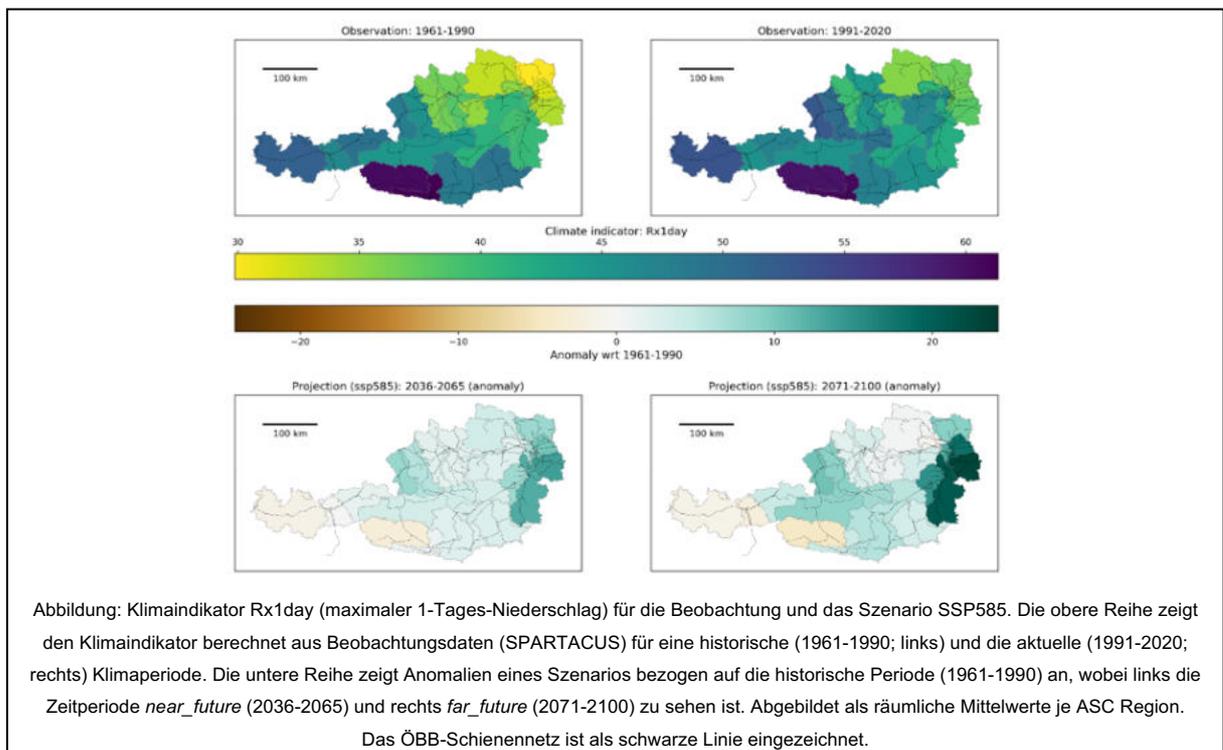


# clim\_ect

## Klimawirkanalysen entlang der ÖBB-Bahnstrecken

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung 2018  
(VIF2018)

Ergebnisbericht | Dezember 2021



## Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien  
Radetzkystraße 2  
A – 1030 Wien

 **Bundesministerium**  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG  
Nordbahnstraße 50  
A – 1020 Wien

 **ÖBB**  
INFRA

## Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH  
Thematische Programme  
Sensengasse 1  
A – 1090 Wien

 **FFG**  
Forschung wirkt.

**Für den Inhalt verantwortlich:**

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Abteilung Klimaforschung (KLFOR) – Climate Impact Team (CIT)

Hohe Warte 38, 1190 Wien

Technische Universität Wien, Institut für Raumplanung

Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

Karlgasse 11, 1040 Wien

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Peter-Jordan-Straße 82/III, 1190 Wien

# **Klimawirkanalysen entlang der ÖBB- Bahnstrecken clim\_ect**

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung  
(VIF2018)

**Autoren und Autorinnen (alphabetisch):**

**Tabea FIAN**

**Georg HAUGER**

**Stephan HÖRBINGER**

**Sebastian LEHNER**

**Christoph MATULLA**

**Helene MÜLLER**

**Hans Peter RAUCH**

**Christian WALLY**

**Auftraggeber:**

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

**Auftragnehmer:**

Technische Universität Wien, FB Verkehrssystemplanung

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Klimaforschung, Climate Impact Team

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	8
1.1	Hintergrund und Zielsetzung des Projektes.....	8
1.2	Struktur des Berichtes .....	10
2	Aufbereitung und Verortung der dokumentierten Schadereignisse.....	13
2.1	Eingangsdaten.....	13
2.2	Geocodierung .....	15
2.3	Vorgehensweise .....	16
2.4	Probleme im Rahmen der Verortung.....	19
2.5	Höhenbestimmung .....	20
2.6	Ergebnis .....	21
3	Historische Schadereignisbetrachtung.....	23
4	Wetterinduzierte Gefahren und Schadereignisse.....	36
4.1	Kopplung des Ereignisraumes an die Wetterbeobachtungen .....	36
4.2	CI-Detektion und Leistungsbewertungsverfahren codiert und getestet.....	43
4.3	Vollständig berechnete Climate Indices für alle Kategorien .....	46
4.3.1	Flooding .....	46
4.3.2	Mudslide.....	47
4.3.3	Wind-storm.....	48
4.3.4	Falling-rock .....	49
4.3.5	Snow .....	51
4.3.6	Zusammenfassung .....	53
5	Klimakorridore und zu bewältigender Impact in den ASC-Standorten .....	54
5.1	Ableitung und Kompilation von Ensembles downgescalter Klimaszenarien für unterschiedliche Menschheitspfade .....	54
5.1.1	Qualitätskontrolle der globalen Klimadaten .....	56
5.1.2	Regionale Klimamodellierung (Downscaling) .....	68

5.1.3	Generierung von Ensembles verschiedener Menschheitspfade.....	74
5.2	Etablierung von Schadereignis-Korridoren für zwei Zeithorizonte basierend auf den Climate Indices .....	87
6	Klimahüllen und baumartenentwicklung in den ASC-Standorten .....	111
6.1	Grundlagen und Vorgehensweise .....	112
6.1.1	Vegetationsdatenbank .....	113
6.1.2	Klimahüllen .....	116
6.2	Ergebnisse.....	121
6.2.1	Potentiell natürliche Standorte von Gehölzen.....	122
6.2.2	Entwicklung von potentiell natürlichen Standorten von Gehölzen .....	127
7	Massnahmenkatalog und Anpassungsvorschläge .....	147
7.1	Etablierung einer standardisierten Ereignisdokumentation .....	152
7.2	Präzisierung der Risikoeinschätzung .....	159
7.3	Priorisierung der Risikoeinschätzung .....	161
7.4	Frühwarnsysteme und deren Evaluierung.....	164
7.5	Erhöhung der Schutzfunktion und Ökosystemdienstleistungen des Waldes .....	166
7.6	Erweiterung der Geodatenbank „ÖBB-Forstoperat“ .....	179
7.7	Erweiterung der Naturgefahrenhinweiskarten .....	181
7.8	Laufende Schulungen, Aus- und Weiterbildungen .....	184
7.9	Laufende Beurteilungen und Inspektionen vor Ort.....	184
7.10	Regelmäßige Normungs- bzw. Richtlinienarbeit .....	185
8	Literaturverzeichnis .....	186
9	Anhang .....	190

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Hintergrund und Zielsetzung des Projektes

Klimaänderungen und die zu erwartenden Entwicklungen wetterinduzierter Naturgefahren wirken sich auf die Sicherheit und Verfügbarkeit des Streckennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG aus und stellen den Infrastrukturbetreiber vor die Herausforderung der Aufrechterhaltung eines hohen Schutzniveaus in den kommenden Dekaden. Basierend auf der Dokumentation wetterinduzierter Schadereignisse entlang des ÖBB-Schienennetzes erfolgt im Projekt „clim\_ect“ die modellbasierte Abschätzung von wetterinduzierten Naturgefahren für den kurz- und langfristigen Betrachtungszeitraum. Darauf aufbauend werden Maßnahmen entwickelt, um künftig das Risiko von wetterinduzierten Schäden entlang des ÖBB-Schienennetzes zu reduzieren bzw. zu vermeiden.

Ziele des Forschungsprojektes „clim\_ect“ sind einerseits die Abschätzung der in Zukunft - entlang des ÖBB-Schienennetzes - zu erwartenden Entwicklungen wetterinduzierter Naturgefahrprozesse, die potentiell zu Schäden an der Schieneninfrastruktur der ÖBB-Infrastruktur AG bzw. zu Unterbrechungen des regulären Betriebes führen können sowie andererseits die Erarbeitung eines Maßnahmenpakets, welches effektive, effiziente und nachhaltige Investitionen in Schutzvorrichtungen gestattet. Wetterinduzierte Gefahrprozesse sind – je nach Streckenabschnitt – beispielsweise Hangrutschungen, Hitzetage, Steinschläge, Sturzfluten oder großräumige Überflutungen.

Zur Erreichung der Ziele war es zunächst erforderlich, den von der ÖBB geführten Schadereigniskataster, welcher ab 1990 für verschiedene Streckenabschnitte, nach Schadereigniskategorien unterschieden, deren Eintritt festhält, aufzubereiten. Dieser räumlich, nach Streckenabschnitten und Schadereignisart differenzierte Datensatz wurde dann mit den – den Schadereignissen – vorhergegangenen meteorologischen Entwicklungen (z.B. Niederschlagssummen oder Höchsttemperaturen der Tage vor dem Schadereignis) verschnitten. Dabei wurden die meteorologischen Entwicklungen auf Basis des Umfangs der Beobachtungen der jeweiligen Schadereignisart statistisch analysiert und charakteristische Abfolgen meteorologischer Größen (z.B. Sequenzen von Tagen vor dem Ereigniseintritt mit mehr und weniger hohen Niederschlagssummen oder Tageshöchsttemperaturen) identifiziert.

Für die verschiedenen – in der Vergangenheit festgehaltenen – Schadereignisse stehen so also charakteristische Abfolgen oder Muster meteorologischer Größen zur Verfügung, die mit deren Eintreten im Zusammenhang stehen.

Will man nun künftige Entwicklungen von Schadereignissen abschätzen, sucht man die induzierenden Wetterentwicklungen in sogenannten Klimaprojektionen. Diese beruhen auf verschiedenen Annahmen, welche Bevölkerungswachstum, dessen Energiebedarf oder dessen Kommunikationsverhalten (rascher oder weniger zügigerer Austausch ‚grüner‘ Technologien, usw.) in der Zukunft berücksichtigen. Oft betrachtet man – um eine ausreichende Bandbreite künftiger Entwicklungen abzudecken – zwei Szenarien mit denen Globale Klimamodelle, deren Ergebnisse dann noch regionalisiert werden müssen, angetrieben werden: a) das „business as usual“ Szenario, bei dem die Menschheit einfach so weiter macht, wie bisher – als gäbe es keinen Klimawandel – und b) das sogenannte ‚Paris 2 Grad Ziel‘ bei dem die Weltregierungen versuchen, die globale Erderwärmung auf unter 2 Grad (idealerweise auf 1,5 Grad) gegenüber der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu beschränken. Betrachtet man den Korridor, der von diesen Szenarien aufgespannt wird, und die damit einhergehenden Konsequenzen auf regionaler und lokaler Ebene, kann man daraus Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung und Infrastruktur ableiten. Dieses Konzept bezeichnet man als Adaption an den Klimawandel. Natürlich muss dabei auch das Konzept der ‚Mitigation‘, also der Abschwächung des Klimawandels – durch massive Reduktion der anthropogenen Treibhausgasemissionen – berücksichtigt werden.

Im Projekt „clim\_ect“, welches vom Climate Impact Team (CIT) an der Klimaforschungsabteilung (KLFOR) am österreichischen Wetter und Geodynamischen Dienst (ZAMG), zusammen mit dem Institut für Verkehrssystemplanung der TU Wien und dem Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der BOKU im intensiven Austausch mit der ÖBB-Infrastruktur AG durchgeführt wurde, ist auf eine Reihe wetterinduzierter Naturereignisse, welche Bedrohungen für Fahrgäste und die Sicherheit von ÖBB Infrastruktur darstellen, eingegangen worden.

## 1.2 Struktur des Berichtes

Nachhaltigkeit bezogen auf implementierte Schutzinfrastruktur bedeutet die Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus in den kommenden Dekaden, in denen die zu erwartenden Entwicklungen wetterinduzierter Naturgefahrprozesse potentiell zu Schäden an der Schieneninfrastruktur der ÖBB-Infrastruktur AG bzw. zu Unterbrechungen des regulären Betriebes führen können.

Das Projekt clim\_ect basiert auf detaillierten, kleinräumigen raum-zeitlichen Analysen der in der Vergangenheit – entlang des ÖBB-Schienennetzes – beobachteten Schadprozesse. Da derartige Ereignisse in der Regel selten auftreten, sind Qualität und Vollständigkeit der Aufzeichnungen entscheidend. Somit ist es erforderlich, den von der ÖBB-Infrastruktur AG geführten **Schadereigniskataster**, welcher ab 1990 für verschiedene Streckenabschnitte, nach Schadkategorien unterschieden, deren Eintritt festhält, einheitlich aufzubereiten und erstmalig im Zuge von clim\_ect zu verorten (i.e., **jedes Schadereignis wird erstmalig mit einer Geokoordinate** versehen).

Nach Abschluss des Daten- und Qualitätsmanagements ist das nächste Ziel die Detektion regionalskaliger Wetterverläufe – **Klimaindikatoren** bzw. Climate Indices oder CIs genannt – die Gefahrprozesse (z.B. Hangrutschungen oder Überflutungen verschiedener Kategorien) auslösen. CIs können sich über mehrere Tage erstrecken und sind z.B. durch Schwellwertüberschreitungen charakterisiert. Methodisch gelingt die „CI-Detection“ durch Verschneiden („blending“) der Schadprozessdaten mit meteorologischen Beobachtungen, die ab 1950 in täglicher Auflösung auf einem 1-km-Gitter über Österreich vorliegen.

