



COIN2.0 Societal COst of INaction

Szenarien und Gesamt-Framework

Graz/Wien, 30.09.2026

Wegener Center – Ökonomik des Klima- und Umweltwandels

Birgit Bednar-Friedl
Stefan Nabernegg
Eva Preinfalk
Marlena Schöttl
Alexander Marbler

Umweltbundesamt

Markus Leitner
Teresa Deubelli-Hwang
Wolfgang Lexer
Therese Stickler

Wegener Center – Regionales Klima

Douglas Maraun
Isabella Kohlhauser
Laurenz Roither

Joanneum Research

Judith Köberl
Dominik Kortschak

IIASA

Susanne Hanger-Kopp
Julia Beier

Auftraggeber:innen:



 Bundesministerium
Arbeit, Soziales, Gesundheit,
Pflege und Konsumentenschutz

Dieser Bericht ist Teil des Forschungsprojekts COIN2.0 – Societal Cost of Inaction, in dem Klimafolgekosten und Anpassungsmaßnahmen für Österreich analysiert werden. Neben der Quantifizierung heutiger und zukünftiger Klimafolgekosten für Österreich stehen im Projekt die Belastung unterschiedlicher Gruppen (Unternehmen, Bevölkerungsgruppen, öffentlicher Haushalt) durch zukünftige Klimafolgen im Fokus. Dementsprechend werden Hotspots von Mehrfachbenachteiligungen durch unterschiedliche Klimarisiken untersucht. Darüber hinaus werden Anpassungsmaßnahmen zur Reduktion von Klimafolgekosten sowie deren weiterführende Effekte auf Beschäftigung, die Verteilung der Lasten und das Wohlbefinden analysiert. Der vorliegende Bericht dokumentiert das Gesamtframework für die Analyse von Klimafolgekosten in unterschiedlichen Wirkungsbereichen und gibt einen Überblick über verwendete Klimaszenarien, sozioökonomische und Landnutzungsszenarien, Anpassungsszenarien, sowie einzelne Storylines in COIN2.0.

Zitiervorschlag:

Bednar-Friedl, Birgit, Stefan Naberneegg, Eva Preinfalk, Marlena Schöttl, Douglas Maraun, Isabella Kohlhauser, Laurenz Roither, Markus Leitner, Wolfgang Lexer, Therese Stickler, Teresa Deubelli-Hwang, Judith Köberl, Dominik Kortschak, Susanne Hanger-Kopp, Julia Beier (2026), Szenarien und Gesamt-Framework, Teilbericht im Zuge der Studie COIN 2.0, Graz, Wien, Laxenburg.

Inhalt

1.	Gesamtüberblick	3
2.	Klimaszenarien	5
2.1.	Bisherige Klimaerwärmung	5
2.2.	Betrachtete Klimaszenarien	6
2.3.	Betrachtete Klimamodelle und Indikatoren	9
2.4.	Das Cold-Bias Problem	11
2.5.	Projizierte Klimaänderungen	12
3.	Sozioökonomische und Landnutzungsszenarien	18
4.	Anpassungsszenarien	21
4.1.	Szenario mit niedriger Anpassung	21
4.2.	Szenario mit hoher Anpassung	25
4.3.	Operationalisierung der Anpassungsszenarien in den Sektormodellen	29
5.	Wirkungskettenkonzepte und soziale Vulnerabilität	31
6.	Storylines	33
7.	Zusammenfassung	36
	Literaturverzeichnis	37

1. Gesamtüberblick

Die Folgen des Klimawandels sind in Österreich bereits heute durch veränderte Temperatur- und Niederschlagsmuster sowie die Zunahme von Unwetterereignissen stark spürbar (APCC, 2025). Die dadurch entstehenden Kosten treffen private und öffentliche Haushalte sowie Wirtschaftssektoren und weitere Institutionen für die Beseitigung von Klimaschäden und für Klimawandelanpassungsmaßnahmen. Ebenso ist die Betroffenheit sozialer Gruppen durch die Folgen des Klimawandels unterschiedlich groß.

Im Projekt COIN2.0 werden die Klimafolgekosten und sozialen Auswirkungen für Österreich in den relevantesten Wirkungsbereichen analysiert. Für eine vergleichbare Bewertung über diese Vielzahl von Wirkungsbereichen wird versucht möglichst konsistente Annahmen zu unterstellen bezüglich Klimaentwicklungen, gesellschaftliche Entwicklung sowie für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Im vorliegenden Bericht werden diese für COIN2.0 getroffenen Annahmen dokumentiert und zusammengefasst.

Ein Ziel des Projekts ist die Veranschaulichung der "Costs of Inaction", also der Kosten, wenn keine (zusätzlichen) Maßnahmen gesetzt werden. Dafür bedarf es eines gemeinsamen Verständnisses dieser Definition, die mehrere Aspekte umfasst und je nach Wirkungsbereich und Disziplin teilweise unterschiedlich verwendet werden. Damit leistete das Projekt auch einen Beitrag zur Schärfung des Verständnisses dieser Aspekte in Forschungs- Politik- und Anwendungsbereichen.

Die Kosten des Nichthandelns werden im vorliegenden Bericht sowohl in Bezug auf Emissionsvermeidung als auch auf Anpassung verstanden, wie allgemein im Sachstandsbericht des APCC definiert. Sie umfassen daher die "Kosten des Klimawandels ohne geplante/vorhergesehene Anpassungsmaßnahmen und ohne weitere Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels" (APCC, 2025). Weiters werden die Kosten des Nichthandelns, wie in Abbildung 1 konzeptionell dargestellt, für einen zukünftigen Zeitpunkt, bzw. einen Durchschnitt einer Klimaperiode von 20 Jahren um 2050 und 2080 analysiert.

Ausgangspunkt für die Abschätzung ist eine zugrundeliegende gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung (Shared Socio-Economic Pathway - SSP), inklusive konsistenter Annahmen über Bevölkerungsentwicklung, wirtschaftlicher Entwicklung, Landnutzung und Energieverbrauch (IIASA, 2024). Die Differenz zwischen den entstehenden Kosten durch zugrundeliegende SSP-Entwicklungen und der abgeschätzten Kosten durch Klimaveränderungen stellt die Kosten des Nichthandels ohne Anpassung dar (Abbildung 1-links). In einem Szenario mit Anpassung (Abbildung 1-rechts) sinken die Kosten durch den Klimawandel im Vergleich zum Szenario ohne Anpassung um den Netto-Nutzen von Anpassung mit Berücksichtigung von

Anpassungsausgaben. Die residualen Kosten entstehen durch Klimafolgeschäden, die trotz Anpassung nicht vermeidbar sind.

In der Analyse wird weiters ein Szenario mit hoher und eines mit niedriger Anpassung dargestellt, um den Aspekt von nicht vollständiger Anpassung abzudecken. Die Auswirkungen von verspäteter Anpassung können im Projektrahmen nicht näher behandelt werden.

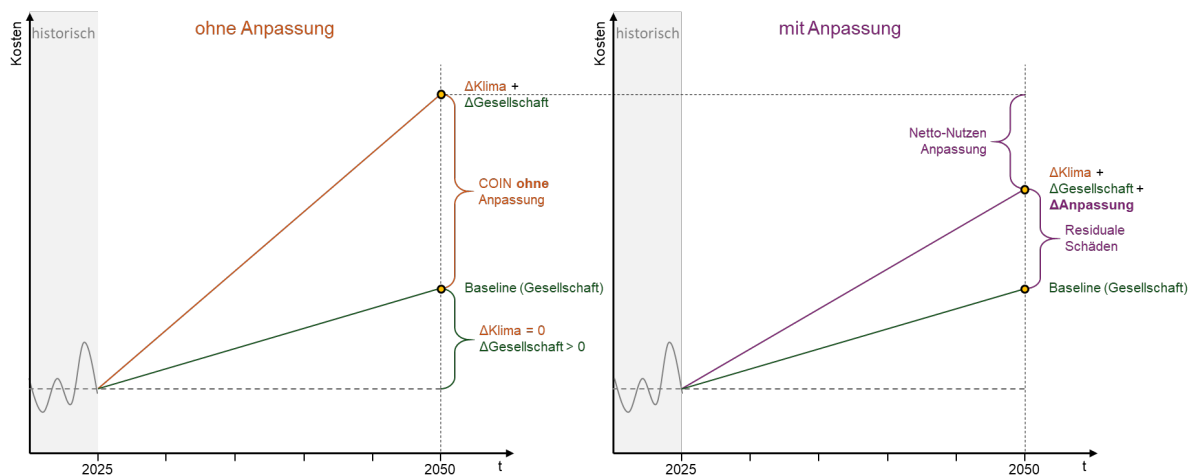


Abbildung 1: Konzeptionelle Darstellung der Cost of Inaction (COIN).

Abbildung 2 zeigt einen Überblick aller berücksichtigter Szenarien des Gesamtframeworks. Die durchschnittlichen Klimaschäden pro Sektor werden jeweils für die Klimaperioden 2050 und 2080 analysiert. Für die gesellschaftlich und wirtschaftliche Entwicklung wird das SSP-Framework herangezogen (siehe Kapitel 3). Dieses besteht aus fünf sozioökonomischen Zukunftsszenarien, wobei der Projektfokus auf SSP2 – Middle of the Road und SSP5 – Fossil-Fueled Development liegt. Das zugrundeliegende Bevölkerungsszenario wird jeweils kombiniert mit dem entsprechenden Klimaszenario, dem Representative Concentration Pathway (RCP 4.5 und RCP 8.5) (siehe Kapitel 2). Die Kombination aus jeweils einem SSP und RCP fließt in vier verschiedene mögliche Klimamodellensembles ein, wofür nochmal jeweils ein niedriges und ein hohes Anpassungsszenario modelliert wird (siehe Kapitel 4). Dieses Gesamtframework führt zu insgesamt 28 potenziellen Szenarien, wobei sich die Anzahl der modellierten Szenarien je nach Wirkungsbereich unterscheidet.

Um eine zusammenführende Analyse über alle Wirkungsbereiche hinweg zu gewährleisten wird ein Klimamodelllauf (KNMI) in zwei SSP-RCP Kombinationen mit hoher und niedriger Anpassung in allen Wirkungsbereichen dargestellt (orange hinterlegt in Abbildung 2).

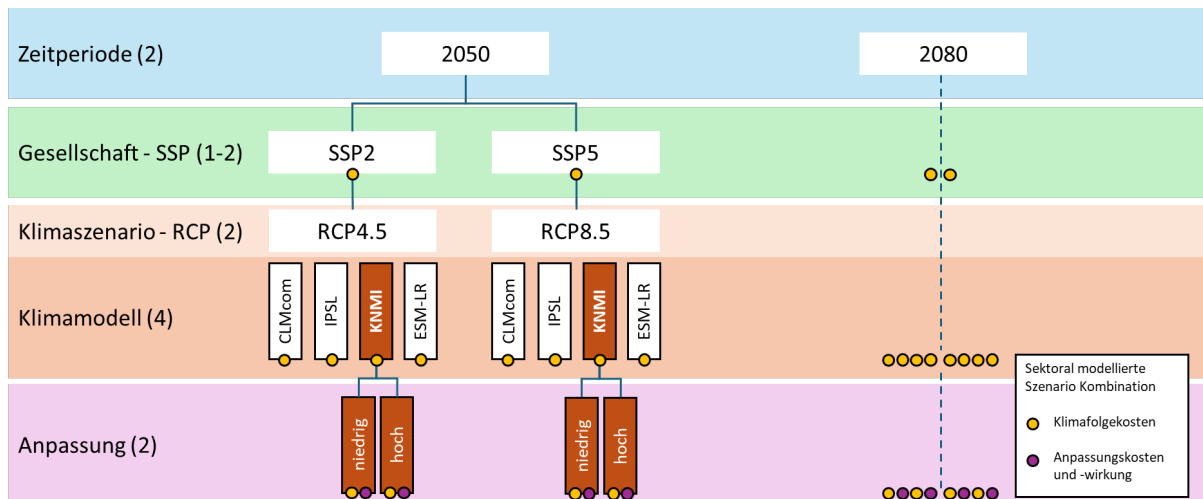


Abbildung 2: Szenarienüberblick

2. Klimaszenarien

In COIN2.0 wurden diverse Klimawandel-Indikatoren für die Risikoabschätzungen in den ausgewählten Sektoren berechnet. Diese Indikatoren wurden aus Klimasimulationen des ÖKS15 Klimamodellensembles berechnet. Die Indikatoren dienen dabei als Eingangsgrößen für Wirkmodelle, die Klimafolgen simulieren. Da diese Modelle selbst sehr rechenintensiv sind, konnte nicht das komplette ÖKS15 Ensemble betrachtet werden, sondern nur ausgewählte Modelle. Es wurden deshalb vier Modelle ausgewählt, die die Unsicherheiten in den regionalen Klimaprojektionen möglichst vollständig abbilden.

Da die Klimaerwärmung deutlich stärker vorangeschritten ist als von den ÖKS15 Modellen simuliert, ist das von diesen Modellen simulierte gegenwärtige Klima zu kalt. Um zu vermeiden, dass Risiken infolgedessen stark unterschätzt werden, wurde dieses sogenannte “Cold-Bias” Problem durch eine statistische Nachbearbeitung so weit wie möglich behoben. Bevor im Folgenden die betrachteten Szenarien, die Modellauswahl und der Umgang mit dem Cold-Bias Problem erläutert werden, sollen einführend die tatsächlich beobachteten Klimaänderungen kurz umrissen werden. Der Abschnitt schließt mit illustrativen Beispielen für projizierte Klimaänderungen.

2.1. Bisherige Klimaerwärmung

Abbildung 3 zeigt die beobachtete Klimaerwärmung weltweit, für Landflächen, Europa und Österreich. Als Referenzzeitraum ist die Periode 1850-1900 gewählt, um einerseits möglichst den Zustand vor Beginn der Industrialisierung zu beschreiben, aber andererseits möglichst über eine ausreichend gute Datenbasis zu verfügen.

