d.h. die zugrundeliegende Input-Output-Tabelle, desaggregiert, indem der repräsentative Haushalt in mehrere Haushalte aufgeteilt wurde. Jeder dieser Haushalte repräsentiert eine gesellschaftliche Gruppe mit unterschiedlicher Vulnerabilität, basierend auf Schlüsselkriterien der Intersektionalität, wie sie in AP1 identifiziert wurden und unter Verwendung der Daten aus AP2. Insbesondere wurde mit 12 regionalen Haushalten begonnen, die nach Einkommensquartilen (Q1-Q4) und 3 Regionen

(städtisch, vorstädtisch, peripher) unterteilt wurden. Diese allgemeine Stratifikation wurde gewählt, da Einkommen ein entscheidender Faktor für Vulnerabilität und Anpassungskapazitäten im Kontext von Klimarisiken ist. Um auch Unterschiede in Bezug auf die Exposition gegenüber verschiedenen Klimarisiken abzubilden, wurde zusätzlich zwischen städtischen, vorstädtischen und ländlichen Gebieten unterschieden.

In einem nächsten Schritt – in Task 5.2 – wurde das Modell auf sechs SSP-RCP-Szenario-Kombinationen kalibriert (SSP1, 2 und 4 mit RCP4.5 und RCP8.5, bis 2080), welche jeweils unterschiedliche sozioökonomischen und demografische Dynamiken beinhalten (insbesondere Einkommensverteilung und Urbanisierung).

In den folgenden Tasks 5.3 und 5.4 wurden die Modellkopplungen zu AP3 (Hochwasser) und zu AP4 (Arbeitsproduktivitätsverluste) durchgeführt; in enger Zusammenarbeit mit AP1, AP3 und AP4. Um die verteilungsbezogenen Effekte von Hochwasser einerseits und die Verteilungseffekte der Arbeitsproduktivitätsverluste andererseits besser zu verstehen und zu isolieren, wurden zwei Versionen des oben beschriebenen CGE-Modells kalibriert. Der Unterschied besteht in der Darstellung der vulnerablen Haushaltsgruppen hinsichtlich ihrer Einkommens- und Ausgabenstrukturen.

Für Task 5.3, der darauf abzielte, Überschwemmungsschäden im CGE-Modell unter Berücksichtigung von Haushaltsheterogenitäten darzustellen, wurden von AP3 jährliche erwartete Wiederherstellungskosten (als Proxy für Hochwasserschäden) für eine detaillierte geografische Auflösung (1x1 km) für SSP1, SSP2 und SSP4 sowie RCP4.5 und RCP8.5 für fünf verschiedene GCMs auf Basis des globalen Überschwemmungsmodells GLOFRIS bereitgestellt. Diese Schäden wurden mit georeferenzierten Mikrodaten zu sozioökonomischen Variablen aus Statistik Austria (2022) überlagert. Zur Unterscheidung der direkten und indirekten Effekte der Überschwemmung zwischen den Haushalten wurden die privaten Haushalte weiter desaggregiert, wobei zwischen Haushalten in Überschwemmungsgebieten und solchen außerhalb solcher unterschieden wurde. Dies führte zu insgesamt 24 verschiedenen Haushaltsgruppen im CGE-Modell. Die resultierende Verteilung der Wiederherstellungskosten zeigte, dass etwa 2/3 der absoluten Wiederherstellungskosten in ländlichen Regionen anfallen und dass Haushalte mit niedrigem Einkommen relativ stärker betroffen sind, mit bis zu 5% Verlust des Einkommens (Q1-ländlich).

In Task 5.4 wurde die Verbindung zu AP4 hergestellt, d.h. die Zuordnung der geschätzten Arbeitsproduktivitätsverluste zu den 12 repräsentativen Haushalten des CGE-Modells. Die von AP4 erhaltenen Daten beinhalteten Informationen auf 1x1 km Raster für drei Arbeitsintensitäten, gemessen in Watt (W) (200W für leichte, 300W für mittlere und 400W für intensive körperliche Arbeit) an zwei Standorten (Innen- und Außenbereich). Diese Daten wurden mit den georeferenzierten Mikrodaten zu sozioökonomischen Variablen aus Statistik Austria (2022) abgeglichen. Besonders die Beschäftigungsdaten wurden

verwendet, was letztlich zu einer Modellkalibrierung in „blue-collar“ und „white-collar“ als zusätzliche Dimension führte.