Die CIs werden aus den miteinander verschnittenen Datensätzen mit multivariaten Analysetechniken („Eigentechniques“, von Storch & Zwiers 1999) abgeleitet. Die resultierenden CIs sind die „Kopplung“ zwischen Wetterbeobachtungen und potentiellen, davon induzierten Schadprozessen. Diese „Linkages“ oder „Kopplungen“ müssen nach ihrer Detektion in Validierungsexperimenten auf ihre Robustheit getestet werden. Dieser Arbeitsschritt ist nicht nur seiner Bedeutung wegen (z.B. Prüfung und Gewährleistung bestmöglicher Datenqualität, auf der letztendlich alle Projektergebnisse ruhen) besonders umfangreich, sondern auch, weil die beschriebene „CI-Detection“ für verschiedene

Gefahrprozesse in unterschiedlichen Kategorien sowie regionsspezifisch vielfach durchzuführen und zu validieren ist.

Der CI-Detektion folgt die Abschätzung der Risikolandschaften künftiger Jahrzehnte und deren Veränderungen bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Das gelingt über Ensembles an Klimaszenarien, die unterschiedlichen Entwicklungspfaden der Menschheit („business as usual“, „erste Maßnahmen“ und „Klimaschutz“, wie bei der COP21 in Paris 2015 beschlossen) entsprechen. Diese Ensembles werden zuerst mit Downscalingverfahren physikalisch konsistent von der grob aufgelösten Skala, auf der die entsprechenden Simulationen globaler Klimamodelle vorliegen, auf die regionale Skala übersetzt. Resultierende Ensembles werden analysiert und dienen der Ableitung von CI-Korridoren, die in Raum und Zeit Eintrittswahrscheinlichkeiten potentieller Schadprozesse abbilden. Innerhalb dieser **Gefahren-Korridore** – „Hazard Development Corridors, HDCs“ genannt – gilt es Schutzkonzepte bzw. die notwendige Schutzinfrastruktur zu schaffen, um wetterinduzierte Gefahren bzw. Schäden zu minimieren. Schutzmaßnahmen, welche die gegenwärtige Sicherheit nachhaltig, bezogen auf einen bestimmten Zeithorizont (z.B. die nächsten 40 Jahre), gewährleisten sollen, müssen den zu erwartenden Bedrohungen standhalten. Daraus ergeben sich prozess-, kategorie- und regionsspezifische Anforderungsprofile, die die zentralen Eingangsgrößen für Verfahren sind, die der Unterstützung von Entscheidungsträgern dienen.

In einem nächsten Schritt werden **Klimahüllen** zur Quantifizierung von **potentiell natürlichen Vegetationsstandorten von 43 Gehölzarten** und deren Veränderungen im Zuge des Klimawandels auf regionaler Ebene analysiert. Die Ergebnisse der Klimahüllen zeigen, welche Baumarten zur Schutzwaldwirkung für die untersuchten Schadereigniskategorien beitragen und wie sich die Vegetationsstandorte der betrachteten Gehölzarten tendenziell entwickeln werden. Gemeinsam mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten potentieller Schadprozesse aus den Gefahren-Korridoren (HDC risk factors bzw. hazard risk factors), wird auf regionaler Ebene aufgezeigt, welche Baumarten für welche Ereigniskategorie und in welcher Region potentiell förderungswürdig erscheinen.

Basierend auf den berechneten Gefahren-Korridoren und den Ergebnissen der Klimahüllen wird ein **Maßnahmenkatalog mit Klimawandel-Anpassungsstrategien** erarbeitet. Dieser deckt die Bereiche Schutzwaldmanagement und Baumartenwahl, Vegetationsmanagement,

Naturgefahrenhinweiskarten, standardisierte Ereignisdokumentation und Richtlinienarbeit ab. Entlang der vier Stufen des Disaster Mangements Cycles werden Maßnahmen aufgezeigt, die auf Basis der Ergebnisse des Projektes clim\_ect realisiert werden können und zur Gewährleistung eines zukünftig hohen Schutzniveaus entlang des Schienennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG beitragen.

## 2 AUFBEREITUNG UND VERORTUNG DER DOKUMENTIERTEN SCHADEREIGNISSE

### 2.1 Eingangsdaten

Als Eingangsdaten dienen dokumentierte Naturereignisse entlang des ÖBB-Schienennetzes aus den Jahren 1990 – 2019. Bei den zur Verfügung gestellten Daten handelte es sich um 3.319 Ereignisse. Innerhalb des Betrachtungszeitraumes hat sich die Art der Dokumentation und somit auch die Struktur der Daten verändert. Dies betrifft einerseits die für die Verortung relevanten Parameter, andererseits auch die Struktur jener Attribute, die das Ereignis näher beschreiben.

In Tabelle 1 sind die im jeweiligen Zeitraum vorhandenen und für die Verortung relevanten Parameter aufgelistet. Es wurde deutlich, dass die Ortsangaben der Ereignisse im Zeitraum von 1900-2004 auf Betriebsstellen und Bahnhöfe bezogen wurden. Ab dem Jahr 2005 wurden für die Lokalisierung Streckenkilometer und Streckenname verwendet.

Zeitraum		Parameter für Verortung	BSP	Name von Excel
von	bis			
1990	1997	Unfallnummer		Naturereignisse 1990-2012
		BHF1	SV	
		BHF2	ERN	
1998	2004	Unfallnummer		Naturereignisse 1990-2012
		BST-BEZ1	Lunz am See	
		BST-BEZ2	Göstling/Ybbs	
2005	2006	Unfallnummer		Naturereignisse 1990-2012
		BSTN_BSTS_ID1	842	
		BSTN_BSTS_ID2	849	
		NBF_ID	585	
		KM		
		STRGR	1270237	
		STR(Name)	St.Pölten-Wels	
2005	2009	Unfallnummer		Naturereignisse 1990-2012
		NBF_ID	440	
		BSTN_DB640_Name	Golling-Abtenau	
		km	22	
		STRGR	1271779	
		STR(Name)	Wien-St.Pölten	
2010	2015	Schadensnummer		Naturereignisse 2010-2015 Beschreibung_final
2016		DB640VonName	Stübing	Naturereignisse_01-12.2016 m Beschreibung korr
2017		DB640BisName	Stübing	Betr_Ereignisdaten_2017
2018		km	104,6	Naturereignisse_01-12.2018
2019		STRGR	Ergänzungsnetz	Naturereignisse_01-12.2019 m Beschreibung korr
		STR_Name	Rudolfsb	

Tabelle 1: Datenstruktur der Eingangsdaten - Verortungsbezogene Attribute gegliedert nach Jahren.

Die Erfassung der ereignisbezogenen Attribute wurde von 1990-1997 einheitlich durchgeführt. Danach gab es einen einheitlichen Datenblock, der die Jahre 1998-2004 umfasste. Es folgte eine Phase mit mehreren Änderungen in der Datenstruktur. Im Zeitraum 2011-2019 lag wieder eine weitgehend homogene Struktur vor, siehe dazu Tabelle 2.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Datum																														
Unfall/Schadensnr.																														
Art																														
Ursachen 1																														
Ursachentext																														
Ursachen 2																														
Ursachen 3																														
SchadS																														
SUSTD																														
Anzahl																														
Summe SUSTD																														
Ereignis																														
Ereignisgruppe																														
Ereignistext																														
Ursachengruppe																														
Ursachenummer																														
Schadenshöhe/ges. Schaden																														
Strunt																														
Lfd																														
Ereignisnummer																														
Gleis																														
Anzahl																														
Ursache ID																														
Ursache																														
Beschreibung																														
Ursache - Baum																														

Tabelle 2: Veränderung der Datenstruktur der ereignisbezogenen Attribute über die Jahre.

## 2.2 Geocodierung

Die Verortung der Ereignisse erfolgte durch Digitizing der Ereignisse im ESRI Softwarepaket ArcGIS 10.6. Es wurden alle Ereignisse unabhängig von möglichen früheren Verortungen basierend auf den Eingangsdaten neu verortet. Als Grundlage dienten die in Tabelle 3 angeführten GIS-Eingangsdaten:

Eingangsdaten	Dateien
Betriebsstellen und Bahnhöfe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BST_OEBB.shp</li> </ul>
Streckennetz und -bezeichnungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• oebb_gip_2025plus_15092015.gdb</li> </ul>
Kilometersystem und -bezeichnungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KMSYS_OEBB.shp</li> <li>• KMSYS_NichtOEBB.shp</li> </ul>
Kilometermarken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• clim_ect.gdb</li> <li>• OEBB_KILOMETER.shp (teilweise auch nicht im Eigentum der ÖBB-Infrastruktur AG befindliche Strecken enthalten)</li> </ul>

Tabelle 3: GIS-Eingangsdaten für die Verortung.

## 2.3 Vorgehensweise

Vorab wurde jedem Schadereigniseintrag eine ID zugeteilt. Diese bestand aus der Jahreszahl und einer dreistelligen laufenden Nummer (JJJJxxx). Während des Verortungsprozesses wurden sämtliche Attribute, die das Ereignis und die Verortung betreffen, nicht berücksichtigt. Es wurden die Ereignisorte kartiert, in eine Datenbank eingetragen und mit folgenden neuen Attributen versehen: ID, Verortungsgrad, Anmerkungen. Die ID ermöglicht eine spätere Verknüpfung mit den Ausgangsdaten. Der Verortungsgrad trifft eine Aussage über die Genauigkeit des Ereignisortes, eine Übersicht der Kategorien ist in Tabelle 4 ersichtlich. Die Anmerkungen enthalten zusätzliche Informationen über Unklarheiten, die während der Verortung aufgetreten sind (z.B. parallele Gleisführung).

Am Ende des Verortungsprozesses wurden die Koordinaten der Ereignisse mittels Geometrieberechnung im ArcGIS bestimmt und die Höhe des Ereignisortes berechnet (siehe Kapitel 2.5). Anschließend wurden die verorteten Daten über die ID mit den Attributen der Ausgangsdaten verknüpft. Die Daten wurden bereinigt und Informationen über den Ereignisort (Streckennetz, km, Betriebsstell, etc.) entfernt. Diese wurden obsolet, da nun eine eindeutige Geocodierung der Ereignisse in Form von Koordinaten vorlag. Die ereignisbezogenen Attribute blieben unverändert erhalten.

## Verortungskategorien

1 km

1 – 10 km

10 – 20 km

> 20 km

Verortung basiert auf 1 BF

Tabelle 4: Kategorien für den Verortungsgrad.

Auf Grund der unter 2.1 beschriebenen Unterschiede der Datenstruktur über die Zeit waren unterschiedliche Verortungsmethoden erforderlich. Diese lassen sich in drei Szenarien unterteilen:

- **Verortung basierend auf Kilometrierung:**

Der entsprechende Bereich wurde mittels Abfrage des Streckennamens oder einer ev. angegebenen Betriebsstelle eingegrenzt. Anschließend wurde das Ereignis beim entsprechenden Streckenkilometer verortet. Die Werte der Streckenkilometer wurden auf 100m gerundet (siehe Abbildung 1).



ID	UNFNR_RL	DATUM	BSTN_DB640_NAME	KM	STR_NAME	URSACHENR	URSACHETEXT
2006051	5005060232	24.03.2006	Aspang	83,6	KERNNETZ RAUM WR	5	Windbruch
2006042	5011060085	01.03.2006	Attnang-Puchheim	243,3	WELS - SALZBURG	1	Wind, Sturm
2006034	5011060065	10.02.2006	Bad Aussee	30,8	ERGÄNZUNGSNETZ S	2	Eis, Lawinen
2006065	5011060152	28.06.2006	Bischofshofen	55	SALZACHTAL	5	Windbruch

Abbildung 1: Skizze zur Vorgehensweise bei der Verortung basierend auf Kilometrierung.

- **Verortung basierend auf zwei Bahnhöfen oder Betriebsstellen:**

Es wurde die Annahme getroffen, dass der Ereignisort dem Streckenmittelpunkt zwischen den beiden Bahnhöfen oder Betriebsstellen entspricht. Somit wurde die Länge der Strecke zwischen den beiden Orten ermittelt und das Ereignis am Mittelpunkt verortet. Dabei wurde ebenfalls auf 100m gerundet. Die Genauigkeit der

Verortung war bei dieser Vorgehensweise abhängig von der Länge der Strecke zwischen den Betriebsstellen (siehe Abbildung 2).

ID	UNFALLNR	DATUM	BF1	BF2	ART	URSACHE1	URSACHENTEXT
1994049	7490794	22.07.1994	SOS	FEL	921	4	Hitze
1994050	7540794	24.07.1994	SOS	FEL	921	4	Hitze
1994011	3320194	28.01.1994	STB	GST	920	1	Wind, Sturm
1994044	3330694	20.06.1994	SV	ERN	164	1	Wind, Sturm

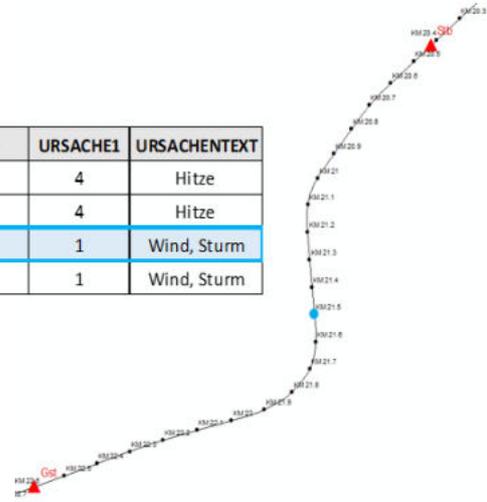


Abbildung 2: Skizze der Vorgehensweise bei der Verortung basierend auf zwei Bahnhöfen oder Betriebsstellen.

- **Verortung basierend auf einem Bahnhof oder einer Betriebsstelle:**

Das Ereignis wurde exakt am jeweiligen Bahnhof bzw. der jeweiligen Betriebsstelle verortet. Für diese Art der Verortung wurde in weiterer Folge eine eigene Kategorie zur Angabe der Genauigkeit vergeben: „Verortung basiert auf einem Bahnhof“ (siehe Abbildung 3).