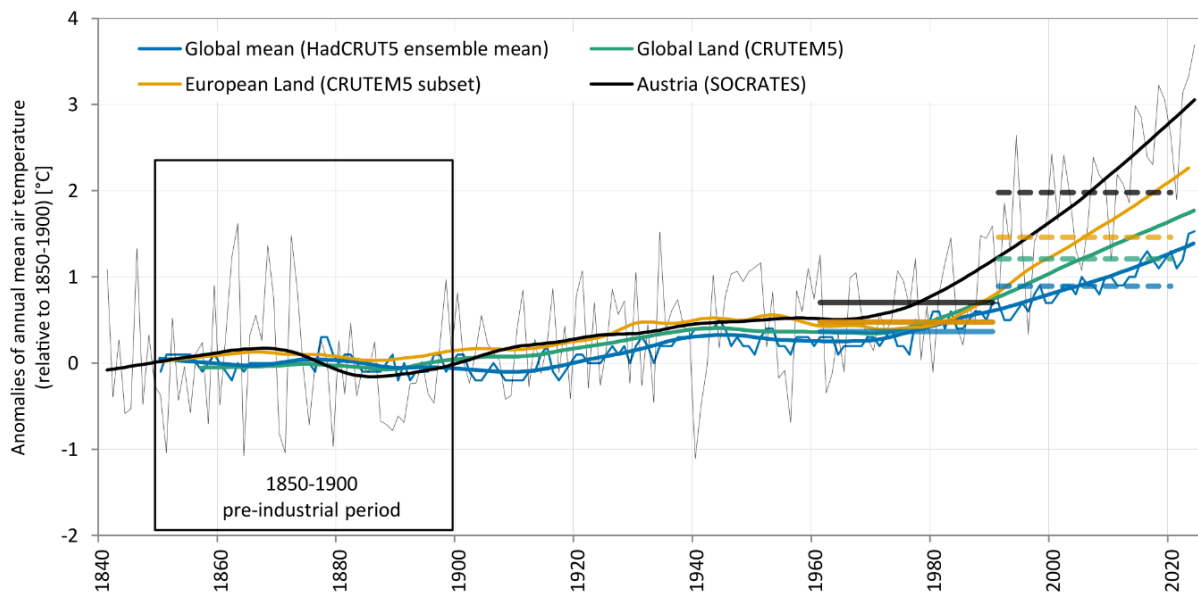


Abbildung 3: Beobachtete Klimaerwärmung von 1840 bis 2022 relativ zur Referenzperiode 1850-1900. Aus Formeyer et al. (2025).

Seit spätestens den 1980er Jahren zeigt sich eine deutliche Erwärmung. Da Ozeane eine sehr große Wärmekapazität haben (und deshalb viel mehr Wärmeenergie nötig ist, diese zu erwärmen), haben sich die Landflächen deutlich stärker als das globale Mittel erwärmt. In den Jahrzehnten nach dem zweiten Weltkrieg hat die zunehmende Luftverschmutzung über Europa die Erwärmung noch verdeckt. Seit den 1970er Jahren jedoch haben Gesetze zur Luftreinhaltung und der Zusammenbruch der Wirtschaft im Ostblock die Aerosolbelastung deutlich reduziert, so dass der vorher verdeckte CO₂ Effekt immer deutlicher hervortrat. Dadurch hat sich Europa gerade im Sommer noch einmal deutlich stärker erwärmt als die globalen Landflächen. Ein weiterer Faktor für die starke Erwärmung waren Verschiebungen von Wetterlagen.

Während sich die globale Mitteltemperatur seit Beginn der Industrialisierung um mittlerweile fast 1,5 Grad erwärmt hat, sind die Mitteltemperaturen in Österreich bereits um etwa 3 Grad gestiegen. Mehr Details zu anderen Klimawandelindikatoren finden sich in Kapitel 1 des zweiten österreichischen Klimasachstandsberichts AAR2 (Formeyer et al., 2025).

2.2. Betrachtete Klimaszenarien

COIN2.0 basiert hauptsächlich auf simulierten Klimaszenarien. Solche Szenarien repräsentieren eine Bandbreite plausibler Klimaentwicklungen für eine angenommene Entwicklung von Treibhausgasemissionen und anderen menschgemachten Faktoren, die das Klima beeinflussen können (sogenannte Forcings), vor allem Änderungen in der Aerosolbelastung und Landnutzungsänderungen. Die Bandbreite plausibler

Änderungen wird dabei durch die Betrachtung verschiedener Klimamodelle berücksichtigt, die alle den gleichen Forcings unterworfen sind (siehe unten).

Für COIN2.0 wurden die neuesten zur Verfügung stehenden regionalen ÖKS15 Szenarien benutzt. Diese nutzen die sogenannten Repräsentativen Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways, RCPs, Meinshausen et al., 2011), die für die CMIP5 Klimamodelle aus dem 5. Sachstandsbericht des IPCC entwickelt wurden (Taylor et al., 2012). Diese Pfade beschreiben verschiedene mögliche Entwicklungen in der Störung des Energiehaushalts der Erde, also letztendlich verschiedene mögliche Entwicklungen von Treibhausgasen, Aerosolen und Landnutzung.

In COIN2.0 wurden die Szenarien RCP8.5 und RCP4.5 betrachtet. In den aktuell laufenden Simulationen der CMIP7 Initiative des Weltklimaforschungsprogramms wird allerdings das Szenario RCP8.5 nicht mehr betrachtet, da es den Beteiligten als nicht mehr plausibel erscheint (van Vuuren et al. 2026). Im Folgenden werden die Hintergründe und Implikationen dieser Entscheidungen erläutert.

COIN2.0 basiert auf den ÖKS15 Klimaszenarien. Die Entwicklung solcher Klimaszenarien folgt einer langen Kette an Planungs- und Simulationsschritten. Zunächst werden als Grundlage von Klimaprojektionen (Klimawandelsimulationen) Emissionsszenarien erstellt, danach Simulationen mit globalen Erdsystemmodellen im Rahmen der CMIP Initiative des Weltklimaforschungsprogramms gerechnet, diese dann mithilfe von regionalen Klimamodellen in der CORDEX Initiative regionalisiert, und schließlich in nationalen Klimaszenarien statistisch an das beobachtete regionale Klima angepasst (bias-korrigiert). Die gegenwärtigen ÖKS15 Szenarien basieren auf den RCP Szenarien von 2009.

Die CMIP5 Klimasimulationen mit diesen Szenarien wurden 2011 fertiggestellt, von EURO-CORDEX bis etwa 2013 regionalisiert, und dann für ÖKS15 bis Anfang 2016 bias-korrigiert. 2016 wurden dann sogenannte SSP/RCP Szenarien veröffentlicht, die wiederum den CMIP6 Simulationen von 2019 zugrunde liegen. Zurzeit werden diese von EURO-CORDEX regionalisiert, neue österreichische Klimaszenarien sind für 2027 geplant. Die globalen Simulationen zu den neuen CMIP7 Szenarien werden gerade gerechnet, regionalisierte Simulationen für Europa sind sicher erst in einigen Jahren zu erwarten.

Die aktuellen EURO-CORDEX Simulationen - und somit auch die ÖKS15 Simulationen - sind für die Szenarien RCP8.5 und RCP4.5 verfügbar. Diese Auswahl wurde getroffen, um einerseits ein Worst-Case Szenario (RCP8.5) bereitzustellen und andererseits ein moderat optimistisches (RCP4.5). Ersteres Szenario beschreibt eine Welt, in der der Ausstoß an Treibhausgasen bis zum Ende des Jahrhunderts

ungebremst ansteigen wird - bis zum Ende des Jahrhunderts würde sich das Klima um ca. 4,4 Grad im globalen Mittel seit Beginn der Industrialisierung erwärmen. Letzteres Szenario nimmt an, dass der Klimaschutz weiter moderat ausgebaut wird. Die Erwärmung liegt dann bei etwa 2,6 Grad.

Für die kommenden CMIP7 Simulationen wurde nun das RCP8.5 (bzw. die entsprechenden SSPs) als nicht mehr plausibel gestrichen. Die Argumentation der Beteiligten ist, dass durch bisherige Klimaschutzmaßnahmen der Klimawandel bereits gebremst wurde. Außerdem sind einerseits erneuerbare Energien bereits jetzt so günstig, und andererseits wird der Abbau von fossilen Energieträgern in Zukunft deutlich teurer werden, so dass erhöhte Emissionen, wie in RCP8.5 angenommen, marktwirtschaftlich nicht mehr plausibel sind. Als neues Worst-Case Szenario wird nun ein Szenario vorgeschlagen, dass zu etwa 3,3 Grad Klimaerwärmung führen würde. Dieses Szenario ist deutlich moderater als RCP8.5 und sogar weniger stark als das bisherige RCP7.0 mit 3,6 Grad Erwärmung.

Auch wenn das RCP8.5 Szenario in der Tat immer unwahrscheinlicher wird, sind auch die Annahmen zum neuen Worst-Case Szenario vor dem Hintergrund der Entwicklungen der letzten Jahre diskussionswürdig: Die Chance zu einem forcierten Ausbau der erneuerbaren Energien als Reaktion auf den Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine wurde nicht genutzt. Im Gegenteil haben Investitionen in fossile Infrastruktur zu Lock-In Effekten geführt. Politische Entscheidungen zur Energiewende wurden abgeschwächt oder sogar zurückgenommen, fossile Energien werden weiter stark subventioniert. Und selbst China, Vorreiter im Ausbau erneuerbarer Energien, investiert immer noch stark in den Ausbau von Kohlekraftwerken. Das neue Szenario beschreibt also eher eine pessimistische, aber doch nicht unwahrscheinliche Entwicklung, als einen Worst-Case.

Klimarisikoabschätzungen sollten nicht nur betrachten, was wahrscheinlich passieren wird, sondern auch analysieren, was passieren könnte, wenn unvorhergesehene negative Entwicklungen passieren sollten. Solche Entwicklungen werden durch das neue Szenario nicht abgebildet, sie werden entsprechend auch mit den neuen Simulationen nicht mehr analysiert werden können.

Wie oben beschrieben, sind das RCP8.5 und RCP4.5 aktuell die einzigen Szenarien, die für COIN2.0 für quantitative regionale Analysen zur Verfügung stehen. Das neue Worst-Case Szenario kann in regionalen Simulationen erst in einigen Jahren berücksichtigt werden. Nichtsdestotrotz halten wir die Auswahl dieser Szenarien nach wie vor für sinnvoll. RCP8.5 bildet dabei klar den Worst-Case ab, der in einer Welt ganz ohne Klimaschutz eintreten würde. Um den aktuellen Diskussionen Rechnung zu tragen, werden wir allerdings die Ergebnisse aus COIN2.0 qualitativ in Bezug auf das Szenario RCP7.0 und zum neuen Worst-Case Szenario interpretieren.

2.3. Betrachtete Klimamodelle und Indikatoren

Alle Modelle – und deshalb auch Klimamodelle – sind in ihrem Wesen eine vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit. Bei Klimamodellen werden Komplexität und Detailreichtum je nach Problemstellung gewählt.

Die Reaktion des gesamten Klimasystems auf Forcings wird durch sogenannte Globale Klima- oder Erdsystemmodelle (ESMs) simuliert, die Atmosphäre und Ozeane mit einem dreidimensionalen Gitter überziehen, das in der Atmosphäre eine horizontale Auflösung von ca. 100km hat. Regionale Wetterphänomene und Klimaprozesse werden durch sogenanntes dynamisches Downscaling repräsentiert. Dazu werden über einer ausgewählten Region wie z.B. Europa regionale Klimamodelle (Regional Climate Models, RCMs) mit sehr hoher horizontaler Auflösung von oft feiner als 20km betrieben, die an den Rändern des Simulationsgebiets (und an der Meeresoberfläche) die gröberen Simulationen der ESMs als Eingangsgrößen nehmen.

Als Vereinfachungen der Wirklichkeit zeigen Modellsimulationen in der Regel systematische Abweichungen von der Wirklichkeit – je nach Region und Jahreszeit sind zu kalt oder warm, zu trocken oder zu feucht. Diese sogenannten Biase werden so gut wie möglich durch statistische Nachbearbeitung, Bias Correction oder Bias Adjustment genannt, berücksichtigt (Maraun & Widmann, 2018). Dazu werden verschiedene statistische Aspekte der Modellsimulationen (Mittelwerte, Streuung, bestimmte Perzentile, etc.) mit denen in Beobachtungsdaten verglichen und entsprechend angepasst. Werden regionale Klimamodelle mit Beobachtungsdaten feinerer Auflösung (z.B. 1km) verglichen, kann so ein einfaches weiteres statistisches Downscaling vorgenommen werden, dass zumindest lokale Topographische Eigenschaften (z.B. die Abnahme der Temperatur mit der Höhe oder die Ausbildung von Regenschatten hinter einer Bergkette) im Mittel berücksichtigt werden können. Diese Nachbearbeitung birgt Potenzial für diverse Artefakte (Maraun et al., 2017), ist aber gerade in der Klimafolgenmodellierung oft unverzichtbar (Doblas-Reyes et al., 2021).

Für eine spezielle Problemstellung folgen alle Modelle den gleichen physikalischen Prinzipien, haben aber vor allem kleinskalige Prozesse in einem plausiblen Bereich jeweils leicht unterschiedlich implementiert. Bei gleichem Forcing simulieren unterschiedliche Klimamodelle deshalb leicht unterschiedliche Klimaänderungen, insbesondere auf der regionalen Skala und für Änderungen in Niederschlag oder Wind. Diese Unsicherheiten werden durch die Betrachtung mehrerer Modelle, also durch ein sogenanntes Modellensemble repräsentiert.

Den Analysen in COIN2.0 liegen die ÖKS15 Klimaszenarien zugrunde (Chimani et al., 2016). Diese basieren auf einer Kombination von ausgewählten CMIP5 ESMs mit

mehreren EURO-CORDEX Regionalmodellen (Jacob et al., 2014) mit einer horizontalen Auflösung von ca. 12km. In ÖKS15 wurden 13 dieser Simulationen berücksichtigt, die schließlich noch gegen Spartacus Daten der Geosphere Austria mit einer Auflösung von 1km biaskorrigiert wurden.

Für Risikoabschätzungen sollte möglichst der gesamte Unsicherheitsbereich möglicher zukünftiger Entwicklungen berücksichtigt werden, inklusive plausibler worst-case Abschätzungen. Gleichzeitig sind aber die Simulationen der Wirkmodelle selbst sehr rechenintensiv, so dass nicht alle Klimamodellsimulationen berücksichtigt werden können. Es wurde deshalb entschieden, vier Modelle auszuwählen, die die Bandbreite möglicher Änderungen gut abdecken. Die Herausforderung hier ist, dass die Position eines Modells im gesamten Modellensemble stark von der Region, der Jahreszeit und dem Indikator abhängt.

Zur Modellauswahl wurde Österreich deshalb in drei Regionen aufgeteilt: Der Nordosten (umfasst ungefähr die Bundesländer Salzburg, Ober- und Niederösterreich sowie Wien), der Südosten (ungefähr Kärnten, Steiermark und Burgenland) sowie die Alpen (Vorarlberg, Tirol und der Westen von Salzburg). In diesen Regionen wurden Änderungen im jahreszeitlichen Mittel von Temperatur und Niederschlag betrachtet (siehe Abbildung 4). Ein besonderes Augenmerk bei der Auswahl lag dabei auf den Niederschlagsänderungen im Sommer, die indirekt Dürren und Starkniederschläge betreffen. Folgende Modelle wurden ausgewählt:

EC Earth RACMO: schwache Erwärmung im Winter und Sommer, sonst im Mittelfeld; schwache Änderungen im Niederschlag, nur im Herbst Tendenz zum Austrocknen.

HadGEM2 CCLM: im Sommer und Herbst sehr starke Erwärmung, sonst im Mittelfeld; im Frühling, Sommer und Herbst deutliches Austrocknen.

CM5A WRF: im Sommer schwache Erwärmung, sonst eher im Mittelfeld; im Sommer und Herbst deutlich feuchter werdend.

MPI-ESM RCA4: meist im Mittelfeld, im Winter starke Erwärmung im Südosten und in den Alpen; Niederschlagsänderungen meist im Mittelfeld.