Abschließend wurden in Task 5.5 die Auswirkungsszenarien unter verschiedenen SSP-RCP-Kombinationen bis 2080 auf jährlicher Basis berechnet, um die Entwicklung der innerstaatlichen Verteilungseffekte sowie Auswirkungen auf gesamtwirtschaftliche Indikatoren wie BIP zu quantifizieren. Zu diesem Zweck wurden die Überschwemmungs- und Hitzewirkungen in die beiden Versionen des CGE-Modells implementiert. Für Überschwemmungen wurden haushaltsbezogene erwartete jährliche Wiederherstellungskosten als erzwungene Wiederherstellungsausgaben für jeden Haushalt im Überschwemmungsgebiet in das CGE-Modell integriert. Für die Hitzewirkungen wurde der durchschnittliche Arbeitsproduktivitätsverlust für jeden der im Modell enthaltenen Haushalte berechnet und als Reduktion des Arbeitskräfteangebots je Haushalt in das CGE-Modell implementiert.

AP6

Task 6.1 war der kontinuierliche Dialog und der Co-Produktionsprozess zwischen Stakeholdern/Vulnerabilitätsexperten/Praxisvertretern und Projektteam, insbesondere durch erste Gespräche zu Beginn des Projekts (vor dem ersten Workshop) und vertiefende Interviews (nach dem ersten Workshop), von denen einige in Präsenz, andere in Online-Formaten durchgeführt wurden. Darüber hinaus gewährleistete der kontinuierliche Dialog und die Abstimmung der Projektmethoden mit den Bedürfnissen der Anwender eine Identifikation und Relevanz der Ergebnisse für die Praxis.

Task 6.2 beinhaltete die Vorbereitung, Durchführung und Nachbearbeitung eines Kick-off-Workshops zu Beginn des Projekts, welcher Stakeholder und Vertreter aus der Praxis, die verschiedene vulnerable Gruppen vertreten und mit diesen arbeiten, einlud. Dieser Workshop diente dazu, den Projektarbeitsplan und die Methoden mit den Prioritäten und bestehenden Erfahrungen in Einklang zu bringen. Der Workshop erweiterte auch die Stakeholderbasis, indem er zusätzliche Institutionen und Stakeholder einbezog, die während des Workshops für die nächsten Projektschritte identifiziert wurden. Ein besonderes Ziel des Kick-off-Workshops war die Identifizierung von Wissenslücken, die DISCC-AT realistischere adressieren konnte. Der Workshop bestätigte den Co-Production-Ansatz von DISCC-AT, bei dem die Ergebnisse der quantitativen wissenschaftlichen Analysen (APs 2-5) mit den qualitativen Informationen (Erzählstränge), die durch Dialoge und Interviews von Stakeholdern gewonnen wurden, integriert wurden. Der Kick-off-Workshop lieferte auch erste Vorschläge für die Anwendung der Projektergebnisse, z.B. die Bewertung der Wirksamkeit von Unterstützungs- oder Fördermaßnahmen für Einzelpersonen oder Gruppen basierend auf den DISCC-AT-Vulnerabilitätsprofilen oder eine Checkliste zur Bewertung der Vulnerabilität gegenüber Hitze als Funktion von Wohn- und Lebensbedingungen.

Schließlich beinhaltete Task 6.3 die Vorbereitung, Durchführung und Nachbearbeitung eines Synthese-Workshops mit Stakeholdern/Praxisvertretern gegen Ende des Projekts. In diesem Workshop wurden die nahezu finalen Ergebnisse, die als Co-Produktion zwischen den DISCC-AT-Wissenschaftlern und Stakeholdern (siehe AP1 und andere APs) entstanden sind, präsentiert, diskutiert und verfeinert, um eine bessere Nutzung durch Anwender zu gewährleisten, indem sie mit zusätzlichen Informationen und Maßnahmen ergänzt wurden. Der Workshop erarbeitete auch gezielte Maßnahmen und verbesserte Rahmenbedingungen zur Adressierung der verschiedenen Vulnerabilitätsprofile. Der Workshop initiierte zudem die Entwicklung von politischen Kernbotschaften, um die Ergebnisse in den Anpassungs- (und Sozial-)Politikprozess zu integrieren.