ID	UNFALLNR	DATUM	BF1	BF2	ART	URSACHE1	URSACHENTEXT
1994004	7050194	03.01.1994		VF	31	2	Eis, Lawinen
1994006	5020194	10.01.1994		KIT	31	2	Eis, Lawinen
1994019	600194	28.01.1994		EG	163	1	Wind, Sturm
1994020	610194	28.01.1994		ZF	162	1	Wind, Sturm



Abbildung 3: Skizze der Vorgehensweise bei der Verortung basierend auf einem Bahnhof oder einer Betriebsstelle.

## 2.4 Probleme im Rahmen der Verortung

Bei manchen Ereignissen war eine Verortung nicht möglich. Dafür gab es mehrere Ursachen: Da für nicht im Eigentum der ÖBB-Infrastruktur AG befindliche Strecken keine Daten über Streckenkilometer, Streckennamen und Betriebsstellen vorliegen, konnten Ereignisse aus früheren Jahren entlang dieser Strecken nur eingeschränkt oder nicht verortet werden.

Auch unterschiedliche Schreibweisen, parallel existierende oder sich im Laufe der Jahre verändernde Bezeichnungssysteme des Streckennetzes machten eine Verortung in manchen Fällen unmöglich. Dies was dadurch bedingt, dass ältere Bezeichnungen und Namen in der – für die Verortung verwendeten – Datengrundlage nicht mehr aufschienen.

Bei Ereignissen, die mittels Kilometerangabe dokumentiert wurden, war eine eindeutige Verortung nicht möglich, wenn im Umkreis der gegebenen Betriebsstelle mehrere gleiche Kilometer-Punkte vorlagen (siehe Abbildung 4).

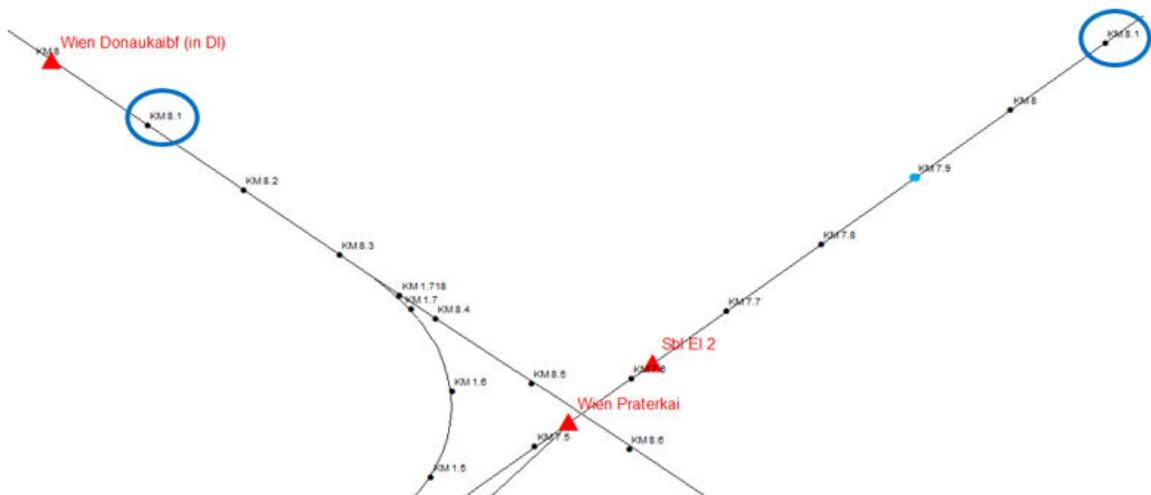


Abbildung 4: Skizze: Verortung nicht möglich bei gleichen Streckenkilometern im Umkreis einer Betriebsstelle.

## 2.5 Höhenbestimmung

Als Datengrundlage für die Berechnung der Höhenkoordinate eines Schadereignisses diente einerseits dessen Geokoordinate (X/Y-Koordinate) sowie das digitale Geländemodell für Österreich (DGM) mit einer Auflösung von 10x10m.

Downloadlink DGM: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/dgm> (letzter Zugriff 02.12.2019)

Das DGM lag in der Projektion MGI\_AUSTIRA\_LAMBERT vor, die Ereigniskoordinaten beziehen sich allerdings auf das WGS84 System. Daher wurden die Ereigniskoordinaten in einem ersten Schritt in MGI\_AUSTRIA\_LAMBERT-Koordinaten transformiert. Dabei kam das von ESRI zur Verfügung gestellte Parameterset MGI\_TO\_WGS84\_3 zum Einsatz. Anschließend wurde die Höhe der einzelnen Ereignisorte bestimmt und das Ergebnis auf Plausibilität geprüft. Dies wurde mittels Höhenabfrage im NoeGIS und im Digitalen Atlas Steiermark anhand von vier Ereignissen durchgeführt. Es ist allerdings anzumerken, dass dieser Höhenabfrage ein Höhenmodell mit einer Auflösung von 1x1m zu Grunde lag. Für die Stichprobe lagen die Abweichungen der berechneten Höhe zu der abgefragten Höhe im Bereich 0.1-5.9m (siehe Tabelle 5). Das Ereignis, das eine 5.9m-Höhendifferenz aufweist, ist am Fuße eines steilen Hanges situiert.

Einerseits kann die Transformation in geringen Lageungenauigkeiten und dadurch bedingten Abweichungen der Höhe resultieren. Andererseits basierte die Verortung der Punkte auf der Darstellung des Schienennetzes als Linie, dem gegenüber basierte die Höhenberechnung auf einer Rasterweite von 10x10m. Bei speziellen Geländesituationen (z.B. Bahndamm, Eintiefungen, Bahntrasse an sehr steilem Hang etc.) kann es somit zu Abweichungen der Höhenangaben kommen.

ID	Lat.	Long.	Höhe berechnet	Höhe abgefragt	Differenz [m]
1990030	47.932812	14.765128	435.9	430.0	-5.9
1990004	48.715222	15.370425	553.0	552.4	-0.6
1990040	47.281351	15.985069	329.1	329.2	0.1
1990014	47.627454	14.756885	477.8	477.7	-0.1

Tabelle 5: Plausibilitätsprüfung der berechneten Höhen.

## 2.6 Ergebnis

Von den ursprünglich **3.319 Schadereignissen** konnten **2.802 Schadereignisse** eindeutig verortet werden. Das entspricht einem durchschnittlichen **Verortungsgrad von 84%**.

Der Verortungsgrad der einzelnen Jahre sowie die Absolutwerte sind in Abbildung 5 ersichtlich. Mehrfachverortungen eines Ereignisses konnten nicht komplett ausgeschlossen werden. Dies ist dadurch bedingt, dass teilweise ein einzelnes Ereignis, dem mehrere Ursachen zugeschrieben wurden, mehrfach in den Eingangsdaten eingetragen war. Da jede Eintragung in den Eingangsdaten eine eigene ID erhielt, wurde dieser in weiterer Folge eine eigene Verortung zugeführt.

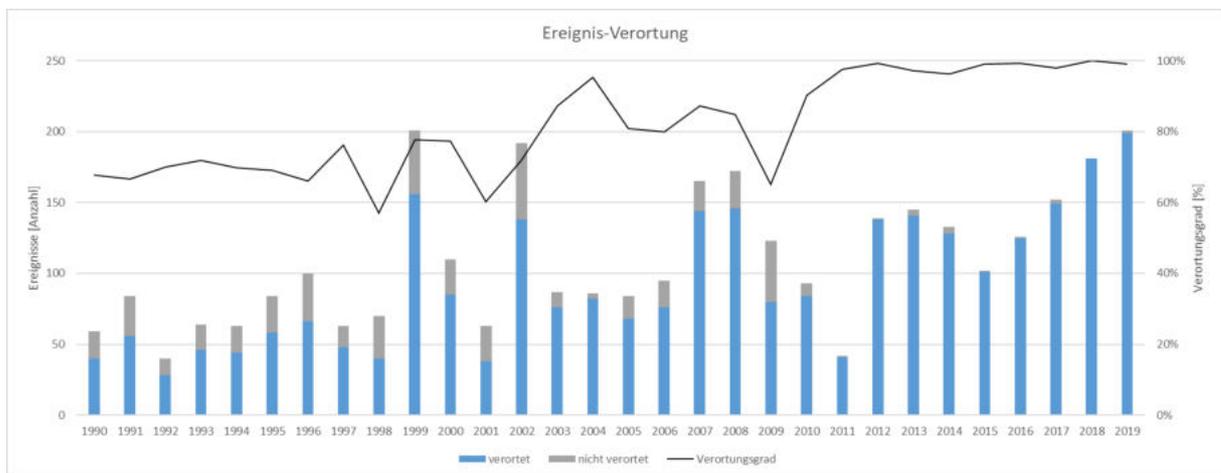


Abbildung 5: Verortete Ereignisse dargestellt als Absolutwerte für die einzelnen Jahre sowie als Verortungsgrad.

Die Koordinaten der Ereignisse beziehen sich auf das Koordinatensystem GCS\_WGS\_1984. Dieses wurde gewählt, um die Kompatibilität mit den von der ÖBB-Infrastruktur AG zur Verfügung gestellten GIS-Daten zu gewährleisten. Die Datensätze umfassen alle in Tabelle 2 angeführten, ereignisbezogenen Attribute sowie die Informationen aus dem Verortungsprozess: ID, Latitude, Longitude, Altitude, Verortungskategorie und Anmerkungen zur Verortung. Über die ID ist eine Verknüpfung mit weiteren Attributen der Ausgangsdaten möglich. Es ist wichtig, diese im weiteren Arbeitsprozess beizubehalten.

Die Verortungskategorie stellt ein Maß für die zu erwartende Lagegenauigkeit des Ereignisses da und wurde als codierter Wert vergeben. Die einzelnen Kategorien und der dazugehörige Code sind in Tabelle 6 aufgeschlüsselt.

Code	Verortungskategorien
A	1 km
B	1 – 10 km
C	10 – 20 km
D	> 20 km
E	Verortung basiert auf 1 BF

Tabelle 6: Codierte Werte der Verortungskategorien, wobei BF... Bahnhof.

### Ergebnisdaten:

Als Ergebnisdaten liegen die folgenden Datensets vor:

- Bereinigte Eingangstabelle: beinhaltet alle Eingangsdatensätze inkl. aller Attribute
- Shapefile aller verorteten Ereignisse
- Bereinigte Ausgangstabelle: beinhaltet alle verorteten Ereignisse inkl. Geocodierung und ereignisbezogene Attribute

### 3 HISTORISCHE SCHADEREIGNISBETRACHTUNG

Die standardisierte, geocodierte clim\_ect-Schadereignisdatenbank dient als Input für die historische Schadereignisbetrachtung entlang des ÖBB-Schienennetzes. Die Klimawirkanalysen im Projekt clim\_ect erfolgen räumlich differenziert nach 26 ASC-Standorten, für welche auch die historische Schadereignisbetrachtung aufbereitet wird. ASC-Standorte sind Streckenabschnitte, die in den Zuständigkeitsbereich eines ASC (Anlagen-Service-Center bzw. Instandhaltungstützpunkt) fallen. Die folgende Abbildung 6 zeigt die Einteilung des ÖBB-Schienennetzes in 26 ASC-Standorte. Die schwarzen Linien sind die räumlichen Abgrenzungen der ASC-Standorte, die weißen Linien stellen das Schienennetz der ÖBB-Infrastruktur AG dar.

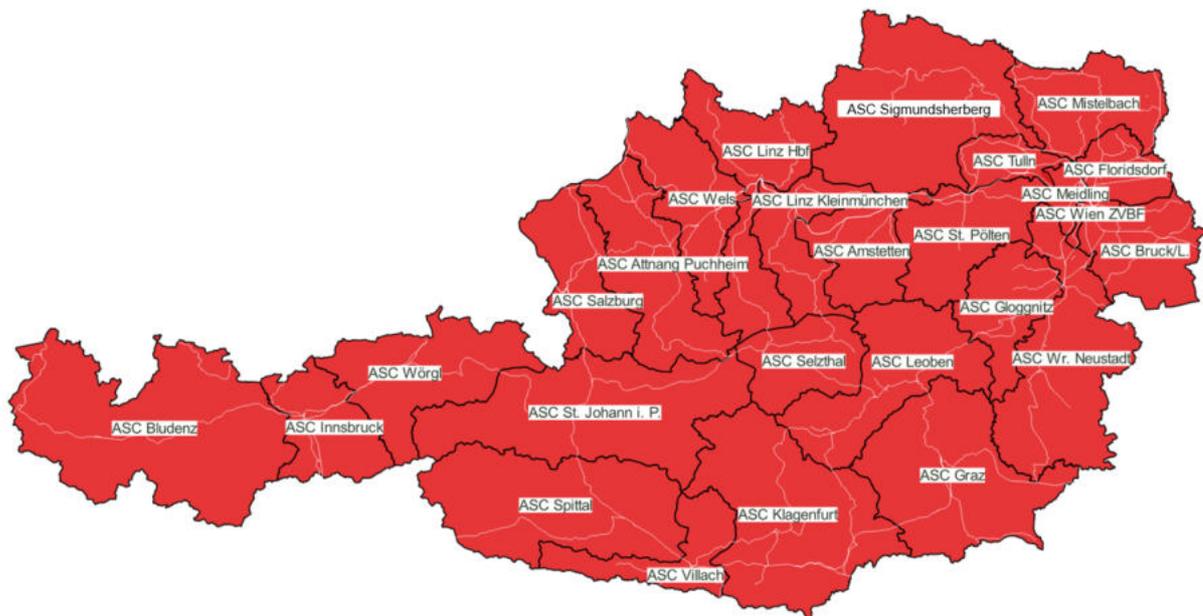


Abbildung 6: ASC-Standorte der ÖBB-Infrastruktur AG.