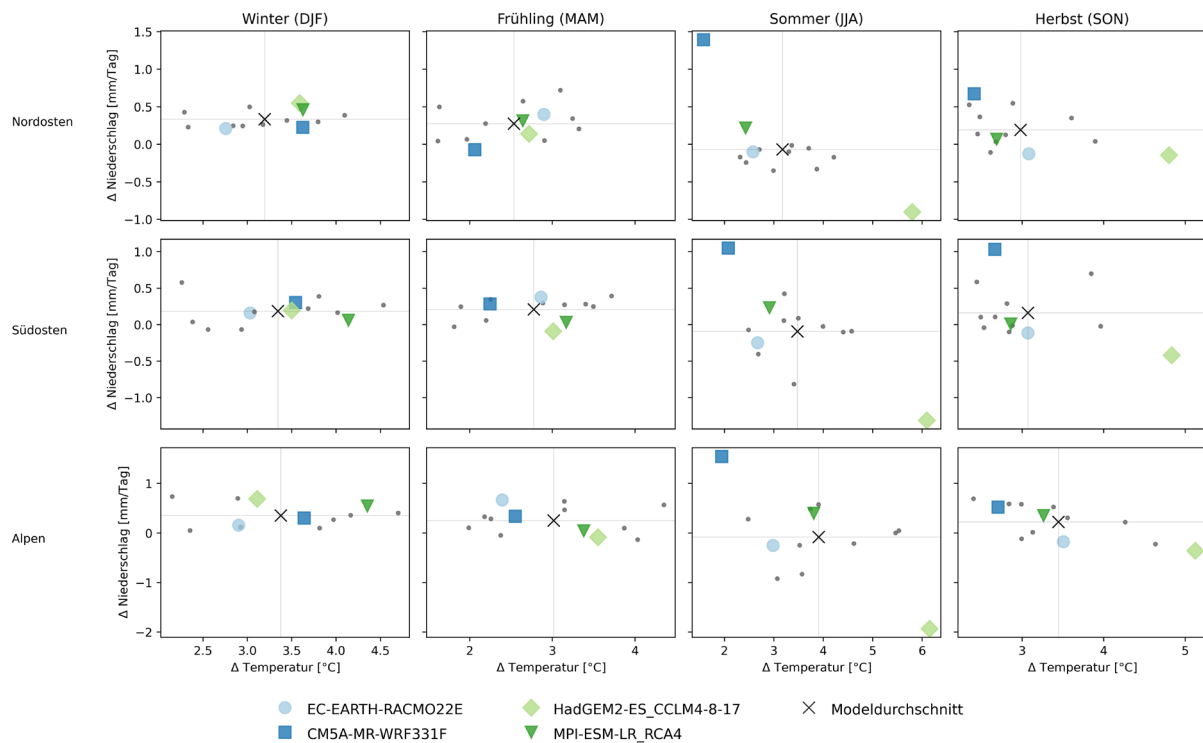


Abbildung 4: Projizierte Änderungen (2071-2090 gegenüber 2001-2020) in saisonalen Mitteltemperaturen und -niederschlägen für verschiedene Regionen Österreichs. Grau: einzelne betrachtete Modelle; schwarz: Mittel über alle Modelle; die ausgewählten Modelle sind in Farbe dargestellt.

Für alle vier Modelle wurden mehrere Indikatoren für Temperatur, Niederschlag, Strahlung und Wind berechnet, von denen die relevantesten in Abschnitt 2.5 dargestellt sind.

2.4. Das Cold-Bias Problem

Die ÖKS-Modelle wurden für eine Referenzperiode von 1971-2000 biaskorrigiert. Über diesen Zeitraum stimmen deshalb die klimatologischen Mittelwerte und andere Statistiken in den Modellen und Beobachtungen überein. Es zeigt sich jedoch, dass die beobachteten langfristigen Trends seit Beginn der 1980er Jahre in den Klimamodellen – sowohl den ESMs als auch den RCMs – deutlich unterschätzt wurden. Diese Diskrepanz hat im Wesentlichen zwei Ursachen.

Zum einen sind nicht allein steigende CO₂ Konzentrationen in der Atmosphäre für die Erwärmung seit den 1980er Jahren verantwortlich, sondern – vor allem in Europa – auch die Abnahme der Aerosolbelastung. Änderungen in Aerosolen wurden in den ESMs jedoch noch recht einfach berücksichtigt, in den meisten RCMs gar nicht (sondern nur langjährige Mittel). Dass seit den 1980er Jahren die Luft immer klarer wurde, deshalb mehr Sonnenstrahlen den Erdboden erreicht haben, und dieser sich vor allem im Sommer stärker erwärmt hat, wurde deshalb nur unzureichend wiedergegeben.

Außerdem haben sich Wetterlagen insbesondere im Sommer stark geändert, ein Trend, der in Klimamodellen nicht dargestellt wird – die Ursachen dieser Diskrepanz sind noch nicht vollkommen verstanden. Die aktuelle Generation CMIP6 der ESMs stellt die Aerosol-bezogene Erwärmung bereits deutlich besser dar, die damit angetriebenen neuen RCM-Simulationen stehen jedoch noch nicht zur Verfügung.

Um eine Unterschätzung der Klimarisiken schon im simulierten aktuellen Klima zu vermeiden, wurden die ausgewählten Modelle deshalb noch zusätzlich bezüglich ihrer Mittelwerte im Vergleich zur Periode 2001-2020 nachbearbeitet. Je nach Wirkmodell wurden folgende Ansätze verwendet, die von der Initiative Klimaszenarien.at empfohlen werden:

1. Delta-Change-Methode: Für Wirkmodelle, die auf 20-Jahresperioden in der Gegenwart und Zukunft angewendet wurden, wurden die Klimamodellsimulationen nicht direkt verwendet. Stattdessen wurde für die Darstellung des zukünftigen Klimas die simulierte Änderung gegenüber dem Zeitraum 2001-2020 auf die Beobachtungen aufgeprägt.

2. Modellinterne Umskalierung: Für die Waldmodellierung, die ununterbrochene Simulationen vom gegenwärtigen Klima bis zum Ende des Jahrhunderts benötigt, wurden die Simulationen der vier Klimamodelle angepasst. Im Rahmen der Klimaszenarien.at Initiative wurden bereits die 20-Jahres-Periode bestimmt, in denen diese Modelle im Mittel die gemessenen Temperaturen der Periode 2001-2020 erreicht haben. Für alle betrachteten Klimavariablen wurde dann die Änderungen in den Klimamodellen zwischen der Periode 2001-2020 und dieser 20-Jahres-Periode berechnet und auf die Modellsimulationen der Periode 2001-2020 aufgeprägt.

2.5. Projizierte Klimaänderungen

Im Folgenden werden beispielhaft projizierte Änderungen für ausgewählte Indikatoren in verschiedenen Regionen Österreichs gezeigt. Ein detaillierter Überblick findet sich im zweiten österreichischen Klimasachstandsbericht AAR2 im Kapitel zu Klimaänderungen (Formeyer et al., 2025).

Abbildung 5 zeigt die erwarteten Änderungen in der Tageshöchsttemperatur. Je nach Region, Jahreszeit und Modell variiert die Erwärmung. In der Periode 2041-2060 ist der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 noch recht gering, in der Periode 2071-2090 dann deutlich. Vereinzelt Fälle, in denen ein Modell in der früheren Periode wärmer ist als in der späteren, lassen sich durch interne Klimaschwankungen erklären, so dass die erstere zufällig wärmer als erwartet, die letztere kälter als erwartet ausfällt. Abbildung 6 zeigt entsprechend die projizierten Änderungen in Hitzetagen (Tageshöchsttemperatur > 30°C) und Frosttagen (Tagesminimumtemperatur < 0°C).

Im Szenario RCP8.5 bedeutet dies eine Abnahme der Frosttage bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um, je nach Region und Modell, ca. 19% bis 60%.

Abbildung 7 zeigt die projizierte Änderung der saisonalen Niederschlagsmengen. Hier sind die Trends deutlich regions- und jahreszeiteinspezifisch. Während vor allem im Winter und Herbst von den meisten Modellen mehr Niederschlag erwartet wird, ist die Änderung gerade im Sommer noch sehr unsicher. Die deutlichsten Signale zeigen sich im Norden, wohingegen die Änderungen im Südosten selbst im Winter unklar sind. Diese Signale sind noch stärker als bei den Temperaturen von internen Klimaschwankungen überlagert, außerdem kann die Auswahl von vier Modellen nicht für jede Region und Jahreszeit repräsentativ für das ganze ÖKS15 Ensemble sein. Alle Ergebnisse, die auf Niederschlagsänderungen basieren, werden deshalb im Vergleich zum gesamten Ensemble interpretiert. Abbildung 8 zeigt entsprechend Änderungen in der Zahl der Niederschlagstage (Niederschlag mindestens 1mm), Abbildung 9 die Änderungen in Starkregen am Beispiel der erwarteten stärksten Tagessumme im Jahr. Während bei schwachem Klimawandel interne Klimaschwankungen die Intensivierung noch maskieren kann, zeigt sie sich deutlich im RCP8.5 am Ende des Jahrhunderts.

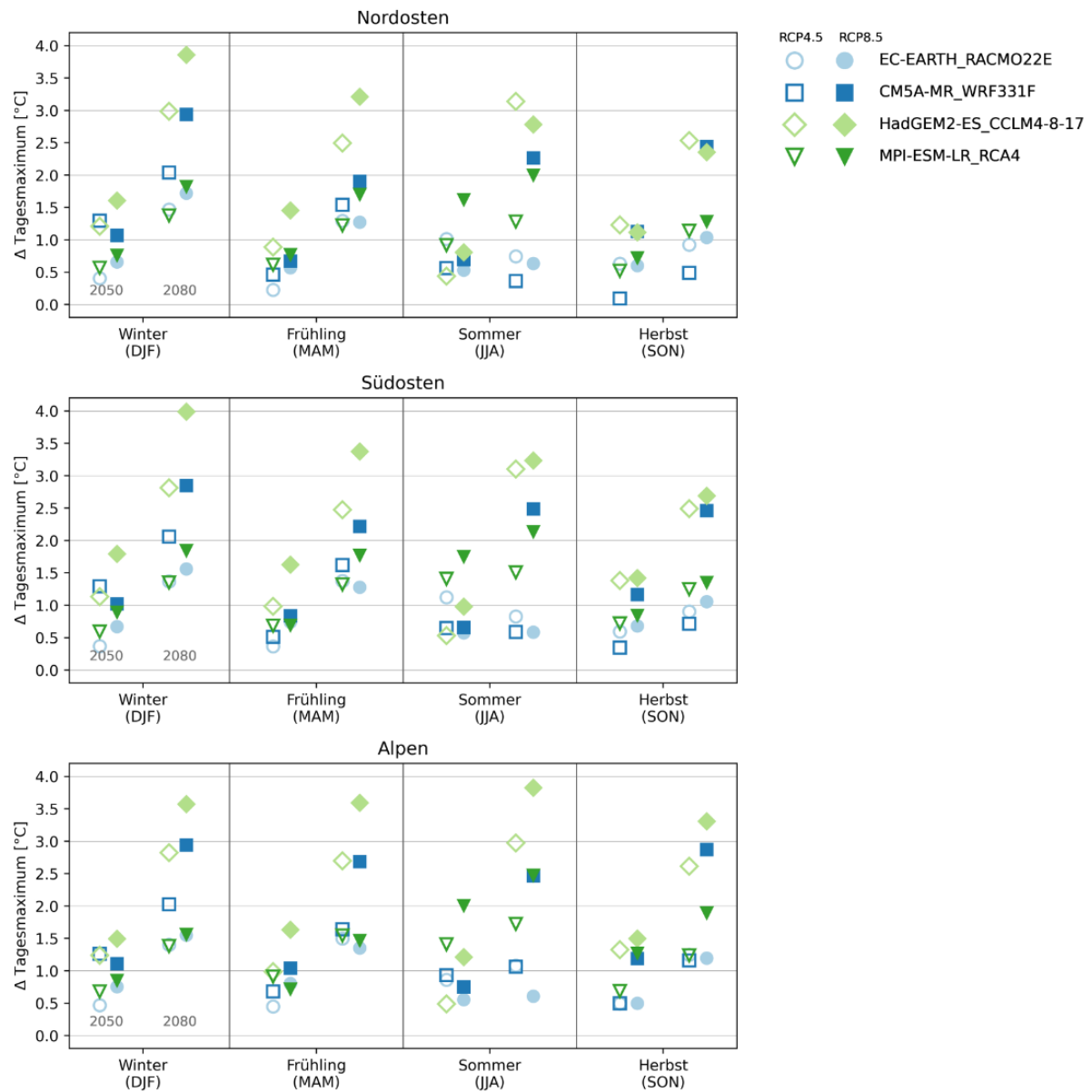


Abbildung 5: Projizierte Änderungen in saisonalen Tageshöchsttemperaturen. Für jede Jahreszeit sind links die Änderungen von 2001-2020 bis zur Periode 2041-2060, bzw. rechts bis zur Periode 2071-2090 gezeigt. Offene Symbole zeigen das Szenario RCP4.5, ausgefüllte Symbole RCP8.5.

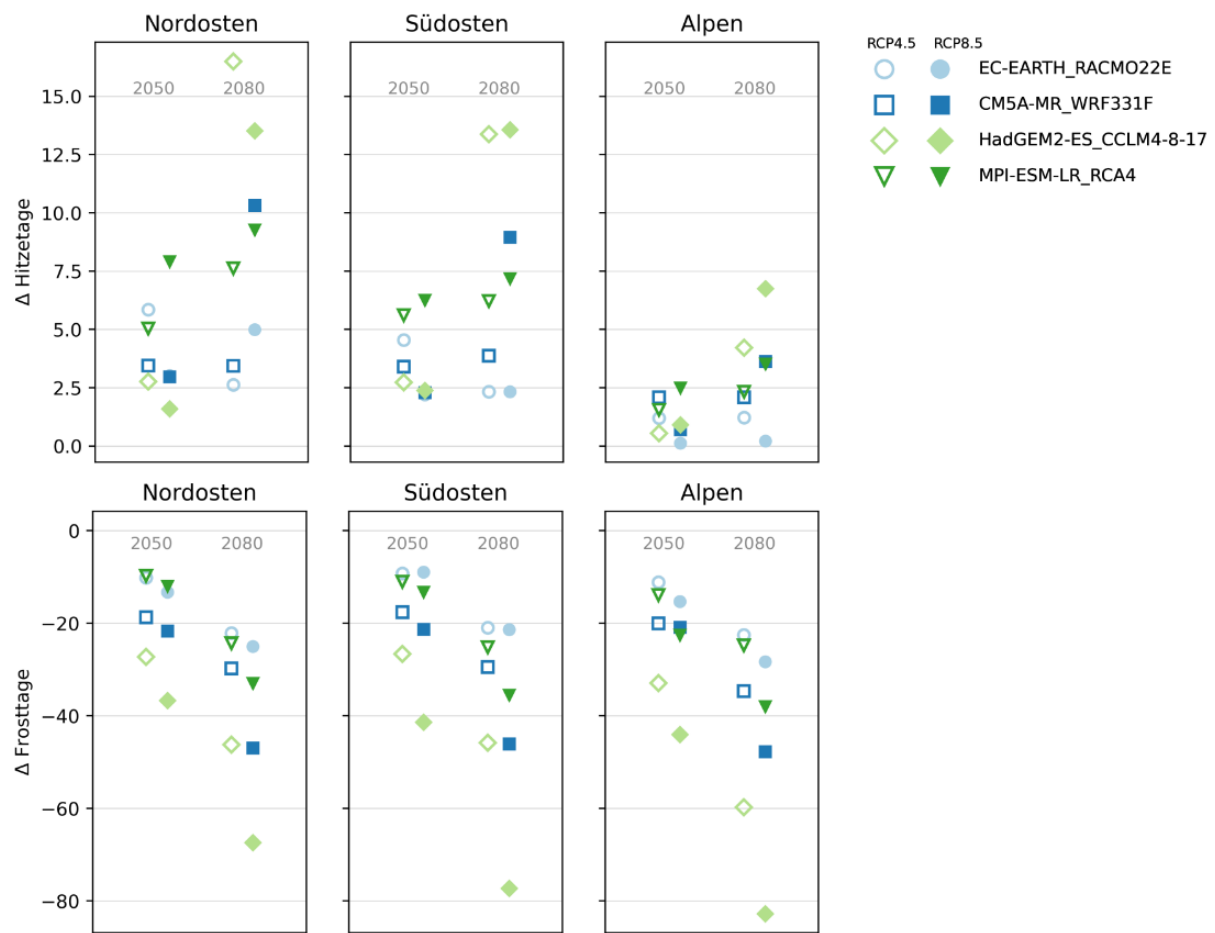


Abbildung 6: Projizierte Änderungen in der Anzahl der Hitze- (oben) und Frosttage (unten) pro Jahr. Für jede Region sind links die Änderungen von 2001-2020 bis zur Periode 2041-2060, bzw. rechts bis zur Periode 2071-2090 gezeigt. Offene Symbole zeigen das Szenario RCP4.5, ausgefüllte Symbole RCP8.5.