7 Arbeits- und Zeitplan

Abbildung 12 zeigt den Zeitplan (ursprüngliche Planung in grau) und die notwendigen Änderungen (in blau). Durch die sequentielle Anordnung der Arbeitspakete führten Verzögerungen in AP2 auch zu Verzögerungen in den darauffolgenden APs. Das Projekt konnte mit 4-monatiger Verlängerung abgeschlossen werden.

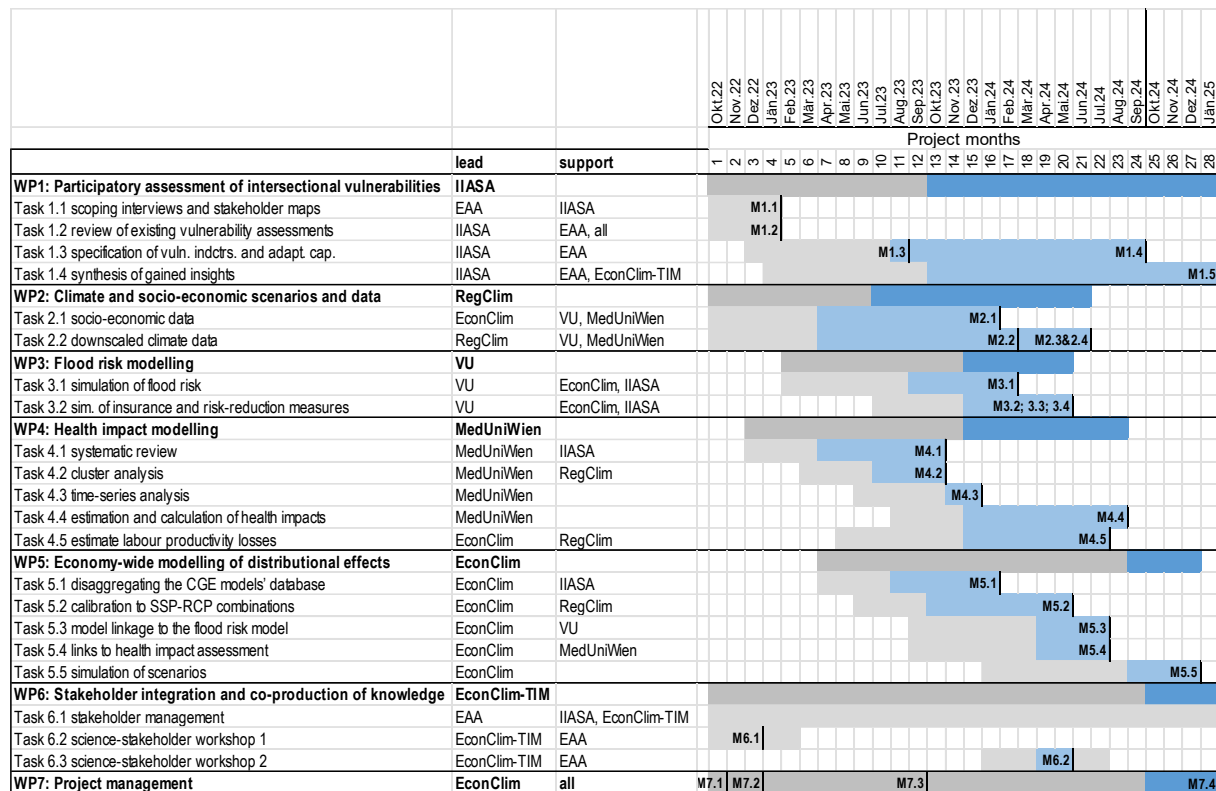


Abbildung 12: Arbeits- und Zeitplan

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Publikationen

- Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg A.-M. (2024), ÖKS15 – Humidity, November 2024, Wegener Center Verlag, ISBN 978-3-9505053-4-4 <https://wegcloud.uni-graz.at/s/Wj59BXEGZTctpJE>
- Lemke, L., S. Hanger-Kopp, J. Beier (2024): A Systematic Mapping Approach to Stakeholder Identification. Environmental Science and Policy. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103900>
- Moshhammer, H. (2023). District characteristics predicting vulnerability to heat. DISCC-AT Working Paper #2. Available online: https://wegcwp.uni-graz.at/discc-at/wp-content/uploads/sites/10/2024/03/DISCC-AT_working_paper_2_merged.pdf
- Preinfalk, E., Beier, J., Hanger-Kopp, S., Bachner, G. (2025). Operationalizing intersectional vulnerability in climate risk assessments: A mixed methods approach for representing within-country differences. Working paper.
- Tesselaar, M., & Botzen, W. J. W. (2025). Inequality in Flood Insurance Arrangements to Finance Flood Recovery under Climate Change. DISCC-AT Working Paper #5. Available online: https://wegcwp.uni-graz.at/discc-at/wp-content/uploads/sites/10/2025/01/DISCC-AT_working_paper_5_title_page-combined.pdf
- Tesselaar, M., Tiggeloven, T., & Botzen, W. J. W. (2024). Social flood risk in Austria: assessing flood risk using detailed projections of socioeconomic vulnerability. DISCC-AT Working Paper #3. Available online: https://wegcwp.uni-graz.at/discc-at/wp-content/uploads/sites/10/2024/03/DISCC-AT_working_paper_3_merged.pdf
- Wallner, P. and Moshhammer, H. (2023). Social Vulnerability and Heat: Systematic Literature Search and Narrative Synthesis. DISCC-AT Working Paper #1. Available online: https://wegcwp.uni-graz.at/discc-at/wp-content/uploads/sites/10/2023/10/working_paper1_merged.pdf

Open Access Datensätze

- Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg, A.-M., (2024). DISCC-AT: Change Signal of Humidity and Heat Indices. <https://doi.org/10.60669/C53F-WJ17>
- Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg, A.-M., (2024). DISCC-AT: Bias Corrected Humidity and Heat Indices. <https://doi.org/10.60669/GBDV-GQ54>

Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg, A.-M., (2024). DISCC-AT: Change Signal of Humidity and Heat Indices using IPCC periods.
<https://doi.org/10.60669/4PDG-5460>

Marbler, A. (2024). Pop-AUT: Subnational SSP Population Projections for Austria (Version 1.0). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10477870>. This dataset can also be accessed via an interactive SSP population explorer for Austria:
https://wegcshiny.uni-graz.at/alm/DISCC-AT/pop_proj

Marbler, A. (2025). Österreichischer Hitzerrisiko-Explorer v1.0.
<https://wegcshiny.uni-graz.at/alm/DISCC-AT/HREX/>

Konferenzpräsentationen

Bachner, G., Beier, J., Preinfalk, E. (2025). Assessing the distributional effects of climate change impacts and adaptation in Austria for just, targeted and efficient adaptation. Ergebnispräsentation. Presentation at Die Grünen – Grüne Alternative Wien. 14.01.2025. Vienna

Bachner, G., Preinfalk, E., Knittel, N., Jury, M., Bednar-Friedl, B., Beier, J., Hanger-Kopp, S., Schinko, T., Tesselaar, M., Botzen, W., Moshhammer, H., Stickler, T., Leitner, M., (2024). Assessing the DISTRIBUTIONAL effects of Climate Change impacts and adaptation in Austria, for just, targeted and efficient adaptation – DISCC-AT. Österreichischer Klimatag 2024, 04.04.2024. Vienna.

Beier, J., Preinfalk, E., & Hanger-Kopp, S. (2024). Building quantitative and qualitative archetypes of households to assess vulnerability to flood and heat-related risks in Austria. In: Klimatag 2024, 02-04 April 2024, Vienna, Austria.

Beier, J., Preinfalk, E., & Hanger-Kopp, S. (2024). Exploring social vulnerability through narratives: A mixed-methods approach to develop storylines of vulnerability for heat and flood related risk in Austria. In: 3rd International Conference Natural Hazards and Risks in a Changing World- Addressing Compound and Multi-Hazard Risk, 12-13 June 2024, Amsterdam, Netherlands.

Beier, J., Preinfalk, E., & Hanger-Kopp, S. (2024). Identifying archetypes of climate vulnerability: A mixed-methods approach for heat and flood related risk in Austria. In: EGU General Assembly 2024, 14-19 April 2024, Vienna.