In einem ersten Schritt werden die Schadereignishäufigkeiten in den Schadereigniskategorien *Icing, Heat, Wind-Storm, Mudslide, Flooding, Flashflood, Snow, Avalanche, Falling-rock* dargestellt. Die folgende Abbildung stellt eine Heatmap dar, die anzeigt, wie oft sich die Schadereigniskategorien entlang des Schienennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG im Zeitraum von 1990 bis 2019 ereignet haben. Insgesamt konnten 2.099 der 3.319 Schadereignisse mit meteorologischen Beobachtungen verschnitten werden.

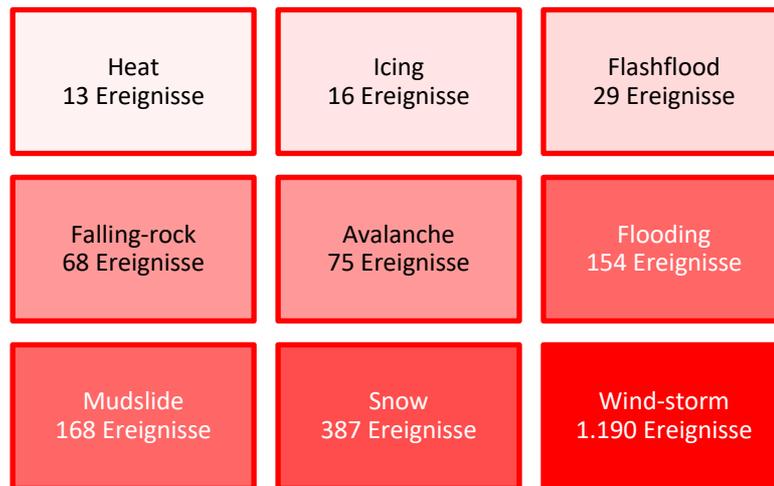


Abbildung 7: Heatmap der wetterinduzierten Schadereignisse nach Schadereigniskategorien: Anzahl der wetterinduzierten Schadereignisse von 1990 bis 2019 entlang des Schienennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG differenziert nach Schadereigniskategorien.

Die nächste Abbildung zeigt die saisonale Verteilung der wetterinduzierten Schadereignisse in den Schadereigniskategorien. Die Saisonen beziehen sich auf meteorologische Saisonen.

Schadereigniskategorie	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Wind-storm	313	235	419	224
Snow	280	56	1	50
Mudslide	12	18	94	44
Flooding	16	18	105	15
Flashflood	0	5	22	2
Avalanche	58	14	0	3
Falling-rock	29	18	11	10
<b>Gesamt</b>	<b>708</b>	<b>364</b>	<b>652</b>	<b>348</b>

Abbildung 8: Heatmap der wetterinduzierten Schadereignisse nach Schadereigniskategorien und Saisonen im Zeitraum von 1990-20190 entlang des Schienennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG. Meteorologische Saisonen: DJF = Winter; MAM = Frühling; JJA = Sommer; SON = Herbst.

In der folgenden Abbildung 9 wird die Anzahl der Schadensereignisse in den ASC-Standorten nach Schadereigniskategorie dargestellt (Anmerkung: Im Zuge der Verschneidung der Schadereignisdaten mit meteorologischen Beobachtungen wurden auch die Schadereigniskategorien *Icing* (Anzahl: 16 Schadereignisse zwischen 1990-2019), *Heat* (Anzahl: 13 Schadereignisse zwischen 1990-2019) detektiert. Diese Schadereignisse werden

aufgrund ihrer geringen Fallzahl jedoch nicht im Detail in diesem Kapitel ausgewertet). Die ASC-Standorte sind alphabetisch angeordnet, die Intensität des Farbtons gibt für jede Schadereigniskategorie an, in welchem ASC-Standort die Ereigniskategorie am häufigsten aufgetreten ist.

ASC-Standort	Avalanche	Falling-rock	Flashflood	Flooding	Mudslide	Snow	Wind-storm	Ereignisse ASC	Länge ASC	Ereignisdichte
	1990-2019	1990-2019	1990-2019	1990-2019	1990-2019	1990-2019	1990-2019	1990-2019	km	Ereignisse / km
Amstetten	1	0	0	3	3	5	26	38	225,46	0,17
Attnang	9	7	3	5	11	23	90	148	265,67	0,56
Bludenz	11	6	1	17	12	20	47	114	264,91	0,43
Bruck/Leitha	2	0	0	9	0	8	30	49	216,95	0,23
Floridsdorf	1	1	0	0	0	6	23	31	198,21	0,16
Gloggnitz	4	2	0	8	2	8	45	69	132,90	0,52
Graz	1	1	0	3	5	25	73	108	264,77	0,41
Innsbruck	6	7	0	3	9	24	19	68	135,02	0,50
Klagenfurt	2	4	1	8	9	26	88	138	329,56	0,42
Leoben	0	0	2	5	12	12	33	64	184,08	0,35
Linz Hbf	1	2	1	15	5	16	82	122	253,13	0,48
Linz Kleinmünchen	3	14	4	12	18	11	88	150	249,59	0,60
Meidling	0	0	0	1	0	9	31	41	150,25	0,27
Mistelbach	2	0	0	7	3	5	31	48	277,70	0,17
Salzburg	0	0	0	8	4	7	25	44	130,49	0,34
Selzthal	8	11	1	12	14	18	55	119	147,87	0,80
Sigmundsherberg	3	1	0	1	1	19	74	99	193,92	0,51
Spittal	5	3	3	5	14	18	25	73	173,46	0,42
St. Pölten	2	3	0	4	0	10	25	44	161,16	0,27
St.Johann i. P.	9	2	2	12	30	38	44	137	213,54	0,64
Tulln	0	0	0	3	2	3	29	37	188,69	0,20
Villach	5	2	0	0	1	30	27	65	150,84	0,43
Wels	0	1	6	2	4	5	50	68	244,57	0,28
Wien ZVBF	0	0	0	4	1	2	23	30	123,01	0,24
Wörgl	0	1	2	2	1	24	16	46	145,78	0,32
Wr. Neustadt	0	0	3	5	7	15	91	121	289,70	0,42
<b>Gesamt</b>	<b>75</b>	<b>68</b>	<b>29</b>	<b>154</b>	<b>168</b>	<b>387</b>	<b>1.190</b>	<b>2.071 von 2.099*</b>		

*\*Schadereigniskategorien Icing und Heat sind aufgrund ihrer geringen Fallzahl nicht ausgewiesen.*

Abbildung 9: Anzahl der Ereignisse in den ASC-Standorten nach Schadereigniskategorien von 1990-2019.

Abbildung 10 zeigt die ASC-Standorte jeweils absteigend sortiert nach den folgenden Größen:

- Größe der ASC-Standorte (kilometerbezogen: Anzahl der Streckenkilometer in der Region);
- Anzahl der in dem ASC-Standort aufgetretenen Schadereignisse (über alle Schadereigniskategorien);
- Höhe der ungefähr geschätzten Schadereigniskosten in Euro im ASC-Standort (über alle Schadereigniskategorien);
- Höhe der schlagend gewordenen Stunden an Streckenunterbrechung im ASC-Standort (über alle Schadereigniskategorien).

ASC-Standort	Länge ASC km	ASC-Standort	Ereignisse ASC 1990-2019	ASC-Standort	Kosten (€) 1990-2019	ASC-Standort	Strunt (h) 1990-2019
Klagenfurt	330	Linz Kleinmünchen	151	Bludenz	68.564.080	Linz Kleinmünchen	5.498
Wr. Neustadt	290	Attnang	149	St.Johann i. P.	14.824.818	Bludenz	4.878
Mistelbach	278	Klagenfurt	139	Attnang	8.605.640	St.Johann i. P.	3.998
Attnang	266	St.Johann i. P.	137	Selzthal	6.553.105	Attnang	2.947
Bludenz	265	Wr. Neustadt	123	Graz	6.137.422	Spittal	2.537
Graz	265	Linz Hbf	122	Klagenfurt	5.050.576	Selzthal	2.389
Linz Hbf	253	Selzthal	119	Leoben	4.644.762	Linz Hbf	2.162
Linz Kleinmünchen	250	Bludenz	117	St. Pölten	4.237.493	Klagenfurt	2.152
Wels	245	Graz	108	Linz Kleinmünchen	4.187.230	Innsbruck	2.030
Amstetten	225	Sigmundsherberg	99	Innsbruck	4.149.474	Graz	1.971
Bruck/Leitha	217	Spittal	74	Spittal	3.206.128	Amstetten	1.466
St.Johann i. P.	214	Innsbruck	71	Villach	1.430.400	St. Pölten	965
Floridsdorf	198	Gloggnitz	70	Wels	1.254.995	Mistelbach	840
Sigmundsherberg	194	Wels	69	Wr. Neustadt	1.110.149	Gloggnitz	745
Tulln	189	Villach	68	Wörgl	880.629	Wien ZVBF	584
Leoben	184	Leoben	64	Linz Hbf	589.870	Sigmundsherberg	508
Spittal	173	Bruck/Leitha	50	Gloggnitz	565.015	Villach	445
St. Pölten	161	Wörgl	50	Sigmundsherberg	433.892	Bruck/Leitha	442
Villach	151	Mistelbach	48	Mistelbach	258.213	Wels	338
Meidling	150	St. Pölten	47	Bruck/Leitha	249.097	Wr. Neustadt	309
Selzthal	148	Salzburg	44	Salzburg	185.320	Leoben	300
Wörgl	146	Meidling	41	Amstetten	176.931	Wörgl	186
Innsbruck	135	Amstetten	38	Wien ZVBF	138.990	Tulln	110
Gloggnitz	133	Tulln	37	Meidling	117.022	Salzburg	107
Salzburg	130	Floridsdorf	34	Floridsdorf	110.443	Meidling	98
Wien ZVBF	123	Wien ZVBF	30	Tulln	89.172	Floridsdorf	48
<b>Gesamt</b>	<b>5.311</b>		<b>2.099</b>		<b>137.750.869</b>		<b>38.042</b>

Abbildung 10: Vergleich der ASC-Standorte nach Größe, Anzahl der Ereignisse, Kosten und Streckenunterbrechungen.

Weiters werden die Schadereignishäufigkeiten in den ASC-Standorten für jede Schadereigniskategorie nach den meteorologischen Saisonen ausgewertet (siehe Abbildung 11 bis Abbildung 18).

Wind-storm 1990-2019: Anzahl Ereignisse (1.190 gesamt)

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Amstetten	9	4	6	7	26	225,46	0,12
Attnang	29	17	30	14	90	265,67	0,34
Bludenz	10	11	13	13	47	264,91	0,18
Bruck/Leitha	11	8	7	5	31	216,95	0,14
Floridsdorf	7	4	9	3	23	198,21	0,12
Gloggnitz	17	10	10	8	45	132,90	0,34
Graz	14	13	31	15	73	264,77	0,28
Innsbruck	2	6	5	6	19	135,02	0,14
Klagenfurt	11	17	41	19	88	329,56	0,27
Leoben	3	3	24	3	33	184,08	0,18
Linz Hbf	19	22	31	10	82	253,13	0,32
Linz Kleinmünchen	31	16	20	21	88	249,59	0,35
Meidling	7	7	10	7	31	150,25	0,21
Mistelbach	6	3	19	3	31	277,70	0,11
Salzburg	9	3	8	5	25	130,49	0,19
Selzthal	15	10	23	7	55	147,87	0,37
Sigmundsherberg	20	15	26	13	74	193,92	0,38
Spittal	10	3	4	8	25	173,46	0,14
St. Pölten	10	2	9	4	25	161,16	0,16
St.Johann i. P.	20	11	8	5	44	213,54	0,21
Tulln	5	5	8	11	29	188,69	0,15
Villach	2	9	12	4	27	150,84	0,18
Wels	13	10	18	9	50	244,57	0,20
Wien ZVBF	3	4	7	9	23	123,01	0,19
Wörgl	3	3	6	3	15	145,78	0,10
Wr. Neustadt	26	19	34	12	91	289,70	0,31
<b>Gesamt</b>	<b>312</b>	<b>235</b>	<b>419</b>	<b>224</b>	<b>1.190</b>		

Abbildung 11: Schadereignisse in der Kategorie Wind-storm differenziert nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen.

Die ASC-Standorte mit der höchsten Anzahl an Windsturmereignissen zwischen 1990 und 2019 sind Wr. Neustadt, Attnang, Klagenfurt, Linz Kleinmünchen, und Linz Hbf. Berücksichtigt man die Größe der ASC-Standorte (Anzahl der Streckenkilometer innerhalb des ASC-Standortes), so zeigen die ASC-Standorte Sigmundsherberg, Selzthal, Linz Kleinmünchen, Attnang und Gloggnitz die höchsten Ereignisdichten (Ereignisse/km) für Windsturmereignisse.

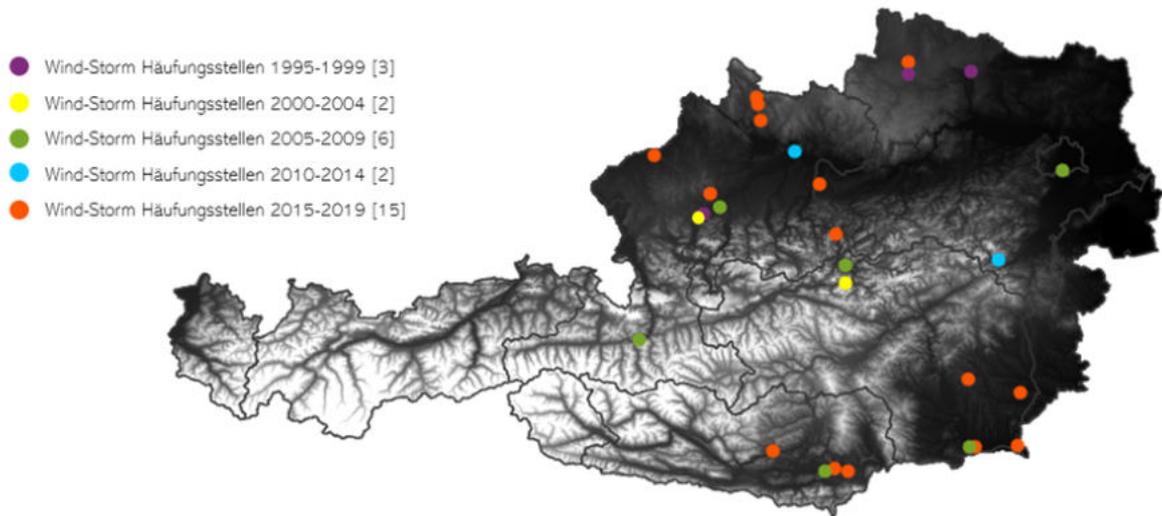


Abbildung 12: Häufungsstellen der Schadereigniskategorie Wind-Sturm entlang des ÖBB-Streckennetzes in Fünfjahresetappen. Eine Windsturm-Häufungsstelle ist definiert als mehr als drei Windsturm-Schadereignisse innerhalb von fünf Jahren innerhalb eines Streckenkilometers. Die Fünfjahresetappe von 2015 bis 2019 zeigt einen Sprung in der Anzahl der Häufungsstellen.