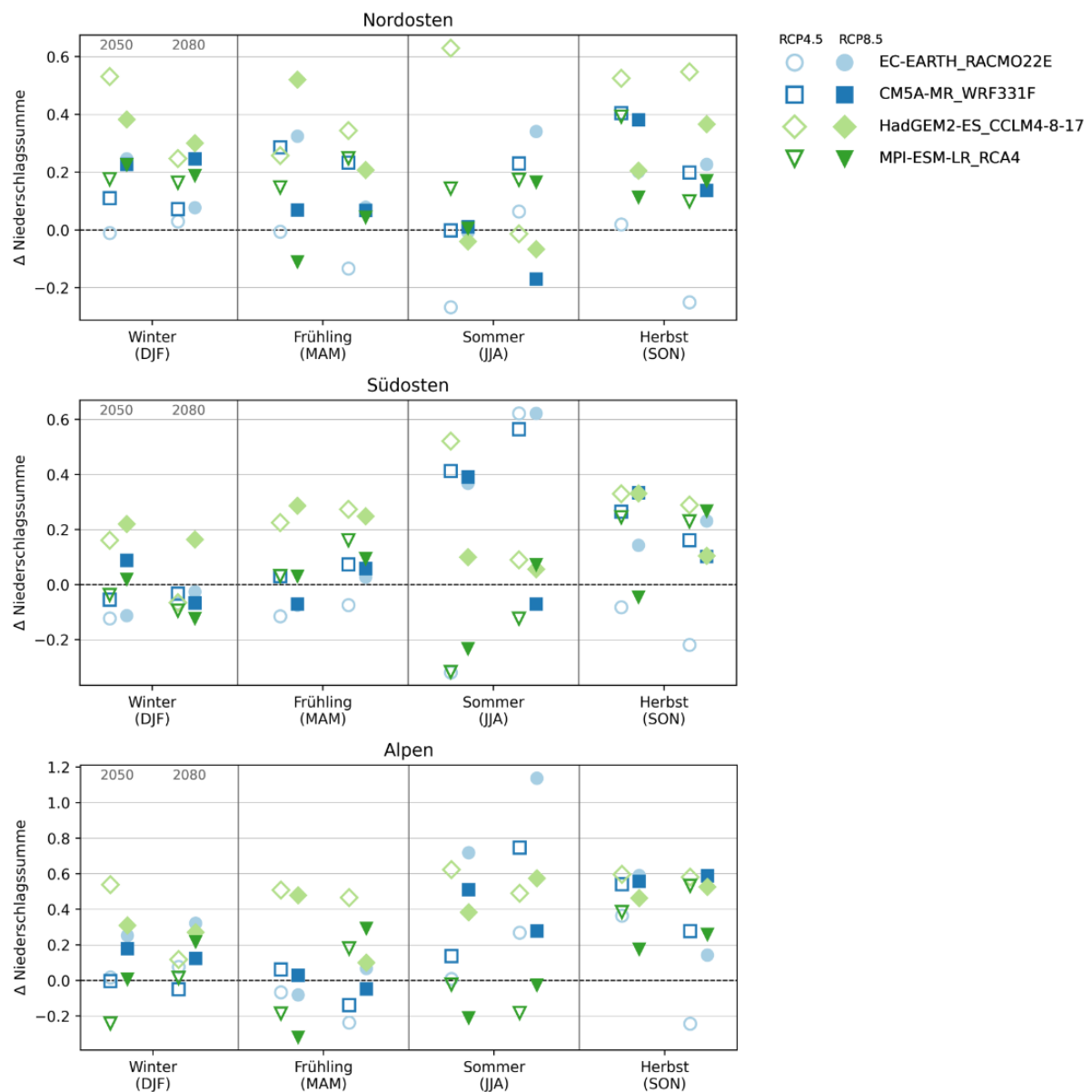


Abbildung 7: Wie Abbildung 5, nur für projizierte Änderungen in saisonalen Niederschlagssummen in mm/Tag.

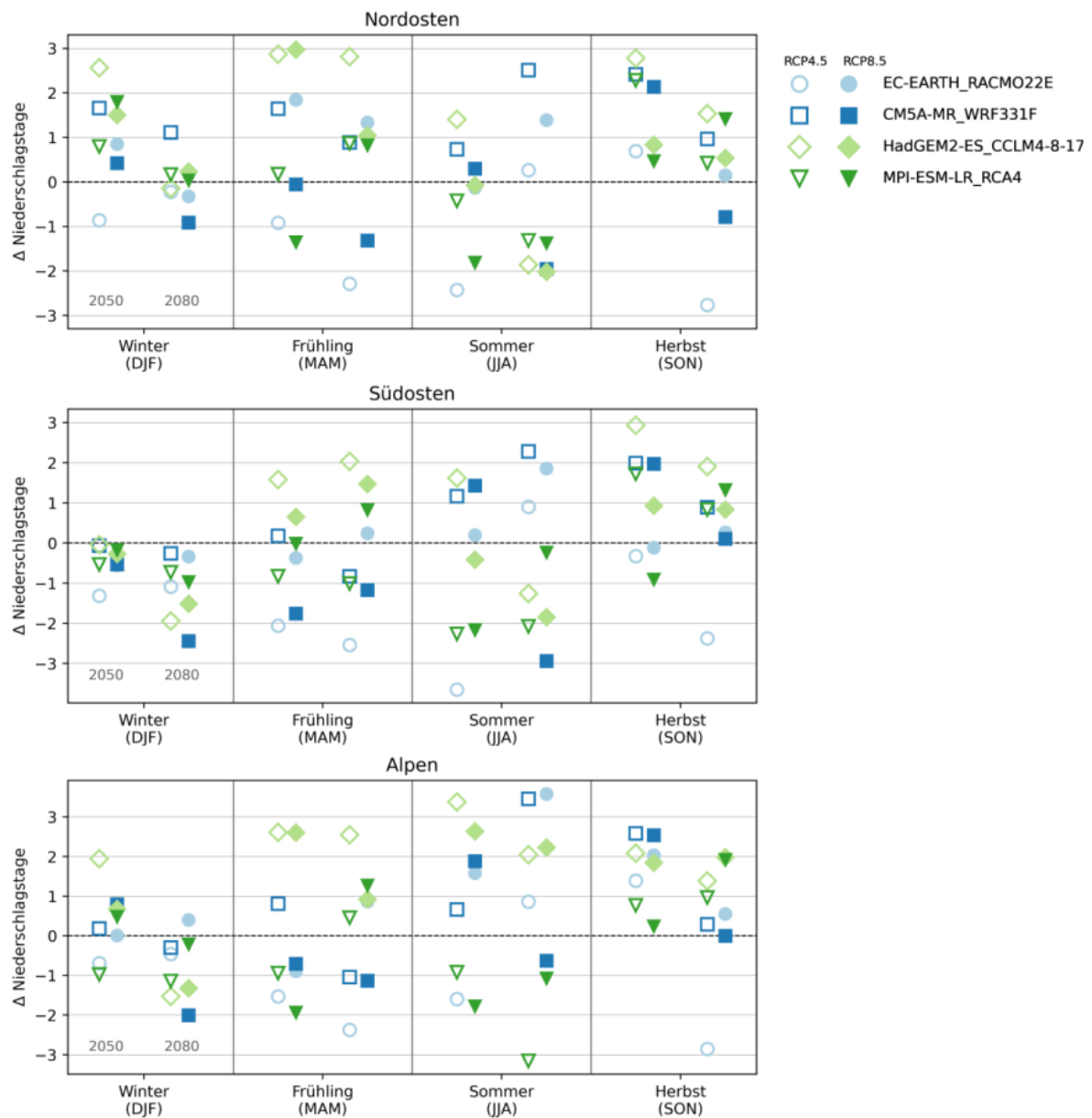


Abbildung 8: Wie Abbildung 5, nur für projizierte Änderungen in der Anzahl an Niederschlagstagen pro Jahreszeit.

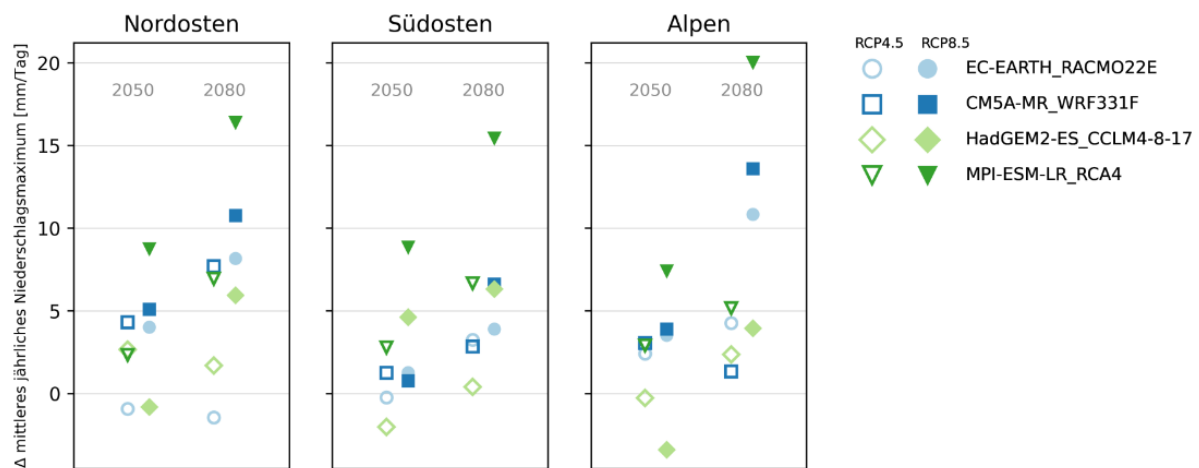


Abbildung 9: Wie Abbildung 5, nur für projizierte Änderungen in den stärksten Tagesniederschlägen eines Jahres [in mm/Tag].

3. Sozioökonomische und Landnutzungsszenarien

Um zukünftige Klimafolgekosten für Österreich abschätzen zu können bedarf es einer Annahme zu gesellschaftlichen Entwicklungen Österreichs im globalen Kontext. Dafür wird das in der Klimaforschung etablierte Konzept der Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) (O'Neill et al. 2014) angewandt und für Österreich spezifiziert.

Die SSPs stellen konsistente globale Rahmenszenarien dar und unterscheiden sich in ihren fünf Narrativen anhand der Herausforderungen für Mitigation und Anpassung. Im Speziellen werden für COIN2.0 die Szenarien SSP2 (Middle of the Road) und SSP5 (Fossil-Fueled Development) herangezogen, die in ihrer Kombination mit den Klimaszenarien als SSP2-RCP4.5 und SSP5-RCP8.5 für Österreich konsistente Entwicklungen im globalen Kontext darstellen (siehe auch Abbildung 2 - Szenarienüberblick). Die Implementierung dieser gesellschaftlichen Entwicklungen erfolgt anhand der Bevölkerungsentwicklung, der ökonomischen Entwicklung (Bruttoinlandsprodukt) und der Landnutzungsentwicklung. Diese werden in allen Wirkungsbereichen konsistent unterstellt und relevante Größen in der jeweiligen Modellierung integriert.

Um die Konsistenz in den Wirkungsketten zu gewährleisten, werden sowohl die Bevölkerungs- als auch die BIP-Szenarien in räumlich heruntergerechneter Form auf NUTS3 Ebene aufbereitet. Die Regionalisierung der Bevölkerungs-sowie BIP-Entwicklungen, basiert auf den aktualisierten SSP Datenbank (IIASA, 2024) und ist für gesamt Österreich in Abbildung 10 dargestellt. Bezüglich Entwicklung des Energiemixes in Österreich wird dieser in allen SSPs gleich angenommen und orientiert sich am WAM Szenario des Umweltbundesamts (Krutzler et al., 2023). Für die vergleichbare Analyse der Kosten des Nichthandelns zwischen den unterschiedlichen

SSP-RCP Szenarien ist es nämlich notwendig, die Mitigationsanstrengungen konstant zu halten.

In den Sektoren Land- und Forstwirtschaft werden gleichbleibende gesamte Landflächen angenommen. In der Forstwirtschaftsmodellierung wird basierend auf Expert:inneneinschätzungen mit der heutigen Waldfläche gerechnet (siehe Zwischenbericht Forstwirtschaft und Schutzwald). Während von keinen Änderungen in Bezug auf den Flächentyp ausgegangen wird, könnte im Rahmen eines "Nachhaltigkeitsszenarios" (konsistent mit SSP1) die Veränderung der Flächen unter Außernutzungsstellung berücksichtigt werden.