Beier, J., Preinfalk, E., (2024). Charakterisierung von Verwundbarkeit und Mehrfachbelastung gegenüber Hitze für eine zielgruppengerechte Anpassung. Vorsorgecheck Naturgefahren Austauschtreffen. 14.11.2024. Online.

Julia Beier & Eva Preinfalk (2025). Wer, wo und warum? Hitzerrisikoprofile in Österreich heute und in Zukunft. Webinar "Verteilungseffekte des

Klimawandels in Österreich“. 28.01.2025, Online. Folien: <https://wegcwp.uni-graz.at/disc-cc-at/wp-content/uploads/sites/10/2025/01/Vortrag-1-Hitzerisikoprofile-Beier-Preinfalk.pdf>

Jury, M., A.-M. Tilg, T. Schellander-Gorgas, L. Achatz, and D. Maraun (2024). ÖKS15 - Luftfeuchtigkeit. poster presented virtually (VP17) at the 24 th Austrian Day of Climate (Österreichischer Klimatag), April 2-4, Vienna, Austria

Lexer, W. (2025). DISCC-AT. Assessing the distributional effects of climate change impacts and adaptation in Austria, for just, targeted and efficient adaptation. Presentation at the 40th EPA IG CCCA Meeting, 27–28 March, 2025, Budapest, Hungary.

Max Tesselaar & Eva Preinfalk (2025). Soziale Dimensionen des Hochwasserrisikos. Webinar “Verteilungseffekte des Klimawandels in Österreich“. 28.01.2025, Online. Folien: <https://wegcwp.uni-graz.at/disc-cc-at/wp-content/uploads/sites/10/2025/01/Vortrag-4-Hochwasser-Tesselaar-Preinfalk.pdf>

Stickler, T. (2025). Presentation of DISCC-AT results at the Austrian Strategy for Disaster Risk Reduction (ASDR) platform meeting April 17, 2025, Vienna.

Workshops:

DISCC-AT **Stakeholder Workshop 1** – Finding and characterizing intersectional risk profiles. 24.03.2023, Umweltbundesamt, Vienna. (Detailed program provided in Appendix)

DISCC-AT **Stakeholder Workshop 2** – Soziale Vulnerabilität erkennen und Anpassungskapazität fördern. 28.05.2024, IIASA, Laxenburg. (Detailed program provided in Appendix)

Joint Webinar DISCC-AT & UrbanHeatEquality – Verteilungseffekte des Klimawandels in Österreich. Wie wirken sich Hitze und Hochwasser auf unterschiedliche gesellschaftliche Gruppen aus und was bedeutet dies für gerechte Klimawandelanpassung? 28.01.2025, online. (Detailed program provided in Appendix)

Dissertationen:

Eva Preinfalk - *Socio-economic impacts of future climate change and the scope for adaptation in a scenario-based framework*

Literaturverzeichnis

- Bachner, G. (2024). WEGDYN-AT model documentation V1.0.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.12582057>
- BEV (2024). Regionalinformation Stichtag 31.12.2023 [CSV]. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. <https://doi.org/10.48677/2D298415-E6B5-4631-8354-DF558B91A4C8>
- BMLRT (2021). Umsetzung der EU-Hochwasserrichtlinie (2007/60/EG) – 2. Nationaler Hochwasserrisikomanagementplan. (2021). Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.
<https://info.bml.gv.at/dam/jcr:c923f099-47b5-4724-b82a-36537169ce57/RMP2021.pdf>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261.
<https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Eisenack, K., Villamayor-Tomas, S., Epstein, G., Kimmich, C., Magliocca, N., Manuel-Navarrete, D., ... & Sietz, D. (2019). Design and quality criteria for archetype analysis. *Ecology and Society*, 24(3).
- GeoSphere Austria (2020). SPARTACUS v2.1 Tagesdaten.
<https://doi.org/10.60669/M6W8-S545>
- Hudson, P., Botzen, W. J. W., & Aerts, J. C. J. H. (2019). Flood insurance arrangements in the European Union for future flood risk under climate and socioeconomic change. *Global Environmental Change*, 58, 101966.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101966>
- Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg A.-M. (2024a), ÖKS15 – Humidity, November 2024, Wegener Center Verlag, ISBN 978-3-9505053-4-4 <https://wegccloud.uni-graz.at/s/Wj59BXEGZTctpJE>
- Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg, A.-M. (2024b). DISCC-AT: Change Signal of Humidity and Heat Indices.
<https://doi.org/10.60669/C53F-WJ17>
- Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg, A.-M. (2024c). DISCC-AT: Bias Corrected Humidity and Heat Indices. <https://doi.org/10.60669/GBDV-GQ54>
- Jury, M., Maraun, D., Schellander-Gorgas, T., Tilg, A.-M. (2024d). DISCC-AT: Change Signal of Humidity and Heat Indices using IPCC periods.
<https://doi.org/10.60669/4PDG-5460>
- Knittel, N., Jury, M.W., Bednar-Friedl, B., Bachner, G., Steiner, A.K. (2020). A global analysis of heat-related labour productivity losses under climate change—implications for Germany’s foreign trade. *Climatic Change* 160, 251–269. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02661-1>