Die oben angeführte Abbildung 12 zeigt eine Auswertung von Windsturm-Häufungsstellen in Fünfjahresetappen. Eine Windsturm-Häufungsstelle ist definiert als mehr als drei Windsturm-Schadereignisse innerhalb von fünf Jahren innerhalb eines Streckenkilometers. Die Fünfjahresetappe von 2015 bis 2019 zeigt einen Sprung in der Anzahl der Häufungsstellen.

Es folgt die historische Ereignisbetrachtung von Schadereignissen der Kategorie *Snow*, welche in Abbildung 13 für die ASC-Standorte nach den meteorologischen Saisonen dargestellt ist. Die ASC-Standorte St. Johann im Pongau, Villach, Klagenfurt, Graz und Innsbruck verzeichnen absolut gesehen in der Vergangenheit die meisten Schadereignisse in Schadereigniskategorie *Snow*. Unter Berücksichtigung der Größe der ASC-Standorte (Anzahl der Streckenkilometer im ASC-Standort), zeigen die ASC-Standorte Villach, St. Johann im Pongau, Innsbruck, Wörgl und Selzthal die höchsten Ereignisdichten (Ereignisse/km) in der Kategorie *Snow*.

Snow 1990-2019: Anzahl Ereignisse (387 gesamt)

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Amstetten	5	0	0	0	5	225,46	0,02
Attnang	16	6	0	1	23	265,67	0,09
Bludenz	14	0	0	6	20	264,91	0,08
Bruck/Leitha	7	1	0	0	8	216,95	0,04
Floridsdorf	6	0	0	0	6	198,21	0,03
Gloggnitz	6	1	0	1	8	132,90	0,06
Graz	19	3	0	3	25	264,77	0,09
Innsbruck	18	3	0	3	24	135,02	0,18
Klagenfurt	14	10	0	2	26	329,56	0,08
Leoben	8	2	0	2	12	184,08	0,07
Linz Hbf	10	3	0	3	16	253,13	0,06
Linz Kleinmünchen	7	2	0	2	11	249,59	0,04
Meidling	5	4	0	0	9	150,25	0,06
Mistelbach	3	2	0	0	5	277,70	0,02
Salzburg	5	0	0	2	7	130,49	0,05
Selzthal	12	4	0	2	18	147,87	0,12
Sigmundsherberg	15	4	0	0	19	193,92	0,10
Spittal	12	1	0	5	18	173,46	0,10
St. Pölten	7	3	0	0	10	161,16	0,06
St.Johann i. P.	22	2	1	13	38	213,54	0,18
Tulln	3	0	0	0	3	188,69	0,02
Villach	26	2	0	2	30	150,84	0,20
Wels	4	0	0	1	5	244,57	0,02
Wien ZVBF	1	0	0	1	2	123,01	0,02
Wörgl	24	0	0	0	24	145,78	0,16
Wr. Neustadt	11	3	0	1	15	289,70	0,05
<b>Gesamt</b>	<b>280</b>	<b>56</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>387</b>		

Abbildung 13: Schadereignisse in der Kategorie Snow differenziert nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen.

Abbildung 14 zeigt die Häufigkeiten von Schadereignissen in der Kategorie *Mudslide* für die Jahre 1990 und 2019 nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen. In den ASC-Standorten St. Johann im Pongau, Linz Kleinmünchen, Spittal, Selzthal, Bludenz und Leoben sind absolut gesehen in der Vergangenheit am häufigsten *Mudslides* eingetreten. Berücksichtigt man die Größe der ASC-Standorte (Anzahl der Streckenkilometer im ASC-Standort), so zeigen die ASC-Standorte St. Johann im Pongau, Selzthal, Spittal, Innsbruck, Leoben und Linz Kleinmünchen die höchsten Ereignisdichten (Ereignisse/km).

Mudslide 1990-2019: Anzahl Ereignisse (168 gesamt)

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Amstetten	0	0	2	1	3	225,46	0,01
Attnang	1	1	5	4	11	265,67	0,04
Bludenz	0	1	5	6	12	264,91	0,05
Bruck/Leitha	0	0	0	0	0	216,95	0,00
Floridsdorf	0	0	0	0	0	198,21	0,00
Gloggnitz	0	0	2	0	2	132,90	0,02
Graz	0	2	2	1	5	264,77	0,02
Innsbruck	2	0	7	0	9	135,02	0,07
Klagenfurt	0	1	7	1	9	329,56	0,03
Leoben	0	0	11	1	12	184,08	0,07
Linz Hbf	0	2	1	2	5	253,13	0,02
Linz Kleinmünchen	3	5	7	3	18	249,59	0,07
Meidling	0	0	0	0	0	150,25	0,00
Mistelbach	0	0	3	0	3	277,70	0,01
Salzburg	0	0	3	1	4	130,49	0,03
Selzthal	0	1	10	3	14	147,87	0,09
Sigmundsherberg	0	0	1	0	1	193,92	0,01
Spittal	2	1	3	8	14	173,46	0,08
St. Pölten	0	0	0	0	0	161,16	0,00
St.Johann i. P.	3	2	15	10	30	213,54	0,14
Tulln	0	0	2	0	2	188,69	0,01
Villach	0	0	0	1	1	150,84	0,01
Wels	0	1	1	2	4	244,57	0,02
Wien ZVBF	1	0	0	0	1	123,01	0,01
Wörgl	0	0	1	0	1	145,78	0,01
Wr. Neustadt	0	1	6	0	7	289,70	0,02
<b>Gesamt</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>94</b>	<b>44</b>	<b>168</b>		

Abbildung 14: Schadereignisse in der Kategorie Mudslide differenziert nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen.

Schadereignisse der Kategorie *Flooding* (siehe Abbildung 15) kommen in der Vergangenheit in den ASC-Standorten Bludenz, Linz Hbf Linz Kleinmünchen, Selzthal und St. Johann im Pongau absolut gesehen am häufigsten vor. Berücksichtigt man die Größe der ASC-Standorte (Anzahl der Streckenkilometer im ASC-Standort), so zeigen die höchsten Ereignisdichten (Ereignisse/km) die ASC-Standorte Selzthal, Salzburg, Linz Hbf, Bludenz, St. Johann im Pongau und Gloggnitz.

**Flooding 1990-2019: Anzahl Ereignisse (154 gesamt)**

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Amstetten	0	0	3	0	3	225,46	0,01
Attnang	0	1	4	0	5	265,67	0,02
Bludenz	9	1	6	1	17	264,91	0,06
Bruck/Leitha	0	1	6	2	9	216,95	0,04
Floridsdorf	0	0	0	0	0	198,21	0,00
Gloggnitz	1	1	5	1	8	132,90	0,06
Graz	0	1	1	1	3	264,77	0,01
Innsbruck	2	0	1	0	3	135,02	0,02
Klagenfurt	0	2	3	3	8	329,56	0,02
Leoben	0	0	4	1	5	184,08	0,03
Linz Hbf	0	2	12	1	15	253,13	0,06
Linz Kleinmünchen	0	3	9	0	12	249,59	0,05
Meidling	0	0	1	0	1	150,25	0,01
Mistelbach	0	1	6	0	7	277,70	0,03
Salzburg	0	0	8	0	8	130,49	0,06
Selzthal	1	0	9	2	12	147,87	0,08
Sigmundsherberg	0	1	0	0	1	193,92	0,01
Spittal	1	1	1	2	5	173,46	0,03
St. Pölten	0	0	3	1	4	161,16	0,02
St.Johann i. P.	2	1	9	0	12	213,54	0,06
Tulln	0	1	2	0	3	188,69	0,02
Villach	0	0	0	0	0	150,84	0,00
Wels	0	0	2	0	2	244,57	0,01
Wien ZVBF	0	0	4	0	4	123,01	0,03
Wörgl	0	0	2	0	2	145,78	0,01
Wr. Neustadt	0	1	4	0	5	289,70	0,02
<b>Gesamt</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>105</b>	<b>15</b>	<b>154</b>		

Abbildung 15: Schadereignisse in der Kategorie Flooding differenziert nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen.

Die Häufigkeit von Schadereignissen in der Kategorie *Flashflood* ist in Abbildung 16 für die ASC-Standorte dargestellt. In der Vergangenheit ereigneten sich Schadereignisse der Schadereigniskategorie *Flashflood* vorwiegend in den ASC-Standorten Wels, Linz Kleinmünchen und Spittal, welche auch die höchsten Ereignisdichten (Ereignisse/km) innerhalb dieser Kategorie aufweisen.

Flashflood 1990-2019: Anzahl Ereignisse (29 gesamt)

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Amstetten	0	0	0	0	0	225,46	0,00
Attnang	0	1	2	0	3	265,67	0,01
Bludenz	0	0	1	0	1	264,91	0,00
Bruck/Leitha	0	0	0	0	0	216,95	0,00
Floridsdorf	0	0	0	0	0	198,21	0,00
Gloggnitz	0	0	0	0	0	132,90	0,00
Graz	0	0	0	0	0	264,77	0,00
Innsbruck	0	0	0	0	0	135,02	0,00
Klagenfurt	0	0	1	0	1	329,56	0,00
Leoben	0	0	2	0	2	184,08	0,01
Linz Hbf	0	0	1	0	1	253,13	0,00
Linz Kleinmünchen	0	2	2	0	4	249,59	0,02
Meidling	0	0	0	0	0	150,25	0,00
Mistelbach	0	0	0	0	0	277,70	0,00
Salzburg	0	0	0	0	0	130,49	0,00
Selzthal	0	0	1	0	1	147,87	0,01
Sigmundsherberg	0	0	0	0	0	193,92	0,00
Spittal	0	0	1	2	3	173,46	0,02
St. Pölten	0	0	0	0	0	161,16	0,00
St.Johann i. P.	0	0	2	0	2	213,54	0,01
Tulln	0	0	0	0	0	188,69	0,00
Villach	0	0	0	0	0	150,84	0,00
Wels	0	2	4	0	6	244,57	0,02
Wien ZVBF	0	0	0	0	0	123,01	0,00
Wörgl	0	0	2	0	2	145,78	0,01
Wr. Neustadt	0	0	3	0	3	289,70	0,01
<b>Gesamt</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>22</b>	<b>2</b>	<b>29</b>		

Abbildung 16: Schadereignisse in der Kategorie Flashflood differenziert nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen.

Die historische Schadereignisbetrachtung der ASC-Standorte für die Schadereigniskategorie *Avalanche* ist in Abbildung 17 dargestellt. Die ASC-Standorte Bludenz, Attnang, St. Johann im Pongau, Selzthal und Innsbruck verzeichnen in der Vergangenheit die häufigsten Schadereignisse in Zusammenhang mit *Avalanche*. Der ASC-Standort Selzthal zeigt in der Ereigniskategorie *Avalanche* die höchste Ereignisdichte (Ereignisse/km), gefolgt von den ASC-Standorten St. Johann im Pongau, Innsbruck, Bludenz, Villach, Spittal, Attnang und Gloggnitz.

Avalanche: Anzahl Ereignisse 1990-2019 (75 gesamt)

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Amstetten	1	0	0	0	1	225,46	0,00
Attnang	8	1	0	0	9	265,67	0,03
Bludenz	10	1	0	0	11	264,91	0,04
Bruck/Leitha	1	1	0	0	2	216,95	0,01
Floridsdorf	1	0	0	0	1	198,21	0,01
Gloggnitz	2	1	0	1	4	132,90	0,03
Graz	1	0	0	0	1	264,77	0,00
Innsbruck	5	1	0	0	6	135,02	0,04
Klagenfurt	1	1	0	0	2	329,56	0,01
Leoben	0	0	0	0	0	184,08	0,00
Linz Hbf	1	0	0	0	1	253,13	0,00
Linz Kleinmünchen	2	1	0	0	3	249,59	0,01
Meidling	0	0	0	0	0	150,25	0,00
Mistelbach	2	0	0	0	2	277,70	0,01
Salzburg	0	0	0	0	0	130,49	0,00
Selzthal	7	1	0	0	8	147,87	0,05
Sigmundsherberg	2	1	0	0	3	193,92	0,02
Spittal	2	1	0	2	5	173,46	0,03
St. Pölten	2	0	0	0	2	161,16	0,01
St.Johann i. P.	9	0	0	0	9	213,54	0,04
Tulln	0	0	0	0	0	188,69	0,00
Villach	1	4	0	0	5	150,84	0,03
Wels	0	0	0	0	0	244,57	0,00
Wien ZVBF	0	0	0	0	0	123,01	0,00
Wörgl	0	0	0	0	0	145,78	0,00
Wr. Neustadt	0	0	0	0	0	289,70	0,00
<b>Gesamt</b>	<b>58</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>75</b>		

Abbildung 17: Schadereignisse in der Kategorie Avalanche differenziert nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen.