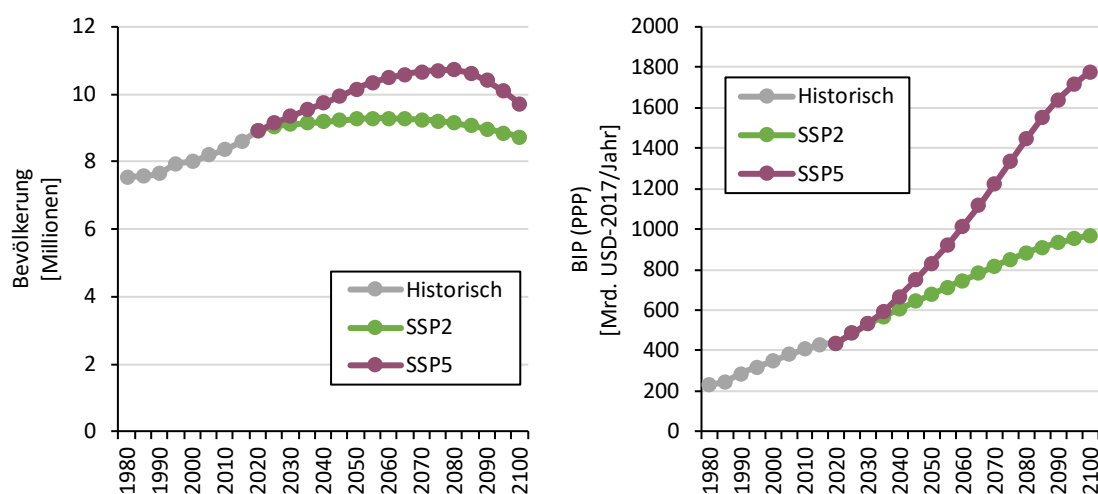


Abbildung 10: Wirtschaftsentwicklung (reales BIP) und Bevölkerungsentwicklung für Österreich historisch und in den verwendeten Szenarien SSP2 (Middle of the Road) und SSP5 (Fossil-Fueled Development).

Für die regionalisierte Bevölkerungsentwicklung wird die Pop-AUT-Datenbank herangezogen, die für das DISCC-AT-Projekt entwickelt wurde (Marbler, 2025). Um die Bevölkerungsprognosen über alle räumlichen Skalen hinweg konsistent abzubilden, wurden eingangs gerasterte Bevölkerungsprognosen (Auflösung 1x1km), basierend auf gerasterten Bevölkerungspotenzialflächen, welche die Attraktivität eines Standorts darstellen, aus Wang et al. (2022) verwendet und auf Gemeindeebene aggregiert. Anschließend wurden für jedes SSP Szenario Wachstumsfaktoren auf Gemeindeebene abgeleitet, indem der multiplikative Wachstumsfaktor im Verhältnis zur Bevölkerung im Jahr 2020 auf Gemeindeebene berechnet wurde. Diese wurden auf die von Statistik Austria berichteten Bevölkerungszahlen für das Jahr 2020 angewandt und national neuskaliert, um die Konsistenz mit den aktualisierten SSP-Prognosen zu gewährleisten (IIASA, 2024). Die Bevölkerungszahlen für Bezirke und Bundesländer ergaben sich durch erneute räumliche Aggregation, während die Verteilung der Gemeindesummen auf 1x1km Gitterzellen entsprechend einer Gewichtung nach gitterzellenspezifischen

Bevölkerungspotentialen erfolgte. Abbildung 11 stellt die relative Bevölkerungsentwicklung auf Gemeindeebene dar. Dabei zeigt sich eine weitere Urbanisierung die vor allem in SSP5 durch die stärkere Bevölkerungszunahme bis 2080 geprägt ist.

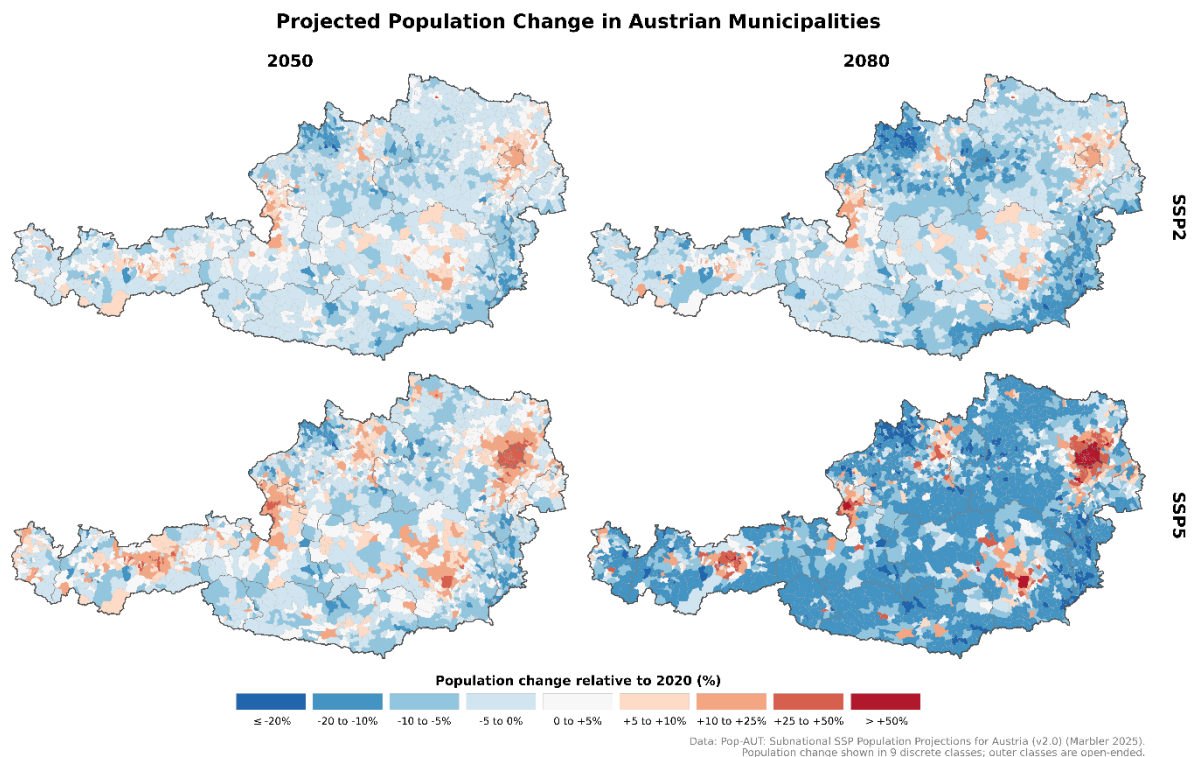


Abbildung 11: Regionale Bevölkerungsentwicklung in Österreich bis 2050 und 2080 relativ zu 2020 für die beiden sozioökonomischen Szenarien SSP2 und SSP5.

Die heruntergerechneten Bevölkerungsprognosen pro SSP-Szenario wurden außerdem verwendet, um die österreichischen Bruttoregionalprodukte (BRP) auf NUTS3 Ebene bis 2100 konsistent abzubilden (IIASA, 2024). Dies ist vor allem für Prognosen innerhalb des Wirkungsbereichs Tourismus erforderlich.

Hierfür wurde die regionalen Gesamtrechnung der Statistik Austria als Quelle für die regionalen BRPs herangezogen (Statistik Austria, 2024). Die errechneten 5-Jahres Durchschnitte (2015-2019) des relativen Anteils jeder Region an der Summe aller BRP/Kopf wurden mit BIP-Prognosen in 5-Jahres Schritten bis 2100 für alle SSP-Szenarien kombiniert (OECD, 2023). Nach Multiplikation mit den oben beschriebenen Bevölkerungsprognosen ergeben sich daraus Prognosen für die Bruttoregionalprodukte pro SSP-Szenario bis 2100. Die Bruttoregionalprodukte wurden anschließend mit dem Verhältnis aus dem österreichischen Gesamtwert und der Summe aller Regionalwerte reskaliert um die Konsistenz mit den österreichischen Gesamtwerten zu gewährleisten.

4. Anpassungsszenarien

Anpassungsszenarien in COIN2.0 dienen dazu, die Abschätzung der Kosten des Klimawandels in Österreich bei aktuellem Stand der Anpassung und unter der Annahme zusätzlicher Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen.

Österreich verfügt seit 2012 über eine Nationale Anpassungsstrategie und einen Nationalen Aktionsplan, unter deren Schirm Bund, Länder, Regionen, Städte und Gemeinden seitdem an Initiativen und Maßnahmen zur Anpassung arbeiten. In den zurückliegenden Jahren wurden bedeutsame Fortschritte bei der Bewertung von Klimawandelfolgen, Agendasetzung, Politikformulierung, Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen erzielt. Ein Baseline-Szenario für die Abschätzung von Kosten des Klimawandels kann daher nicht von einem Stand ohne Anpassung ausgehen, sondern muss das gegenwärtige Anpassungsniveau auf Basis bereits umgesetzter, in unterschiedlichen Stadien der Umsetzung befindlicher und geplanter Maßnahmen einbeziehen, um so die Kosten des „Nicht-Zusätzlich-Handelns“ zu ermitteln.

Nachfolgend werden zwei Szenarien vorgestellt, die Anpassungspfade mit aktuellem, d.h. moderatem bzw. niedrigem Stand der Anpassung und mit hohem Anpassungsniveau beschreiben. Die Szenarien sind als qualitative Narrative zu verstehen, die anhand von Merkmalen generische Rahmenbedingungen, Voraussetzungen und Formen von Anpassung charakterisieren, welche Reichweite, Umfang, Tiefe, Wirksamkeit und Geschwindigkeit von Anpassungsmaßnahmen (Berrang-Ford et al., 2021) entscheidend beeinflussen, d.h. begrenzen (aktuell) oder erhöhen (künftig) können. Die wesentliche Funktion der Anpassungsszenarien besteht darin, den sektoralen Modellierungen von Kosten des Klimawandels als Orientierungs- und Referenzrahmen zu dienen.

4.1. Szenario mit niedriger Anpassung

Das Szenario mit moderatem Anpassungsniveau entspricht dem aktuellen Stand der Anpassung in Österreich. Es handelt sich somit um einen *Business-as-Usual* Anpassungspfad, der vorhandene Rahmenbedingungen und Voraussetzungen fortschreibt und von der Weiterführung von Anpassungsbemühungen auf dem heutigen Intensitätsniveau ausgeht, ohne dass es zu gravierenden Änderungen, Innovationen oder der Überwindung wesentlicher Anpassungshemmnisse kommt. Trotz aller Fortschritte und bisheriger Errungenschaften bei Wissens- und Kapazitätsaufbau, Agendasetzung, Politikformulierung sowie der Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen über mehrere Politikzyklen der Anpassung hinweg ist dabei davon auszugehen, dass Anpassung nicht in der Reichweite, dem Umfang, der Tiefe, Geschwindigkeit und Wirksamkeit stattfindet, die notwendig sind,

um sich an gegenwärtige und künftige Klimarisiken anzupassen und substanzielle Klimafolgeschäden zu vermeiden.

Der gegenwärtige Stand der Anpassung und deren maßgebliche Rahmenbedingungen in Österreich können durch folgende Merkmale auf narrative Weise charakterisiert werden.

Ziele und Formen der Anpassung

- Es dominieren Handlungsstrategien, die auf Abwehr von klimabezogenen Gefahren (z.B. aktiver, technischer Schutz vor Hochwasser und alpinen Naturgefahren), Erhöhung der Resistenz und graduelle Abschwächung von Klimawandelfolgen (*Impacts*) abzielen. Unter Bezugnahme auf das Schema funktionaler Anpassungsformen des 3. Sachstandsberichts des IPCC (Smit & Pilifosova, 2001), das zwischen den Strategien *Protect*, *Accommodate* und *Retreat* differenziert, liegt der Schwerpunkt auf der Zielorientierung *Protect*.
- Der Fokus der Anpassung liegt auf der Aufrechterhaltung eines oft vulnerablen, nicht nachhaltigen Status quo bestehender Systeme (*Status quo-bias*). Im Vordergrund steht damit die Abwehr klimagetriebener Veränderungen der Umwelt durch deren Manipulation (*Anpassung „von“*) anstatt der Anpassung betroffener Sektoren und Systeme an äußere Veränderungen (*Anpassung „an“*).
- Vielen Anpassungsmaßnahmen liegt ein eingeschränktes Verständnis von Klimarisiken zugrunde, das durch mangelnde systemische Risikoreduktion charakterisiert ist. Dimensionen und Treiber von Klimarisiken werden nur partiell adressiert, wobei der Fokus überwiegend auf dem Schutz vor spezifischen klimabezogenen Gefahren (*Hazards*) und der graduellen Reduktion von *Impacts* liegt, während Exposition (*Exposure*) und Vulnerabilität (*Vulnerability*) als wesentliche Risikotreiber nur unzureichend adressiert werden.
- Unter Anwendung des ASI (*Avoid-Shift-Improve*)-Konzepts auf die Anpassung (vgl. APCC, 2025) sind Anpassungsmaßnahmen überwiegend im systemkonservierenden Bereich der *Improve*-Strategien verortet. Der Fokus liegt auf Nachbesserung und Ertüchtigung (von bestehenden Maßnahmen (*Retrofitting*, z. B. Erhöhung von Hochwasserschutzdämmen) bzw. im Versuch, bestehende Praktiken additiv mit Zusatzwirkungen für die Anpassung auszustatten (*piggybacking, adaptation under cover*).
- In der Perspektive des Risikomanagement-Zyklus verlagert sich das Schwergewicht der Maßnahmen mit fortschreitendem Klimawandel zunehmend von den Phasen *Prevention* und *Preparedness* zu den Phasen *Response* und *Recovery*. Die Bewältigung von auftretenden Klimawandelfolgen, Risikoereignissen und Schäden (*Coping*) bindet zunehmend Anstrengungen und Ressourcen.

Rechtlicher Rahmen, Governance

- Anpassung bleibt eine rechtlich unverbindliche Materie, und damit überwiegend eine informelle „Soft Policy“ ohne rechtliche Mandatierung, Verpflichtungen und politische Rechenschaftspflichten. Formale Budgetzuweisungen für Anpassung unterbleiben, wodurch deren politische Relevanz gering bleibt.
- Institutionalisierung und Durchsetzbarkeit von Anpassungspolitiken und -prozessen bleiben weiterhin schwach ausgeprägt. Die Planung und Umsetzung von Anpassungsstrategien und -aktionsplänen bleibt auf freiwillige, kollaborative, „weiche“ Governancemodi angewiesen; Koordination ist eher anlassbezogen, unstrukturiert und ad hoc als systematisch.
- Aufgrund fehlender Verpflichtungen zur Anpassung für Sektoren, Länder, Gemeinden und private Akteure bleiben horizontale Politikintegration und vertikale Koordination lückenhaft und fragmentarisch. Das Mainstreaming von Anpassung in Sektorpolitiken hängt weiterhin von Freiwilligkeit, der Attraktivität von Anpassungslösungen und dem wahrgenommenen Nutzen für den eigenen Sektor ab. Beträchtliche Diskrepanzen zwischen anpassungsaktiven und -inaktiven Sektoren bleiben bestehen.

Hemmfaktoren, Anpassungsgrenzen

- Bestehende Barrieren für die Umsetzung von Anpassung sind persistent, wie niedrige politische Relevanz, Mangel an wahrgenommener Dringlichkeit, mangelnde bzw. fragmentierte institutionelle Zuständigkeiten, Finanzierungsmangel und fehlende eigene Anpassungsbudgets.
- Weiche Grenzen der Anpassung werden früh und zunehmend erreicht und unzureichend adressiert.