- Koks, E. E., Jongman, B., Husby, T. G., & Botzen, W. J. W. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science & Policy*, 47, 42–52.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>
- Kunreuther, H. (2021). Improving the National Flood Insurance Program. *Behavioural Public Policy*, 5(3), 318–332.
<https://doi.org/10.1017/bpp.2018.26>
- Leis, J. L., & Kienberger, S. (2020). Climate risk and vulnerability assessment of floods in Austria: Mapping homogenous regions, hotspots and typologies. *Sustainability*, 12(16), 6458.
- Lemke, L. K. G., Beier, J., & Hanger-Kopp, S. (2024). Exploring procedural justice in stakeholder identification using a systematic mapping approach. *Environmental Science & Policy*, 162, 103900.
 756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Oberlack, C., Sietz, D., Bonanomi, E. B et al. (2019). Archetype analysis in sustainability research. *Ecology and Society*, 24(2).
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 470–486.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.013>
- Samoli E, Schwartz J, Wojtyniak B, Touloumi G, Spix C, Balducci F, et al. (2001). Investigating regional differences in short-term effects of air pollution on daily mortality in the APHEA project: a sensitivity analysis for controlling long-term trends and seasonality. *Environ Health Perspect.* 2001;109:349-53.
- Sayers, P., Penning-Rowsell, E. C., & Horritt, M. (2018). Flood vulnerability, risk, and social disadvantage: Current and future patterns in the UK. *Regional Environmental Change*, 18(2), 339–352. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1252-z>
- Statistik Austria (2022), Integrated wage and income tax statistics 2019.
<https://www.statistik.at/en/services/tools/services/publikationen/detail/1330>
- Tate, E., Rahman, M. A., Emrich, C. T., & Sampson, C. C. (2021). Flood exposure and social vulnerability in the United States. *Natural Hazards*, 106(1), 435–457. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04470-2>
- Tesselaar, M., Tiggeloven, T., & Botzen, W. J. W. (2024). Social flood risk in Austria: assessing flood risk using detailed projections of socioeconomic vulnerability. DISCC-AT Working Paper #3. Available online:
https://wegcwp.uni-graz.at/disscc-at/wp-content/uploads/sites/10/2024/03/DISSCC-AT_working_paper_3_merged.pdf

- Tesselaar, M., Botzen, W. J. W., Tiggeloven, T., & Aerts, J. C. J. H. (2023). Flood insurance is a driver of population growth in European floodplains. *Nature Communications*, 14(1), 7483. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43229-8>
- Versey, H. S. (2021). Missing pieces in the discussion on climate change and risk: Intersectionality and compounded vulnerability. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 8(1), 67-75.
- Ward, P. J., Jongman, B., Aerts, J. C. J. H., Bates, P. D., Botzen, W. J. W., Diaz Loaiza, A., Hallegatte, S., Kind, J. M., Kwadijk, J., Scussolini, P., & Winsemius, H. C. (2017). A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nature Climate Change*, 7(9), 642–646. <https://doi.org/10.1038/nclimate3350>
- Winsemius, H. C., Aerts, J. C. J. H., van Beek, L. P. H., Bierkens, M. F. P., Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J. C. J., Ligtvoet, W., Lucas, P. L., van Vuuren, D. P., & Ward, P. J. (2016). Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*, 6(4), 381–385.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.