Die historische Schadereignisbetrachtung der ASC-Standorte schließt mit der Schadereigniskategorie *Falling-rock*. Abbildung 18 zeigt die Häufigkeiten der *Falling-rock*-Ereignisse in den ASC-Standorten für den Betrachtungszeitraum 1990 bis 2019. Berücksichtigt man die Größe der ASC-Standorte (Anzahl der Streckenkilometer im ASC-Standort), so zeigen die ASC-Standorte Selzthal, Linz Kleinmünchen und Innsbruck die höchsten Ereignisdichten (Ereignisse/km) in der Ereigniskategorie *Falling-rock* auf.

**Falling-rock: Anzahl Ereignisse 1990-2019 (68 gesamt)**

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Amstetten	0	0	0	0	0	225,46	0,0
Attnang	2	1	4	0	7	265,67	0,0
Bludenz	1	3	1	1	6	264,91	0,0
Bruck/Leitha	0	0	0	0	0	216,95	0,0
Floridsdorf	1	0	0	0	1	198,21	0,0
Gloggnitz	0	0	0	2	2	132,90	0,0
Graz	0	1	0	0	1	264,77	0,0
Innsbruck	1	3	1	2	7	135,02	0,1
Klagenfurt	1	1	2	0	4	329,56	0,0
Leoben	0	0	0	0	0	184,08	0,0
Linz Hbf	1	1	0	0	2	253,13	0,0
Linz Kleinmünchen	6	5	0	3	14	249,59	0,1
Meidling	0	0	0	0	0	150,25	0,0
Mistelbach	0	0	0	0	0	277,70	0,0
Salzburg	0	0	0	0	0	130,49	0,0
Selzthal	8	1	1	1	11	147,87	0,1
Sigmundsherberg	0	0	1	0	1	193,92	0,0
Spittal	3	0	0	0	3	173,46	0,0
St. Pölten	2	0	1	0	3	161,16	0,0
St.Johann i. P.	0	1	0	1	2	213,54	0,0
Tulln	0	0	0	0	0	188,69	0,0
Villach	2	0	0	0	2	150,84	0,0
Wels	1	0	0	0	1	244,57	0,0
Wien ZVBF	0	0	0	0	0	123,01	0,0
Wörgl	0	1	0	0	1	145,78	0,0
Wr. Neustadt	0	0	0	0	0	289,70	0,0
<b>Gesamt</b>	<b>29</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>68</b>		

Abbildung 18: Schadereignisse in der Kategorie Falling-rock differenziert nach ASC-Standorten und meteorologischen Saisonen.

Um eine Einschätzung zu erhalten, welche ASC-Standorte in der Vergangenheit am stärksten von einer bestimmten Schadereigniskategorie betroffen waren, werden in der folgenden Abbildung die fünf am stärksten betroffenen ASC-Standorte für jede Ereigniskategorie dargestellt. Diese Einschätzung basiert auf dem Ranking der Ereignisdichten (Anzahl der Ereignisse 1900-2019 in der Schadereigniskategorie/Länge des ASC-Standortes in Streckenkilometern).

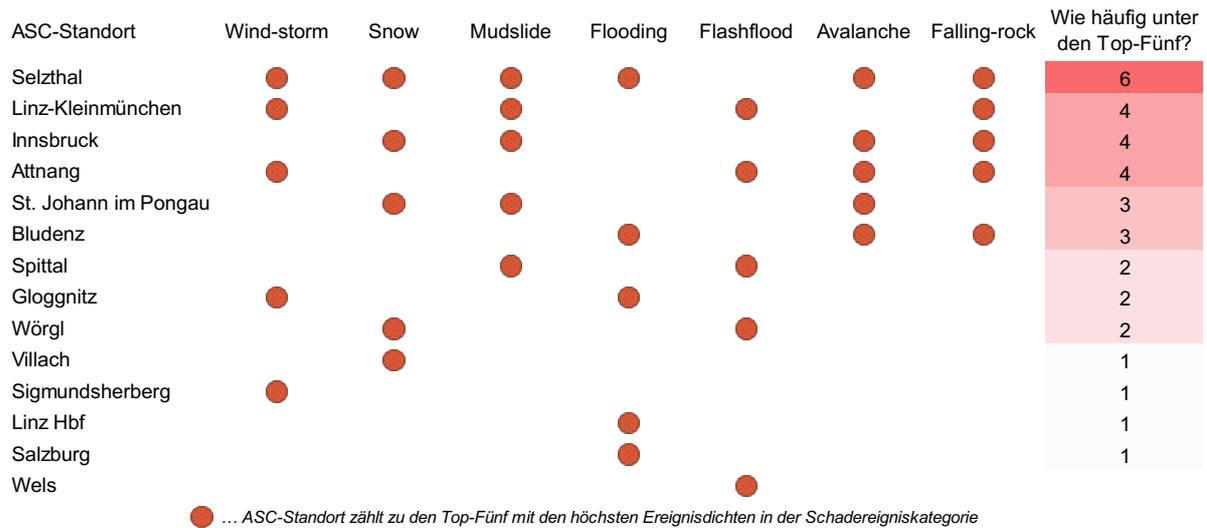


Abbildung 19: Darstellung der jeweils fünf am stärksten von einer Schadereigniskategorie betroffenen ASC-Standorte in der Vergangenheit (1990-2019). Diese Einschätzung resultiert aus einem Ranking der Ereignisdichten für jede Schadereigniskategorie über die ASC-Standorte. Ereignisdichte = Anzahl der Ereignisse 1900-2019 in der Schadereigniskategorie/Länge des ASC-Standortes in Streckenkilometern.

Die Auswertung der Ereignisdichten (Schadereignisse/km) zeigt, dass der ASC-Standort Selzthal in allen Ereigniskategorien ausgenommen *Flashflood* zu den fünf ASC-Standorten mit den jeweils höchsten Ereignisdichten zählt und somit in Anbetracht seiner Größe (Anzahl Streckenkilometer im ASC-Standort) den am stärksten betroffenen ASC-Standort der Vergangenheit darstellt. Dem ASC-Standort Selzthal folgen die ASC-Standorte Linz-Kleinmünchen, Innsbruck, Attnang und St. Johann im Pongau, Bludenz und Spittal, welche in mindestens drei Schadereigniskategorien zu den Top-Fünf mit den höchsten Ereignisdichten zählen. Wichtig ist dabei anzumerken, dass diese Einschätzung keinerlei Aussage zu den Intensitäten/der Amplitude der Ereignisse zulässt und von der Prämisse ausgeht, dass jedes Schadereignis die Sicherheit und Verfügbarkeit des Schienennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG beeinträchtigt.

## 4 WETTERINDUZIERTE GEFAHREN UND SCHADEREIGNISSE

### Begriffe:

- Climate Indices (CIs): bezeichnen die Empirischen Orthogonalfunktionen (EOF), die jeweils für eine Schadereigniskategorie ermittelt worden sind. Sie stellen somit die Wettersequenz der Eingangsprädiktoren, basierend auf maximaler Varianz, dar.

### 4.1 Kopplung des Ereignisraumes an die Wetterbeobachtungen

Die standardisierte und geocodierte clim\_ect-Schadereignisdatenbank wurde mit Hilfe der Programmiersprache Python und darin codierten Verfahren auf mehrerlei Hinsicht weiterverarbeitet. Eingangs wurden Mehrfacheinträge eliminiert, um eine eindeutige Schadereignisbasis zu erhalten. Diese Basis wurde mit meteorologischen Daten (SPARTACUS, gegitterte Daten mit 1km Auflösung für 24h-Niederschlag und Minimumtemperatur auf Tagesbasis) verschnitten, um darauf aufbauend die Klimaindikatoren (Climate Indices, CIs) detektieren zu können. Die verschnittenen Daten wurden weiters auf physikalische Plausibilität geprüft, sowie deren Charakteristik beurteilt. Einige Kategorien wurden seitens der Datenaufzeichnung nicht nach physikalischer Kausalität unterteilt. Hierfür konnte dank der Verschneidung für einen substantiellen Anteil eine eindeutige Schadereigniskategorie gefunden werden (Ausgangskategorie der ÖBB-Originalaufzeichnung, z.B.: Mure, Geröll, Felssturz als eine Kategorie, Schema der konsistenten Kategorisierung siehe Abbildung 20). Es wurden auch Meldungen von Schadereignissen abgegeben, welche nicht adäquat einer kausalen Ursache zugeteilt werden konnten. Eine vollständige Übersicht ist in Abbildung 21 zu sehen. Die Anzahl der gemeldeten Schadereignisse ist nach der Elimination von Mehrfachmeldungen von 2.802 auf 2.333 gesunken. Dieser Anteil lässt sich dadurch erklären, dass für die weitere Verwendung der Daten nur das aufgetretene physikalische Ereignis relevant ist, in den Daten jedoch von einem Schadereignis verursachte Störungen mehrfach eingetragen wurden (z.B.: Beschädigung Gleiskörper, Fuhrmaschine, Waggon etc. durch ein Wetterereignis resultiert in mehreren Einträgen bedingt durch ein einziges Event). Durch eine auf kausale Plausibilität gestützte Qualitätskontrolle reduzieren sich die verwendbaren Schadereignisse weiters auf 2.099 (Abbildung 21, *Total events minus Non-meteorologic und Unknown cause*).

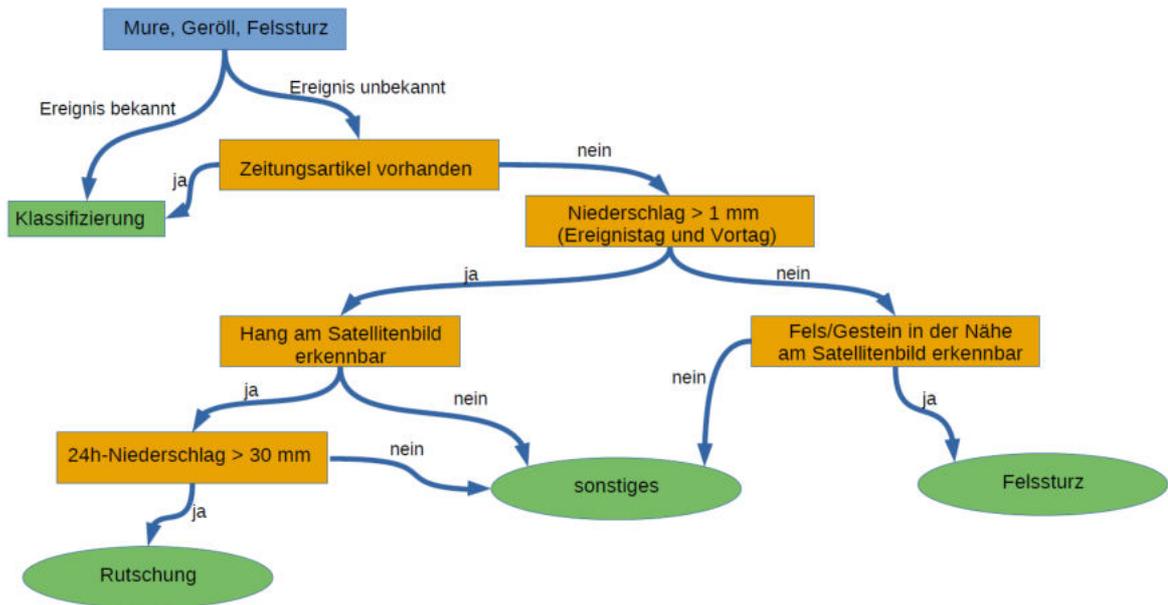


Abbildung 20: Schema zum Überführen der Ausgangskategorie der Rohdaten „Mure, Geröll, Felssturz“ in zwei physikalisch unterschiedliche Kategorien „Rutschung“ (*Mudslide*) und „Felssturz“ (*Falling-rock*)

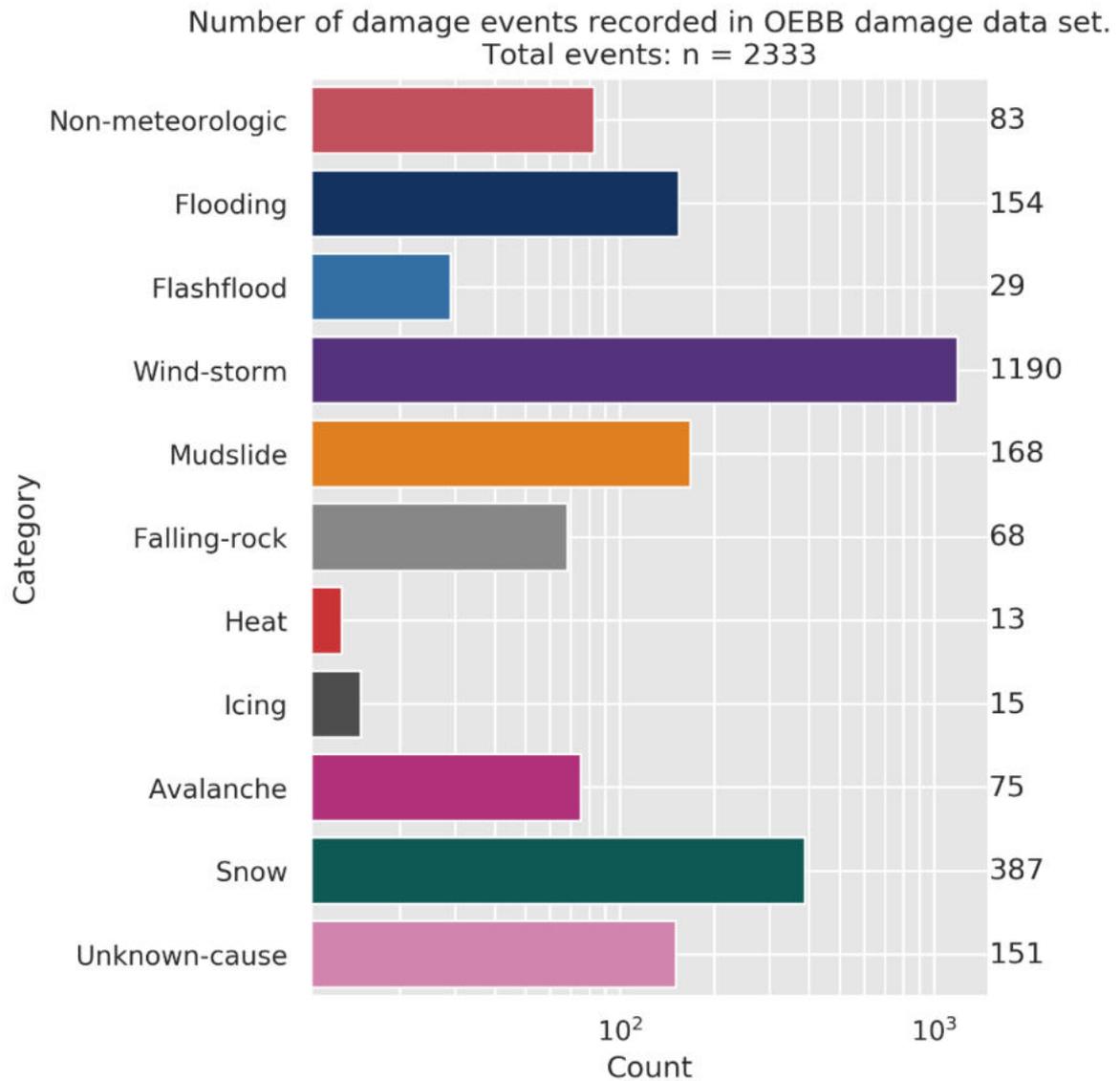


Abbildung 21: Unterteilung der verzeichneten Schadereignisse (logarithmische Skala). Non-meteorologic bezeichnet Ereignisse, die aufgrund der Beschreibung innerhalb des Datensatzes eindeutig eine nicht-meteorologische Ursache aufweisen. Unknown-cause bezeichnet Ereignisse, für welche keine eindeutige Ursache gefunden werden konnte.