Maßnahmenregime, Anpassungsmodus, Policy Mix

- Umfang und Tiefe von Anpassungsmaßnahmen bleiben im Business-as-Usual Szenario moderat und begrenzt. Maßnahmen sind überwiegend inkrementell, pragmatisch, sporadisch, kurzfristig, lokalisiert und kleinmaßstäblich bzw. beschränken sich auf Erweiterungen bestehender Praktiken.
- Auswahl und Priorisierung von Maßnahmen basieren auf Umsetzbarkeit und sozial-politischer Akzeptanz; hieraus ergibt sich ein eingegengtes Maßnahmenspektrum, das primär Kriterien wie Quick-Win, Win-Win, No-Regret und Multiple-Benefits entspricht, Wirksamkeit und Dringlichkeit aber nicht systematisch hoch gewichtet.
- Bei Klimarisikobewertung und Maßnahmenetzung dominieren isolierte risiko- und sektorenspezifische Ansätze innerhalb von „Policy Silos“ (Single-Hazard, Single-Risk, Single-Sector). Wechselwirkungen zwischen Klimafolgen, Risiken und sektoralen Maßnahmen sowie gleichzeitig oder sequenziell auftretenden Ereignisse (Compound Events) und kaskadierende Risiken (Cascading Risks) werden nur mangelhaft oder nicht berücksichtigt.

- Der Policy Mix bleibt eingeeengt, mit Dominanz „weicher“ (z.B. Bewusstseinsbildung, Wissensbereitstellung, Kapazitätsaufbau, Risikomonitoring) und „grauer“ (technischer, z.B. bauliche Schutzinfrastruktur) Maßnahmen. Es besteht weiterhin eine starke Präferenz für informatorische, freiwillige und marktbasierte (Anreize, Subventionen) sowie risikofinanzierende (z.B. Versicherungen, staatliche Schadenskompensation) Instrumente.
- Der Anpassungsmodus ist weiterhin oft reaktiv, spontan, autonom (ungeplant) und nachsorgend. Insbesondere auf der kommunalen Ebene mangelt es an antizipativen, strategischen, langfristig geplanten und vorausschauenden Herangehensweisen mit expliziter Berücksichtigung künftiger Klimaänderungen und sich verändernder Klimarisiken. Ebenso fehlt es an systematischem ex post-Lernen aus Extremereignissen und resilienterem Wiederaufbau nach dem build-back-better Prinzip.
- Klimaschutz und Klimawandelanpassung bleiben weitgehend entkoppelte Politiken, wodurch Konfliktpotenziale und Trade-offs unerkannt bleiben und Fehlanpassungsrisiken zunehmen.

Umsetzungsfortschritt, Anpassungswirksamkeit

- Die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen erfolgt tendenziell schleppend, lückenhaft und hinkt der realen Klimaentwicklung hinterher. Die Lücken zwischen Politik- und Maßnahmenformulierung einerseits und Umsetzung in der Praxis andererseits bleiben substanziell, wobei Anpassungsdefizite sich mit fortschreitendem Klimawandel vergrößern.
- Gesellschaftliche Vulnerabilität und (Rest)Risikoexposition nehmen durch expandierende Raumentwicklung, Wertsteigerung im Bestand und sozioökonomische Trends auch unabhängig vom Klimawandel stetig zu. Gleichzeitig sinken faktische Schutzniveaus aufgrund der klimabedingten Gefahrendynamik, sich verschiebender Wiederkehrwahrscheinlichkeiten und überholter Bemessungsereignisse.
- Die Niveaus von Anpassungskapazitäten und anpassungsbezogenen Investitionsvolumina sowie der Ambitionsgrad von Anpassungsmaßnahmen sind stagnierend. Tendenziell gleichbleibende Anpassungsniveaus treffen bei verstärktem Klimawandel auf zunehmend eskalierende Klimarisiken, und der steigende Anpassungsbedarf vergrößert die Anpassungslücken. Weiche Anpassungsgrenzen werden zunehmend erreicht.
- Die zunehmende Wahrscheinlichkeit und Intensität von großflächigen klimagetriebenen Extremereignissen und kaskadierenden Folgewirkungen erhöht das Risiko von makroökonomischen und fiskalischen Katastrophenschocks.

Monitoring, Evaluierung und Lernen

- Klimarisikoanalysen werden ungenügend in Anpassungsprioritäten, überprüfbare Ziele und geeignete Maßnahmenoptionen übersetzt und sind unzureichend mit

Monitoring- und Evaluierungssystemen rückgekoppelt. Die Überprüfung von Anpassungsfortschritten bleibt auf das Monitoring von Umsetzungsprozessen und Inputs / Outputs beschränkt.

- Fehlende Ansätze zur Evaluierung der Wirksamkeit von Anpassung (Outcomes) erschweren die ex ante-Einschätzung von Maßnahmenwirkungen und die ex post-Erfolgsmessung. Dies beeinträchtigt die evidenzbasierte Maßnahmenauswahl und die Nachsteuerung von Strategien und Maßnahmenplanung.

Fehlanpassung

- Fehlanpassungsrisiken nehmen zu und können zu unerwünschten Auswirkungen auf andere Politikbereiche, Sektoren, Räume und soziale Gruppen führen. Es steigt die Gefahr von negativen Pfadabhängigkeiten und lock-in Situationen mit stetig steigenden Niveaus von Exposition, Vulnerabilität und (Rest)Risiken; gleichzeitig verringern sich Anpassungsmöglichkeiten und Lösungsraum im Zeitverlauf.

4.2. Szenario mit hoher Anpassung

Das Szenario mit hohem Anpassungsniveau beschreibt einen Anpassungspfad, in dem Art, Reichweite, Umfang, Tiefe, Wirksamkeit und Geschwindigkeit von umgesetzten Anpassungsmaßnahmen gegenüber dem aktuellen Stand stark ausgeweitet und erhöht wurden, um sich wirksam an die Auswirkungen von gegenwärtigen und künftigen Klimaänderungen anzupassen, sich verstärkende Klimarisiken zu reduzieren und Klimafolgeschäden gering zu halten. Der Fokus des Narrativs liegt auf der Änderung von entscheidenden Rahmenbedingungen und Voraussetzungen, die notwendig oder förderlich sind, um ein hohes Anpassungsniveau zu ermöglichen. Die Annahmen und Merkmale des Szenarios basieren auf Literatur und Experteneinschätzung, wie dem AAR2 (APCC, 2025), und werden durch vorhandene empirische Evidenz in unterschiedlichen europäischen Ländern gestützt. Das Narrativ beschreibt somit ein fiktives, aber grundsätzlich mögliches, plausibles und realistisches Szenario.

Maßgebliche Rahmenbedingungen, Voraussetzungen und Anforderungen für ein hohes Anpassungsniveau mit transformativen Elementen in Österreich können durch folgende Merkmale auf narrative Weise charakterisiert werden.

Ziele und Formen der Anpassung

- Es werden Handlungsstrategien priorisiert, die auf Vermeidung und Eindämmung der Risikoexposition (z. B. durch wirkungsvolle Begrenzung von Flächeninanspruchnahme und Zersiedelung, risikobasierte Raumplanung), die Verringerung von Vulnerabilitäten (z.B. hochwasser- und gefahrensichere Bauweisen) und die Erhöhung der Resilienz von betroffenen Systemen abzielen. In der Perspektive des ASI-Konzepts (vgl. APCC, 2024) fokussieren Anpassungsmaßnahmen daher stark auf die Strategien des Avoid und Shift. In

Bezug auf das Schema funktionaler Anpassungsformen des IPCC TAR (Smit & Pilifosova, 2001) liegt der Fokus auf der Zielorientierung Accommodate bzw. bei Überschreiten von Schwellwerten für akzeptable Restrisiken auf Strategien des Retreat.

- Anpassung basiert auf einem systemischen Risikoverständnis, entsprechend dem umfassenden Konzept von Klimarisiken. Anpassungsmaßnahmen adressieren daher unterschiedliche Risikodimensionen (Gefahr, Vulnerabilität, Exposition, Anpassungskapazität) sowie tieferliegende, nicht-klimatische Risikotreiber mit jeweils adäquaten Maßnahmen und Mitteln.
- In der Sichtweise des Risikomanagement-Zyklus werden Maßnahmen in den Phasen der Prävention (Prevention) und Vorbereitung (Preparedness) forciert, ohne die Phasen Response und Recovery für den Fall von Extremereignissen zu vernachlässigen.

Rechtlicher Rahmen, Governance

- Es besteht ein verbindlicher, durchsetzbarer rechtlicher Rahmen mit gesetzlichen Mandaten für die Anpassung, z. B. verankert in einem nationalen Klimagesetz. Für subnationale Ebenen (Länder), Sektorpolitiken (Mainstreaming) und größere Investitionsprojekte bestehen Anpassungsverpflichtungen, die Klimarisikoanalysen, Anpassungspläne, Monitoring, Berichterstattung und Evaluierung mit regelmäßigen Revisionszyklen vorsehen. Anpassung ist integraler Bestandteil des Aufgabenkatalogs von Gemeinden, bei gleichzeitig entsprechender Unterstützung durch höherrangige Ebenen.
- Die „Verrechtlichung“ von Anpassung bewirkt eine starke Institutionalisierung von Anpassungspolitik und -prozessen. Diese erhöht die Stabilität und Kontinuität von Anpassungsprozessen vor dem Hintergrund politischer Volatilitäten. Eine Formalisierung von Prozessrahmen und Governancestrukturen kann z. B. umfassen: Koordinationsmechanismen, zyklische Arbeitspläne, Monitoring- und Berichtspflichten, Finanzierungsquellen und -mechanismen, unabhängige wissenschaftliche Beratungsgremien.

Hemmfaktoren, Anpassungsgrenzen

- Anpassungsbarrieren werden durch Gestaltung förderlicher Rahmenbedingungen gezielt adressiert und verlieren an Hemmwirkung. Erfolgsfaktoren werden gezielt eingesetzt, um Hebelwirkungen für die Anpassung zu erzielen.
- Weiche Grenzen der Anpassung werden durch gezielte Investitionen in Anpassungskapazitäten deutlich ausgedehnt; viele Maßnahmen mit höherem Ambitionsniveau nähern sich den harten Grenzen der Anpassung.

Maßnahmenregime, Anpassungsmodus, Policy Mix

- Anpassungsplanung erfolgt evidenzbasiert und systemisch und beruht auf Dringlichkeitsabschätzung und klarer Priorisierung von Maßnahmen. Klimarisikoanalysen und deren regelmäßige Aktualisierung sind auf

unterschiedlichen Ebenen (Bund, Länder, ggf. Städte) verpflichtend, werden auf Basis bundesweit einheitlicher Klimaszenarien erstellt und berücksichtigen high-end Emissionsszenarien. Wechselwirkungen, Mehrfach-Risiken, gleichzeitig oder sequenziell auftretende Ereignisse (Compound Events), kaskadierende Risiken (Cascading Risks) und grenzüberschreitende Risikoszenarien werden darin systematisch berücksichtigt.

- Einbindung von substanzielleren, wirksameren und radikaleren Maßnahmen in transformative Handlungsportfolios ermöglicht Anpassung mit höherem Umfang, größerer Tiefe und höherer Geschwindigkeit. Anpassung wird stärker transformativ, wo dies durch zunehmende Klimarisiken notwendig ist, indem inkrementelle Schritte durch Maßnahmen ergänzt werden, die tieferliegende Vulnerabilitätsursachen beseitigen, persistente Barrieren überwinden, auf strukturelle oder systemweite Veränderungen abzielen, größere geographische Gebiete betreffen, Mehrfach-Risiken adressieren, und über unterschiedliche Sektoren und Governanceebenen hinweg wirken.
- Ein erweiterter Policy Mix setzt verstärkt regulative, planerische, fiskalische und innovative Maßnahmen mit erhöhter Wirksamkeit ein, insbesondere für schwerwiegende Klimarisiken mit mangelnder Politikbereitschaft (Policy Readiness) und dringlichem Handlungsbedarf. „Weiche“ und auf Anreizen basierende Maßnahmen werden durch Ge- und Verbote (z. B. restriktive ordnungsplanerische Vorgaben für Flächenwidmung, Rückwidmungen in Gefährdungsbereichen, Ver-/Entsiegelung), Abgaben (z. B. Versiegelungsabgabe) oder „sanften Zwang“ im Rahmen von Förderkonditionalitäten („mixing sticks with carrots“) ergänzt.
- Vorhandene Potenziale der naturbasierten Anpassung und für die Skalierung (Upscaling) von Lösungen werden ausgeschöpft, indem Flächenbereitstellung und -aktivierung für ökosystembasierte Anpassungsleistungen und die Wiederherstellung von anpassungsfunktionalen Naturräumen forciert werden.
- Der herrschende Anpassungsmodus besteht in antizipativer, langfristig vorausschauender, strategisch geplanter Anpassung auf Basis robuster Klimarisikoanalysen mit klarer Priorisierung von schwerwiegenden Risiken mit dringlichem Handlungsbedarf. Anpassungspfade werden zielorientiert und strategisch geplant sowie Ebenen und Sektoren übergreifend koordiniert. Es besteht Konsens, dass vorsorge- und vorsichtsorientierte Anpassungsniveaus für Hochemissionspfade und höhere GWLs angestrebt werden sollen.
- Standards und Mechanismen für systematisches ex post-Lernen ermöglichen die Nutzung von Katastrophenereignissen als „Möglichkeitsfenster“ für transformative Lösungen und resilienteren Wiederaufbau. Zum Beispiel werden nach Schadensereignissen Gefahrenzonenpläne, Bemessungsereignissen für Schutzbauten und Zivilschutzpläne systematisch überprüft und angepasst. In Hochrisikobereichen mit wiederkehrenden Schadensereignissen und absehbaren

technischen und ökonomischen Grenzen des aktiven Schutzes werden maladaptive Pfadabhängigkeiten durch Managed Retreat and Relocation durchbrochen.

- Ein iteratives Klimarisikomanagement, das Krisen- und Katastrophenmanagement (Disaster Risk Management) mit Klimawandelanpassung kombiniert und Maßnahmen und Instrumente beider Handlungsfelder komplementär nutzt, ist etabliert. Risikomanagementsystemen werden laufend an neue Herausforderungen infolge des Klimawandels angepasst.
- Integriertes Klimahandeln ist etablierte Praxis, um Synergien und Co-Benefits zwischen Klimaschutz und Anpassung auszuschöpfen sowie Konflikte und Trade-offs zu minimieren.

Umsetzungsfortschritt, Anpassungswirksamkeit

- Eine beschleunigte Umsetzung geplanter Anpassungsmaßnahmen, einschließlich gezielter Berücksichtigung von zeitkritischen Aspekten (z. B. Vorlaufzeiten für Planung und Wirksamwerden), ermöglicht das Schließen von Anpassungslücken.
- Die Prioritätenreihung von Maßnahmen erfolgt transparent und nach robusten Kriterien, die den Schweregrad von Risiken, die Maßnahmenwirksamkeit und die Dringlichkeit entsprechend hoch gewichten.
- Die Anpassungskapazität ist durch laufenden Ausbau von Expertise und Kompetenzen hoch. Anpassung verfügt über eigene Finanzierungsmechanismen und Budgets bzw. sind Anpassungskosten systematisch in Budgetplanungen auf allen Ebenen und in allen relevanten Zuständigkeitsbereichen integriert. In die Umsetzung prioritärer Maßnahmen wird gezielt investiert. Die öffentliche Finanzierung der Anpassung wird durch Beteiligung privatwirtschaftlicher Unternehmen und innovative Finanzierungsformen gestützt.