Die Kategorien in Abhängigkeit zur Dauer der Streckenunterbrechung sind in Abbildung 22 zu sehen. Darüber können Rückschlüsse auf die darauffolgenden ökonomischen Kosten der Unterbrechung getätigt werden (im statistischen Sinne), bzw. wie diese sich potentiell auf Basis der Klimaprojektionen entwickeln könnten.

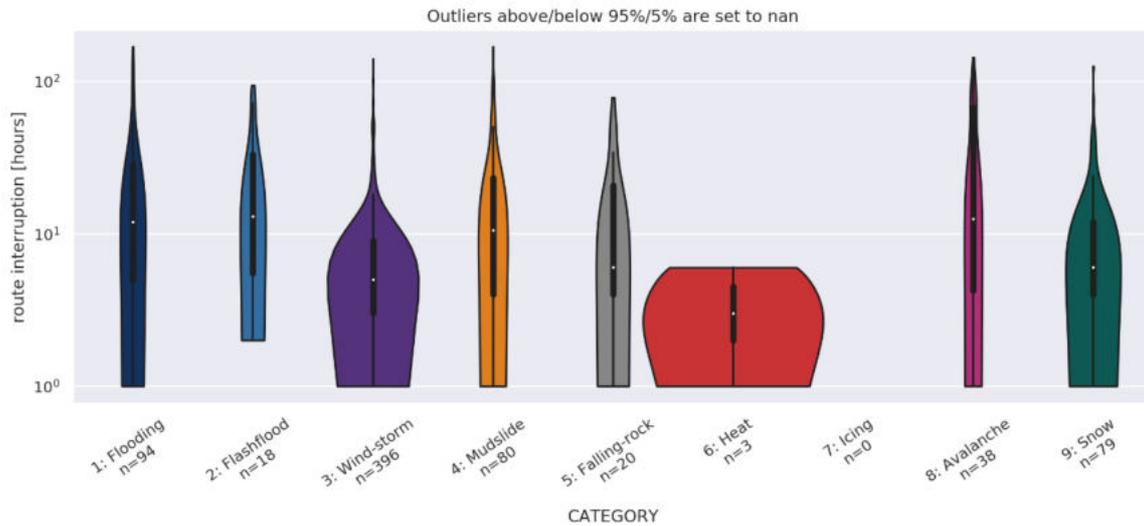


Abbildung 22: Violinplot der Streckenunterbrechungsdauer für die jeweiligen Schadereigniskategorien (logarithmische Skala). Ein markanter Unterschied ist in den Medianen zu sehen. *Wind-storm*, *Mudslide* und *Snow* führen öfters zu Unterbrechungen von > 10 h, als z.B. *Flooding*, *Falling-rock* und *Heat*, für welche der Median zum Teil deutlich unter den 10 h liegt. Extreme Ausreißer wurden je Kategorie für diese Darstellung entfernt (<5tes, sowie >95stes Perzentil). Weiters liegen für einige Kategorien nur geringe Datenmengen für die Länge der Streckenunterbrechung vor (*Flashflood*, *Falling-rock*, *Heat*, *Icing*), weswegen davon auszugehen ist, dass für diese Kategorien die dargestellte Verteilung mit Unsicherheiten behaftet ist.

Eine Aufteilung der Schadereignisse auf Jahre ist in Abbildung 23 für den ganzjährigen und Abbildung 24 für den saisonalen Fall zu sehen. Während das dominanteste Schadereignis mit *Wind-storm* keine starken saisonalen Schwankungen aufzeigt, führen erwartungsgemäß die schnee-bedingten Ereignisse zu einer kumulativen Häufung der Schadereignisse insgesamt in den Wintermonaten. Diese weisen in etwa **30%** mehr Ereignisse auf als in den anderen Saisonen.

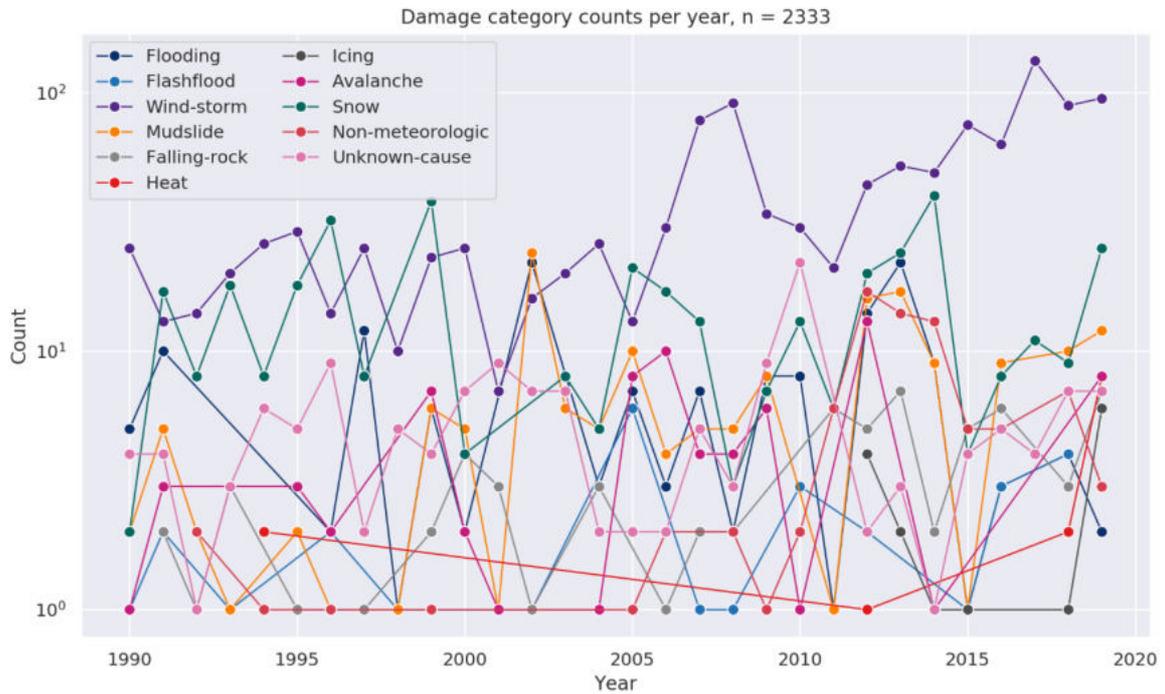


Abbildung 23: Anzahl der Schadereignisse je Kategorie und Jahr (logarithmische Skala)

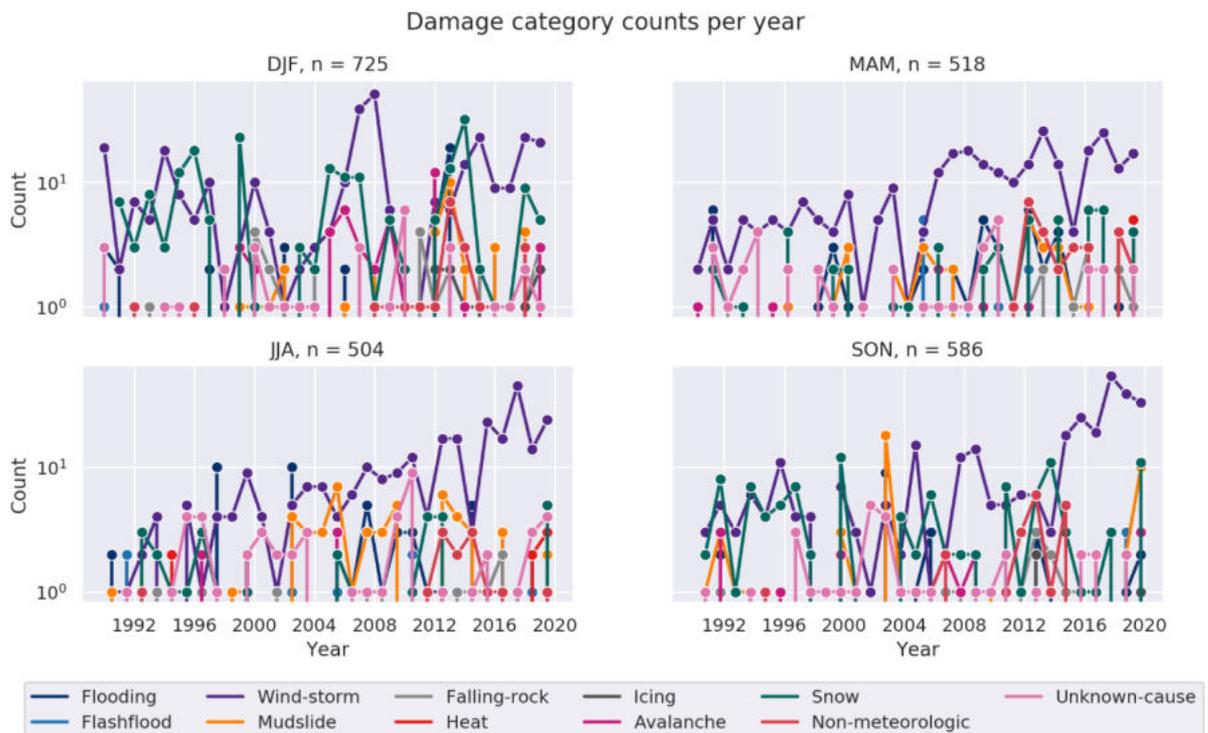


Abbildung 24: Anzahl der Schadereignisse pro meteorologische Saison je Kategorie und Jahr (logarithmische Skala). DJF = Winter, MAM=Frühling, JJA=Sommer und SON=Herbst.

Ausgehend von den analysierten Schadereignisdaten, können die folgenden Kategorien weiterverarbeitet werden: 1) *Flooding*, 2) *Wind-storm*, 3) *Mudslide*, 4) *Falling-rock*, 5) *Snow*. Für *Flashflood*, *Heat* und *Icing* liegen aus den aktuellen Daten zu wenig Ereignisse vor, um statistisch robuste Aussagen zu tätigen. Für *Avalanche* sind die eingetragenen Ereignisse zu unsicher, was die Kausalität betrifft (basierend auf den Notizen der Originalmeldungen).

Als weitere Anmerkung für die darauf aufbauende Arbeit sei noch zu erwähnen, dass eine regionspezifische Unterteilung vorsichtig durchgeführt und jedenfalls validiert werden muss, da bei zu großer Unterteilung die Anzahl der Ereignisse je Region keine robuste statistische Aussage mehr zulässt.

Vor allem im Falle der *Falling-rock*-Kategorie ist die Verteilung der Schadereignisse in Höhenklassen interessant, da eine maßgebliche Ursache Frost-Tau-Wechsel ist und diese aufgrund der temperaturbedingten Unterschiede zwischen Flachland und Gebirge zu zeitlichen Inhomogenitäten führen kann. Sprich im Gebirge können Frost-Tau-Wechsel insgesamt während einer längeren Zeitperiode als im Flachland auftreten. Dieser Umstand muss eventuell in der statistischen Auswertung mit den Climate Indices (CIs) berücksichtigt werden. Allerdings ist aufgrund der Anzahl an Schadereignissen auch zu beachten, dass eine gewisse Anzahl an Datenpunkten benötigt wird, um robuste Ergebnisse zu erzielen. In Abbildung 25 ist die Hypsometrie für Österreich (aus einem digitalen Geländemodell), für die ÖBB-Gleise und für die *Falling-rock* Schadereignisse zu sehen.

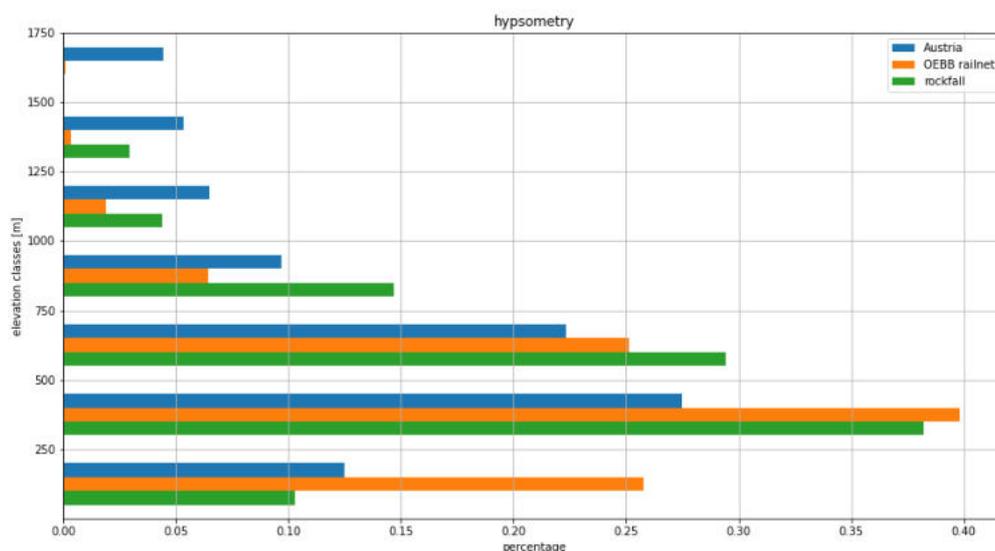


Abbildung 25: Hypsometrie von Österreich (DEM), ÖBB-Gleisen und *Falling-rock*-Schadereignissen.