Monitoring, Evaluierung und Lernen

- Klimarisikoanalysen werden zur Ableitung von klaren Anpassungsprioritäten mit operationalen, messbaren bzw. überprüfbaren Anpassungszielen genutzt. Monitoring- und Evaluierungssysteme sind mit Klimarisikoanalysen verknüpft, um das Ausmaß der Risikoreduktion bewerten, Anpassungslücken identifizieren und weiteren Maßnahmenbedarf feststellen zu können
- Operationale Ansätze zur Evaluierung der Wirksamkeit von Maßnahmen (Outcomes) ermöglichen Erfolgsüberprüfung, das Nachsteuern von Maßnahmen und Investitionen sowie Policy Learning,
- Laufendes Monitoring und Evaluierung unterstützen das Arbeiten mit flexiblen Anpassungspfaden, die zur Bewältigung von Unsicherheiten dienen und mit geringen Kosten an Abweichungen der tatsächlichen Klimaentwicklung von ursprünglichen Projektionen angepasst werden können.

Fehlanpassung

- Die ex-ante-Abschätzung von unerwünschten Nebenwirkungen und das ex post-Lernen von empirischer Evidenz für Fehlanpassung ermöglichen es, von

Fehlanpassungswirkungen zu minimieren sowie Co-Benefits und Synergien auszuschöpfen.

4.3. Operationalisierung der Anpassungsszenarien in den Sektormodellen

Tabelle 1 zeigt, wie die beiden Anpassungsszenarien in den Sektormodellen umgesetzt werden.

Tabelle 1: Berücksichtigte Anpassungsmaßnahmen in den Sektormodellen je nach Anpassungsintensität.

Sektor/Aktivitätsfeld	Niedrige Anpassung	Hohe Anpassung
Gesundheit: Übersterblichkeit, Vektoren & Mehrkosten Gesundheitssystem	Fokus auf Preparedness - Geringe Verhaltensanpassungen - leicht verbesserte Hitzewarnsysteme - bauliche Maßnahmen (Klimaanlagen) - leicht erhöhte gesundheitsbezogene Klimakompetenz - Monitoring und Surveillance von Vektoren	Fokus auf Prävention gleiche Maßnahmen wie bei geringer Anpassung, nur intensiver: - Hitzefrühwarnsysteme - thermische Sanierung von Gebäuden - zusätzlich Raumplanung (grüne und blaue Infrastruktur) - gesetzlich verpflichtender Hitzeschutz ab 35°C am Arbeitsplatz - Brutstättenvermeidung und Vektorbekämpfung - Klimakompetenz in Aus- und Weiterbildung Gesundheitsberufe
Hochwasser: Schäden an Gebäuden	- Business-as-usual (BAU) Entwicklung der Besiedelung je HORA-Zone bzw. in den Gefahrenzonen - hochwasserangepasste Gebäudestruktur und Einrichtung für Neubauten in HQ30 und HQ100 Zonen	- restriktivere Besiedelung in sowie eine aktive Absiedelung aus bestimmten HORA- und Gefahrenzonen; freiwillige Absiedelungen in Risikobereichen - Hochwasserangepasste Gebäudestruktur für alle Neubauten und einen Teil der Bestandsbauten in HQ-Zonen
Wasserversorgung: Verfügbarkeit und Qualität	verringerte bisherige Anpassung oder keine weiteren Schutzmaßnahmen (bezüglich Starkregen, Hochwasser / Überflutung, Untergrundbewegung) bis 2050 verringerte bisherige Anpassung oder keine weiteren Vorsorgemaßnahmen (Erhalt Versorgungssicherheit)	erhöhte Anpassung oder weitere Schutzmaßnahmen auf Grund von klimatischen und sozioökonomischen Veränderungen: - erhöhte Anpassung oder weitere Vorsorgemaßnahmen (Erhalt Versorgungssicherheit) - Anschlüsse privater Wasserversorger an öffentliche Trinkwasserversorgung - Nutzbarmachung alternativer Wasserressourcen

Sektor/Aktivitätsfeld	Niedrige Anpassung	Hohe Anpassung
		(Fernwasserleitungen; Verbundleitungen) - intensive Wasserverlustreduktion - Substitution von Teilen der Trinkwasserversorgung (Regenwassernutzung oder Grauwasseraufbereitung) - Wasseraufbereitung zur Nutzung belasteter Ressourcen
Energie und Gebäude	Strom: - Keine Investitionen über das bereits geplante Erzeugungs- und Speicherkapazitäten hinaus zugelassen - Flexibilität bieten nur „bepreiste Lastabwürfe“ in allen Ländern, wenn die Stromlast nicht mehr gedeckt werden kann (preislich festgelegter Lastabwurf zu 3000 EUR ₂₀₂₀ /MWh). Kühlung: - Langsame Einführung von passiven Kühlungsmaßnahmen mit mäßiger Effizienz bei moderater Verbesserung der Effizienz aktiver Kühltechnologien.	Strom: Möglichkeit aller Arten von Investitionen in das Energiesystem, um (extremen) Wetterbedingungen zu begegnen: - Großbatterien, Wärmepumpen in der Fernwärme, Elektrolyseure - Wasserstoffspeicher, Fernwärmespeicher - Green Gas Extraktionsturbine Kühlung: - Schnelle Einführung hocheffizienter passiver Kühlungsmaßnahmen mit deutlicher Verbesserung der Effizienz aktiver Kühltechnologien
Landwirtschaft: Ackerbau und Grünland	- Bestehende Produktionsstrukturen werden weitgehend beibehalten, Anpassungsspielräume nur eingeschränkt genutzt. - Anpassungsmaßnahmen sind begrenzt und unterliegen bestehenden institutionellen, infrastrukturellen und ressourcenbezogenen Beschränkungen. - Am Beispiel der Bewässerung: eine Ausweitung der bewässerten Fläche ist nicht zulässig, jedoch kann die Bewässerungsintensität erhöht werden.	- Landwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen auf Basis des Kriteriums der Kosteneffizienz ohne zusätzliche Restriktionen (d.h. z.B. ohne eingeschränkte Bewässerungsflächen) - Kombinationen aus Bodenbearbeitungssystemen, Fruchtfolgen, Bewässerung, Schnitthäufigkeiten am Dauergrünland und Düngermanagement
Tourismus: Sommer & Winter	Winter: - folgt dem internationalen Trend, d.h. Expansion und Effizienzsteigerung von technischer Schneeproduktion - Ski-Resorts investieren in moderne Schneekanonen, die	Winter: - verfolgt einen transformativen Weg, d.h. Akzeptanz, dass tiefe Lagen (<1.600 m) nicht mehr schneesicher sind, - Konzentration von Ski-Infrastruktur auf höhere

Sektor/Aktivitätsfeld	Niedrige Anpassung	Hohe Anpassung
	bereits ab -1°C (statt -2°C bzw. -5°C) arbeiten, in Wasserspeicherung, und in intelligentes Schneemanagement Sommer: - inkrementelle, investitionsmoderate Anpassung, die auf vorhandenen Infrastrukturen aufbaut. - passive Diversifizierung des touristischen Angebots: Gemeinden entwickeln Indoor-Attraktionen, um Touristen auch bei extremer Hitze zu halten	schneesichere Zonen. Dies reflektiert sowohl angebots- als auch nachfrageseitige Dynamiken Sommer - kombiniert angebotsbasierte Anpassung mit einer zweiten, komplementären Maßnahme auf der Mikroklima-Ebene - Systematische Integration von Straßenbäumen, grünen Dächern, grünen Fassaden und reflektierenden Oberflächen in die Raumplanung zur lokalen Temperaturreduktion und Evaporationskühlwirkung - Ökosystem-Kühlung auf der regionalen/Landschafts-Ebene
Wald: Ertrag und Schutzwald	- Baumartenwahl: <800m Anteil trockentoleranter und wärmeaffiner Baumarten erhöhen zu Lasten der Fichte - Objektschutz: wie im Business as Usual	- Baumartenwahl: Anteil trockentoleranter und wärmeaffiner Baumarten in allen Höhenlagen (<800m und 800-1400m) erhöhen - Fichtenanteil beschränken: Fichtenanteil: <800m max. 30%; 800-1400m max. 50% - Objektschutz: Fichtenanteil: <800m wenn Schutzwald 0%; 800-1400m: wenn Schutzwald max. 20%
Ökosysteme Erhalt der Ökosystemdienstleistungen	<i>fallstudienspezifisch</i> Mögliche Maßnahmen Landwirtschaft: - Bodenpflege (Humusaufbau, Zwischenfruchtanbau, konservierende Bodenbearbeitung) - Diversifizierung und Sortenwahl - technologischen Innovationen (Smart Farming, Bewässerung). Mögliche Maßnahmen Forstwirtschaft: - Erhöhung der Stabilität gegenüber Störungen (Pflege und Durchforstungseingriffe), - Förderung der Resilienz (Naturverjüngung), - Förderung der Anpassungsfähigkeit der Waldbestände (Mischbestände, erhöhte genetische Vielfalt)	

5. Wirkungskettenkonzepte und soziale Vulnerabilität

Klimawirkungsketten dienen als konzeptionelles Werkzeug, kommunikatives Instrument, und Grundlage für partizipative Risikoanalysen und Rahmen für Identifikation und Anwendung quantitativer Indikatoren. Sie ermöglichen eine strukturierte Visualisierung von Ursache-Wirkungsketten zur besseren Verständigung und Bewertung klimabedingter Risiken (Fritzsche et al. 2014, Zebisch et al. 2021). Ein typisches Wirkungskettenmodell basiert auf den Risikokomponenten des IPCC (2014),

Gefahr (Hazard), Exposition und Vulnerabilität, unterteilt in Sensitivität und Anpassungskapazität. Diese Elemente werden in einer grafischen Darstellung verknüpft und durch mögliche intermediäre Wirkungen (Risiken) ergänzt. Die Entwicklung erfolgt meist partizipativ, ergänzt durch Indikator-basierte Operationalisierung.

In COIN2.0 wird der Wirkungskettenansatz von Zebisch et al. (2023) konzeptionell weiterentwickelt und angepasst um es besser mit dem österreichischen Stand der Forschung in Einklang zu bringen (Fuchs et al. 2024, 2025). Klimawirkungsketten dienen nicht nur dazu, naturwissenschaftliche und ökonomische Klimafolgen abzubilden, sondern explizit auch dazu, soziale Vulnerabilität und Auswirkungen auf das Wohlergehen sichtbar zu machen. Die Wirkungsketten verknüpfen Exposition, differenzierte soziale Vulnerabilitäten und (positive wie negative) Effekte auf Wohlergehensdimensionen und ermöglichen so eine systemische Sicht auf Risiken und Anpassungsoptionen über Skalen und Sektoren hinweg.

In einer ersten Dialogrunde mit den jeweiligen Wirkungsbereichen wurden Möglichkeiten und Grenzen der Darstellung sozialer Vulnerabilität und des Wohlergehens in den einzelnen Wirkungsbereichen ausgelotet. Dabei wurde deutlich, dass soziale Faktoren in Wirkungsketten sowohl als Ursachen (z.B. strukturelle Ungleichheiten, institutionelle Rahmenbedingungen) als auch als Wirkungen (z.B. veränderte Gesundheit, Einkommen, Care-Belastung, subjektive Sicherheit) auftreten, aber kaum in den Wirkungsbereichen abgebildet werden können. Dementsprechend werden kompatible und vergleichbare Wirkungsketten entwickelt, die soziale Dimensionen nicht nur ergänzend, sondern integrativ abbilden.

Die entwickelte Darstellungsform in Abbildung 12 enthält folgende Elemente:

- **Sozioökologische Systeme:** Jede Wirkungskette muss aus der Sicht eines eindeutig definierten sozio-ökologischen Systems gesehen werden, um eine sinnvolle Beschreibung zu gewährleisten. In COIN2.0 werden diese durch die Wirkungsbereiche für Gesamtösterreich vorgegeben und mittels Exposition spezifiziert.
- **Gefahr:** Klimatisches Ereignis oder Trend, der eine Gefahr für exponierte Systeme darstellt und eine mögliche negative Auswirkung auf die Gesellschaft hat (mit Schaden oder Verlusten).
- **Exposition:** Systeme, die möglicherweise negativen Auswirkungen ausgesetzt sind.
- **Vulnerabilität:** Intrinsischer Zustand von Umweltsystemen und Institutionen, der die negativen Auswirkungen auf ausgesetzte Systeme verstärkt. Enthält Sensitivität, sowie fehlende Anpassungskapazitäten.
- **Auswirkung/Schaden:** Möglicher negativer Effekt einer Gefahr auf exponierte und vulnerable Systeme.

- **Proaktive Investitionen:** Kosten für Anpassungsmaßnahmen zur Reduktion von Exposition und Vulnerabilität.
- **Reaktive Kosten:** Kosten für die Wiederherstellung von Infrastruktur, sowie Kosten für die Behandlung negativer Auswirkungen (z.B. Gesundheitskosten).
- **Anpassung:** Maßnahme, um die negativen Folgen von Auswirkungen zu mindern, in dem eine oder mehrere Vulnerabilitäten oder Auswirkungsmechanismen angesprochen werden.
- **Externe Treiber:** Faktoren, die Außerhalb einer Wirkungskette liegen, aber negative Auswirkungen auf Mensch- und Umweltsysteme signifikant verstärken können.
- **Grundursachen:** Politisch-ökonomische, institutionelle, infrastrukturelle, und soziokulturelle Strukturen, die Vulnerabilität hervorbringen. Beispielsweise durch die Reproduktion von Ungleichheiten im Zugang zu Ressourcen, Infrastrukturen sowie Macht und Teilhabe. Sie sind somit ein wichtiger Ansatzpunkt für transformative Anpassung.

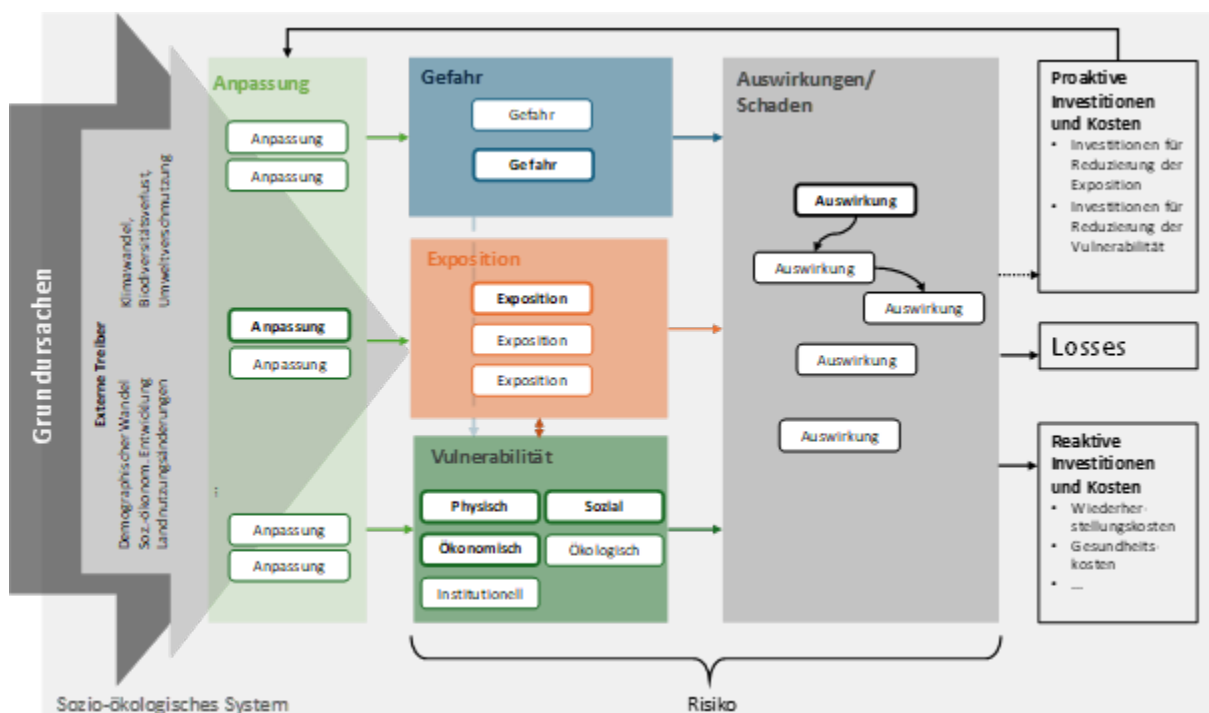


Abbildung 12: Wirkungsketten-Blueprint; weiterentwickelt von Coccuchioni et al. (2023) und Fuchs et al. (2024, 2025).

6. Storylines

Die meisten Ergebnisse im COIN2.0 Projekt basieren auf einem klassischen Ansatz von langfristigen Klimaprojektionen, wobei Unsicherheiten durch die Betrachtung eines Multi-Modell Ensembles abgeschätzt werden. Klimafolgen werden durch anschließende Simulationen mit Wirkmodellen dargestellt. Diese Modellierung ist sehr

rechenintensiv, stellt aber lokale Wetterextreme und komplexe Risiken oft nur unzureichend dar. Gerade für die Klimarisikoabschätzung haben sich in den letzten Jahren deshalb sogenannte Storyline-Ansätze etabliert (Shepherd et al., 2018)

Generell bezeichnet man in der Klimaforschung physikalisch konsistente, plausible Entwicklungen als Storylines. Ein besonderer Typ von Storylines sind sogenannte Ereignis-Storylines (Maraun et al., 2022; Sillmann et al., 2021) in den folgenden zwei Varianten (siehe auch Abbildung 13):

Typ 1: Ein Ereignis, das tatsächlich stattgefunden hat, wird durch Klimamodelle in ein wärmeres Klima übersetzt. Es kann also untersucht werden, wie ein bestimmtes Extremereignis und seine Folgen sich entfalten würden, wenn es nicht in der Gegenwart, sondern unter Klimawandelbedingungen passieren würde.

Typ 2: In den existierenden Klimaprojektionen wird gezielt nach Ereignissen gesucht, die ein hohes Schadenspotenzial haben. Diese, und deren Folgen, werden dann detailliert betrachtet.

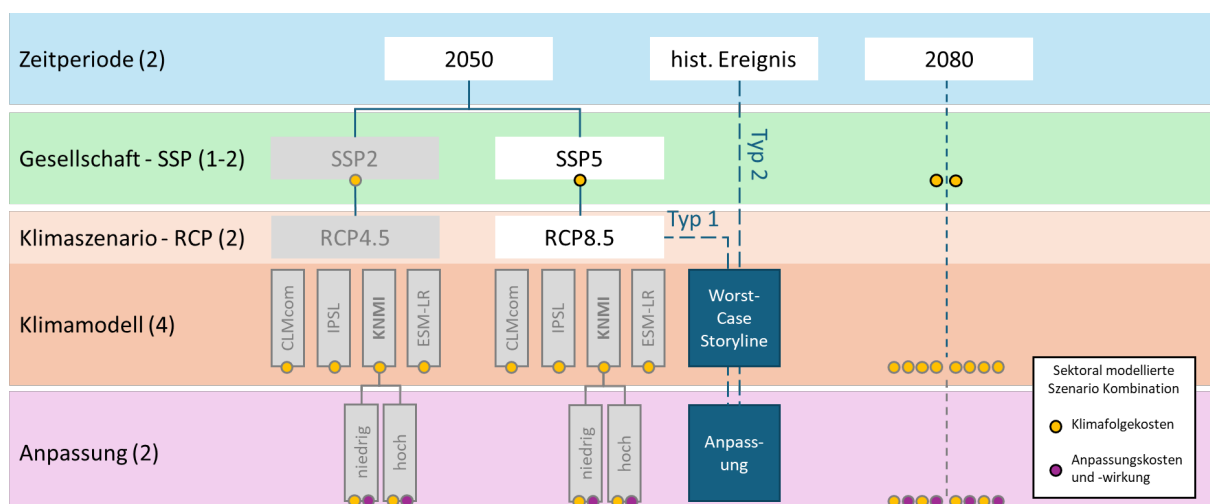


Abbildung 13: Einordnung der Worst Case Storylines Typ 1 und Typ 2 im Szenarienüberblick.

Beide Varianten fokussieren sich auf die detaillierte Betrachtung von außergewöhnlichen Extremereignissen im Sinne eines Stresstests, nicht auf eine probabilistische Analyse. Durch die Auswahl weniger relevanter Ereignisse können diese deutlich detaillierter und realistischer simuliert werden. Die Betrachtung von Einzelereignissen ist vor allem weniger abstrakt und deutlich anschaulicher als eine statistische Analyse von langjährigen Simulationen. Qualitative Informationen können leicht integriert werden und Stakeholder lassen sich leichter einbinden. Dies gilt insbesondere für die erste Variante: wenn Stakeholder die gewählten Ereignisse selbst erlebt haben, können sie die Ausprägung in einer möglichen Zukunft besser interpretieren.

In COIN2.0 werden Storyline-Simulationen in drei Sektormodellen analysiert: Hitze & Gesundheit, Elektrizität und fluviales Hochwasser. Pro Sektor wird eine Worst Case Storyline analysiert und nach folgenden drei Kriterien ausgewählt: 1) stärkstes Schadenspotenzial; 2) bessere Eignung für die Modellierung im jeweiligen Sektormodell (z.B. Eignung zur Analyse von kleinräumigeren, extrem intensiven Extremwetterereignissen wie Sturmtief Boris 2024); und 3) noch nicht aufgetretene, aber mögliche Ereignisse wie eine mehrjährige Trockenheit.

Analysen von Extremereignisse von Typ 1 (Extremereignisse aus ÖKS15 Projektionen) umfassen somit folgende Ereignisse. Für den Elektrizitätssektor eine mehrjährige Dürre mit geringen Niederschlagswerten sowohl in den Sommer- (Juni, Juli, August), als auch in den Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar). Für Hochwasser wird ein extremstes Szenario bzw. extreme Jahre (Ausschnitt aus einem Szenariolauf) simuliert. Für Gesundheit wird ein Hitzesommer qualitativ diskutiert und eingeordnet, das Ereignis wird aber nicht ausmodelliert. Ein Hitzesommer wird anhand von höchsten Durchschnittstemperaturen, höchsten Anzahl an Hitzetagen, Sommertagen oder Tropennächten, oder eventuell auch inkl. erweiterter Sommermonate Mai und September betrachtet.

Für Extremereignisse vom Typ 2 (Simulierte Event-Storylines) werden für Gesundheit die Hitzewelle von 2024 (besonders hohe Anzahl an Hitzetagen und Tropennächten in Teilen Österreichs, vor allem im Juli und August) unter zukünftigen klimatischen Bedingungen simuliert. Für Hochwasser werden die Auswirkungen von Sturmtief Boris von September 2024 ebenso wie für den Elektrizitätssektor die Dürre von 2018 unter zukünftigen klimatischen Bedingungen qualitativ diskutiert und eingeordnet, jedoch nicht explizit modelliert. Die Dürre von 2018 stellt eine der trockensten und heißesten Sommer in Österreich seit Beginn der Aufzeichnungen dar, mit besonders extremen Ausprägungen nördlich des Alpenhauptkamms.

7. Zusammenfassung

Dieser Bericht fasst die einheitlichen Annahmen und Umsetzung in Szenarien über alle in COIN2.0 analysierten Wirkungsbereiche zusammen. Dies sind einerseits die einheitlichen Klimaszenarien, die sozioökonomischen und Landnutzungsszenarien, die Anpassungsszenarien sowie die Worst-Case Storylines, die für drei Sektoren (Gesundheit, Hochwasser, Elektrizität) untersucht werden.

Das Gesamtframework stellt somit einerseits die Konsistenz zum Vorgängerprojekt COIN (1.0) her, indem bewährte Abläufe und Schnittstellen mit neuen Daten und verbesserten Modellen analysiert werden. Andererseits wird das Gesamtframework um zwei wesentliche Aspekte erweitert: die Berücksichtigung von Anpassung (niedrig vs. hoch) und die Analyse von Worst-Case Storylines. Somit lässt sich nicht nur die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen COIN1.0 und COIN2.0 sicherstellen, sondern es kann auch besser aufgezeigt werden, wie die Cost of Inaction durch Anpassung abgemildert werden können.

Literaturverzeichnis

- APCC (2025). Second Austrian Assessment Report on Climate Change (AAR2). D. Huppmann, M. Keiler, K. Riahi, H. Rieder (eds.). Austrian Academy of Sciences Press, Vienna, Austria, <https://aar2.ccca.ac.at/>
- Cocuccioni, S., Romagnoli, F., Pittore, M., Ergün Konukçu, B., Kundak, S., Göksu, Ç., Aşıcı, A., Arslanlı, K., Kalkanlı, D., Pak, E. Ö., Savelberg, L., Kalubowila, P., Armas, I., Danila, D. T., Osaci, G., Albulescu, C., Wenzel, T., Marr, P., Atun, F., ... Witvliet, B. (2023). Report on participatory workshops in the four application case study sites, including impact chains diagrams for each analysed event. <https://zenodo.org/records/8200493>
- Dellink, R., Chateau, J., Atarody, L., Bibas, R., & Lanzi, E. (2025). GDP projections by the OECD. OECD. <https://ssp.apps.ece.iiasa.ac.at/documentation/basic-drivers>
- Formayer, H., Parajka, J., Petermann, J. et al. (2025). Physical and ecological manifestation of climate change in Austria. In "Second Austrian Assessment Report on Climate Change (AAR2) of the Austrian Panel on Climate Change (APCC)". [D. Huppmann, M. Keiler, K. Riahi, H. Rieder (eds.)]. Austrian Academy of Sciences Press, Vienna, Austria, <https://doi.org/10.1553/aar2-ch1>
- Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., & Kahlenborn, W. (2014). *The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments*.
- Fuchs, S., Karagiorgos, K., Keiler, M., Papathoma-Köhle, M., & Nyberg, L. (2024). The ambiguity in IPCC's risk diagram raises explanatory challenges. *Natural Hazards*, 120(13), 12559–12564. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06643-9>
- Fuchs, S., Bednar-Fiedl, B., Formayer, H., Gangl, K., Gaube, V., Hanger-Kopp, S., Keiler, M., Kienberger, S., Haider-Nash, S., Peer, S., Schinko, T., & Steinhauser, J. (2025). Cross-Chapter Box 1. Evaluation of climate-related risks and key risks. In D. Huppmann, M. Keiler, K. Riahi, & H. Rieder (Hrsg.), *Second Austrian Assessment Report on Climate Change (AAR2)*. Austrian Academy of Sciences Press. <https://aar2.ccca.ac.at>
- IIASA (2024). SSP Scenario Explorer [Datensatz]. <https://data.ece.iiasa.ac.at/ssp/#/login?redirect=%2Fworkspaces>
- Krutzler, T., Wasserbaur, R., & Schindler, I. (2023). *Energie- und Treibhausgas-szenarien 2023. WEM, WAM und transition mit Zeitreihen von 2020 bis 2050*. Umweltbundesamt. Wien.

- Maraun, D., Knevels, R., Mishra, A. N., Truhetz, H., Bevacqua, E., Proske, H., Zappa, G., Brenning, A., Petschko, H., Schaffer, A., Leopold, P., & Puxley, B. L. (2022). A severe landslide event in the Alpine foreland under possible future climate and land-use changes. *Communications Earth & Environment*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00408-7>
- Maraun, D., & Widmann, M. (2018). *Statistical Downscaling and Bias Correction for Climate Research* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781107588783>
- Marbler, A. (2025). *Pop-AUT: Subnational SSP Population Projections for Austria (v2.0)* [Datensatz]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17493805>
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K. et al. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* 122, 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>
- Shepherd, T. G., Boyd, E., Calel, R. A., Chapman, S. C., Dessai, S., Dima-West, I. M., Fowler, H. J., James, R., Maraun, D., Martius, O., Senior, C. A., Sobel, A. H., Stainforth, D. A., Tett, S. F. B., Trenberth, K. E., van den Hurk, B. J. J. M., Watkins, N. W., Wilby, R. L., & Zenghelis, D. A. (2018). Storylines: An alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change. *Climatic Change*, 151(3–4), 555–571. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2317-9>
- Sillmann, J., Shepherd, T. G., Van Den Hurk, B., Hazeleger, W., Martius, O., Slingo, J., & Zscheischler, J. (2021). Event-Based Storylines to Address Climate Risk. *Earth's Future*, 9(2), e2020EF001783. <https://doi.org/10.1029/2020EF001783>
- Smit, B., & Pilifosova, O. (2001). Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. In J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, & K. S. White (Eds.), *Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability* (pp. 877–912). Cambridge University Press.
- Statistik Austria (2024). *Regionale Gesamtrechnungen* [Datensatz].
- Van Vuuren D.P., O'Neill B.C., Tebaldi C. et al. (2026) *The Scenario Model Intercomparison Project for CMIP7 (ScenarioMIP-CMIP7)*. *Geoscientific Model Development* 19 (7), 2627 – 2656 <https://doi.org/10.5194/gmd-19-2627-2026>
- Wang, X., Meng, X., & Long, Y. (2022). Projecting 1 km-grid population distributions from 2020 to 2100 globally under shared socioeconomic pathways. *Scientific Data*, 9(1), 563. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01675-x>
- Zebisch, M., Schneiderbauer, S., Fritzsche, K., Bubeck, P., Kienberger, S., Kahlenborn, W., Schwan, S., & Below, T. (2021). The vulnerability sourcebook and climate impact chains – a standardised framework for a climate vulnerability and risk

assessment. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 13(1), 35–59. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-07-2019-0042>

Zebisch, M., Renner, K., Pittore, M., Fritsch, U., Fruchter, S., Kienberger, S., Schinko, T., Sparkes, E., Hagenlocher, M., Schneiderbauer, S., & Delves, J. (2023). *Climate Risk Sourcebook*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://collections.unu.edu/eserv/UNU:9270/Zebisch_etal_2023_Climate_Risk_Sourcebook.pdf