Der gekoppelte Datensatz (im Folgenden als ‚event space‘ referenziert) wurde in tabellarischer Form erstellt und liegt in Form von .csv-Files vor. Ein Auszug ist in Tabelle 7 für die konkreten Datenwerte und Tabelle 8 für die zugehörigen Zeitstempel zu sehen. Diese Daten liegen für alle fünf Kategorien und den entsprechend zu testenden Prädiktanden vor, die für die Berechnung der Climate Indices (CIs) notwendig sind (siehe Sektion 4.2 für die Validierung des CI-Modells und die Wahl der Prädiktanden).

Enthalten sind dabei immer normalisierte Anomaliewerte (Wert minus Mittelwert und dividiert durch Standardabweichung), bezogen auf den vollständigen Datensatz, da dies für die Berechnung der *Empirischen Orthogonalfunktionen* (EOF) im Folgenden notwendig ist. Die Verwendung von normalisierten Anomalien ist notwendig, da ansonsten in der multivariaten statistischen Analyse Fehler entstehen (systematische Unterschiede zwischen zwei Feldern führen zu einer zu starken Gewichtung für eine Variable bzw. zu schwachen Gewichtung der anderen).

Falling-rock Event ID	TD-7	TD-6	TD-5	TD-4	TD-3	TD-2	TD-1	TD-0
1991003	-0.256	0.124	-0.484	0.168	-0.550	-0.509	-0.499	-0.591

Tabelle 7: Beispiel zu den gekoppelten Daten. Kategorie: *Falling.rock*; Variable: normalisierte Niederschlagsanomalie; TD steht für *Target Day*, wobei TD-0 den Ereignistag laut Schadensaufzeichnung darstellt. Die Anzahl der Zeilen insgesamt entspricht der Anzahl der aufgezeichneten und qualitätskontrollierten Schadereignisse je Kategorie.

Falling-rock Event ID	TD-7	TD-6	TD-5	TD-4	TD-3	TD-2	TD-1	TD-0
1991003	1991-01-01	1991-01-02	1991-01-03	1991-01-04	1991-01-05	1991-01-06	1991-01-07	1991-01-08

Tabelle 8: Beispiel zu den gekoppelten Daten. Darstellung der korrespondierenden Zeitstempel zu Tabelle 7.

## 4.2 CI-Detektion und Leistungsbewertungsverfahren codiert und getestet

Die multivariate Analyse in Form von *Empirischen Orthogonalfunktionen* (EOFs) wurde mittels eines algebraisch äquivalenten *Singular-Vector-Decomposition*-Algorithmus durchgeführt. Dies ist inklusive der dafür notwendigen Präparierung der Eingangsdaten in Python programmiert und liegt als Git-versionskontrolliertes Repository in Gitlab vor. In Abbildung 26 ist ein schematisches Flussdiagramm der Routine zur Berechnung der Climate Indices (CIs) zu sehen. Die einstellbaren Parameter des Modells stellen die Freiheitsgrade dar. Dies sind, neben der Wahl der meteorologischen Prädiktanden, die Anzahl der EOFs, sowie die Länge der Zeitperiode.

Im darauffolgenden Schritt wird die Eventmatrix erstellt bzw. geladen (falls diese bereits erstellt wurde), welche zeilenweise die jeweiligen Ereignisse repräsentiert. Dies stellt den bereits erwähnten ‚*event space*‘ bzw. die gekoppelten Datensätze dar. Dabei sind die einzelnen Einträge normalisierte Anomaliewerte bezogen auf den vollständigen Datensatz. Räumlich wird hierbei von dem zum aufgezeichneten Schadereignis nächstgelegenen Gitterpunkt und den vier zugehörigen benachbarten Gitterpunkten der Mittelwert gebildet. Dies wird für alle Ereignisse aus dem Datensatz durchgeführt, für alle relevanten Zeitpunkte (Ereignistag und die entsprechende Zeitperiode vor dem Ereignistag). Dies stellt den rohen gekoppelten Datensatz dar, von welchem die bereits erwähnten normalisierten Anomalien berechnet werden.

Im nächsten Schritt werden die EOFs berechnet, wobei die zeitlichen Verläufe dann die Climate Indices (CIs) und die Hauptkomponenten der EOFs die entsprechenden Amplituden zugehörig zu einem Ereignis darstellen. Für *Flooding*, *Wind-storm*, und *Mudslide* wird eine univariate EOF-Analyse gerechnet (i.e., nur von einer Variablen abhängig), für *Falling-rock* und *Snow* eine multivariate (i.e., von zwei Variablen abhängig).

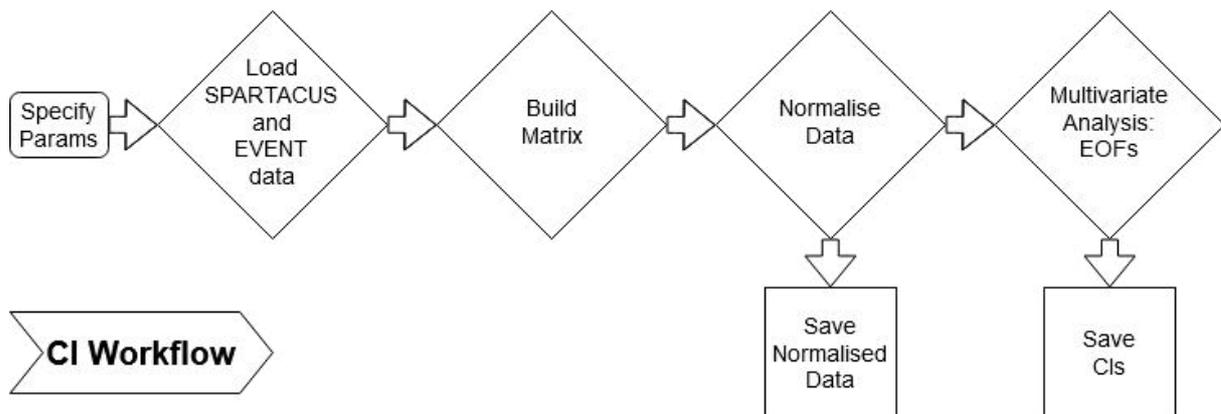


Abbildung 26: Schematisches Flussdiagramm zur Validierung des CI-Modells.

Eine optimale Parameterwahl für das CI-Modell kann über Validierungsverfahren ermittelt werden. Das hierfür verwendete Schema ist in Abbildung 27 zu sehen. Dabei wird aufgrund der überschaubaren Anzahl an Ereignissen ein Bootstrap-Algorithmus verwendet. Der Validierungsablauf gliedert sich in:

1. Berechnung Basiszustand mit allen Eingangsdaten
2. Split der Eingangsdaten (80% für Training, 20% für Test)
3. EOF-Berechnung mittels Trainingsdaten
4. Berechnung der projizierten Hauptkomponenten der Testdaten
5. Berechnung verschiedener Validierungsmetriken
6. Wiederhole Schritt 2-5 für jede Bootstrapiteration (~1.000-5.000 Iterationen insgesamt)

Die verschiedenen, möglichen Freiheitsgrade des gesamten Modells werden damit variiert und validiert, um die möglichst optimalen Parametereinstellungen für alle Kategorien zu finden. Weiters, um die Modellgüte zu überprüfen, wird der Validierungsablauf für zufällige Daten wiederholt. Dabei werden anstatt des Testdatensatzes zufällig ausgewählte Tage verwendet, um die projizierten Hauptkomponenten zu berechnen. Der Vergleich der Validierungsmetriken zwischen den korrekten Testdaten und den zufällig gewählten Daten erlaubt die Aussagekraft des Modells zu bewerten. Ein Auszug der Ergebnisse der Validierung ist in Abbildung 28 zu sehen. Dabei ist der normalisierte *Root Mean Square Error* (RMSE) für alle Kategorien der Testdaten (jeweils linke Spalte) und der Zufallsdaten (jeweils rechte Spalte) angegeben. Normalisiert wurde über die Werte des Basiszustandes, welcher aus allen Eingangsdaten berechnet wurde. Je höher der normalisierte RMSE, desto schlechter die Performance. In den Zeilen sind die jeweiligen Modellparameter in der Form „Zeitperiode/Anzahl an EOFs“ angegeben. Für alle Kategorien sowie Modellkonfigurationen ist der Mehrwert des Modells eindeutig erkennbar, da Zufallsdaten deutlich höhere RMSE Werte aufweisen, als die Testdaten.

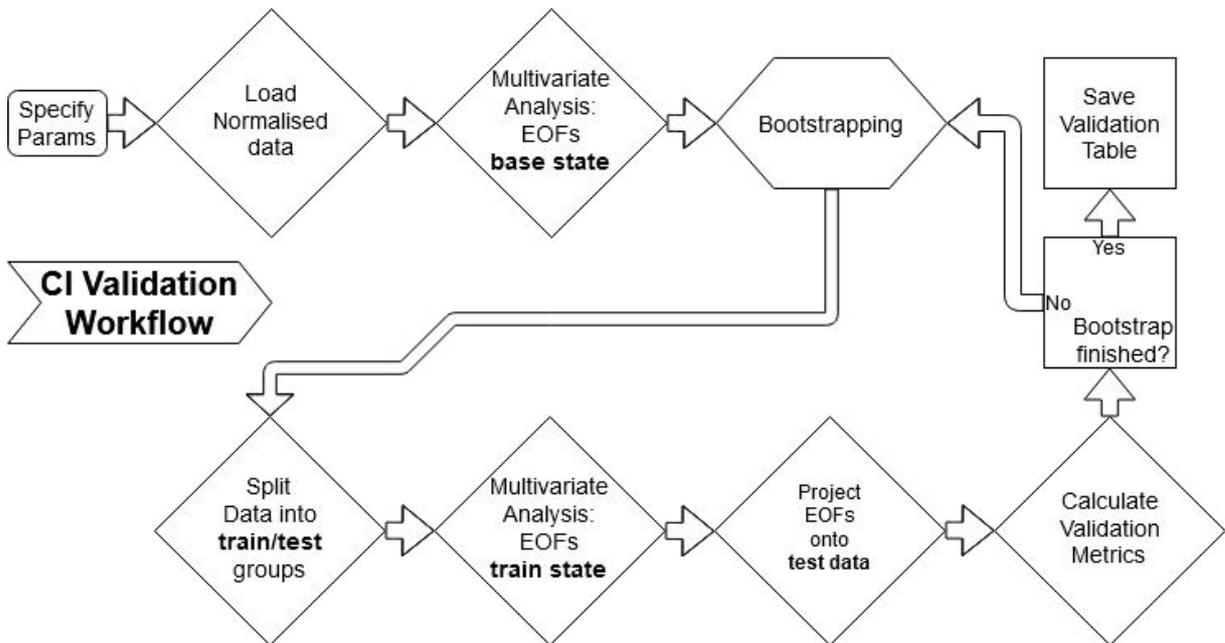


Abbildung 27: Schematisches Flussdiagramm zur Validierung des CI-Modells.

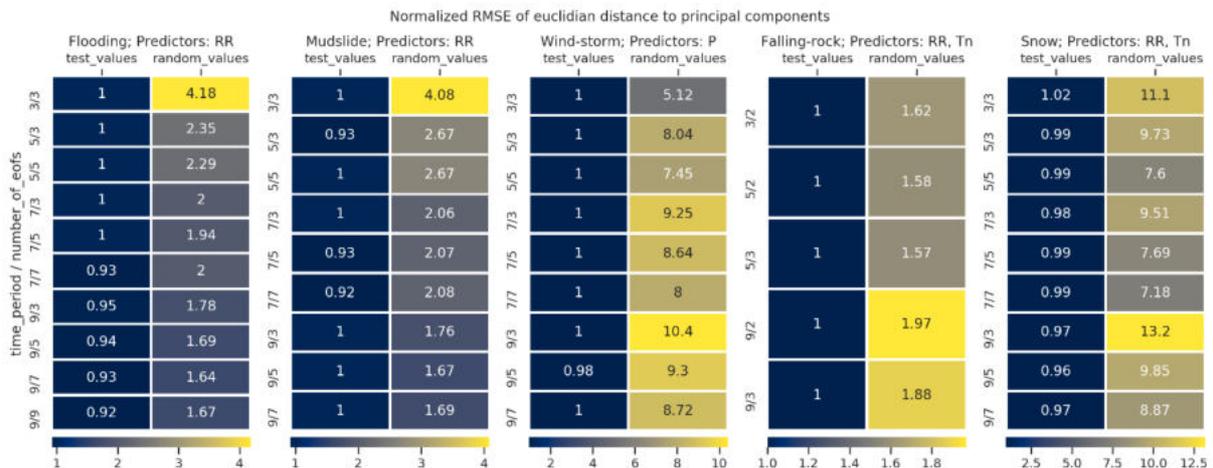


Abbildung 28: Auszug aus den Validierungstabellen für das CI-Modell. Gezeigt ist der normalisierte Root Mean Square Error RMSE. Detailbeschreibung im Fließtext.

Die für die weitere Verwendung des Modells gewählten Parameter sind in Tabelle 9 zu finden. Diese wurden basierend auf den Validierungsergebnissen sowie auf Erkenntnissen von Enigl et al. (2019) ausgewählt. Da eine potentielle Vorbelastung eingefangen werden soll und die Wahl der Zeitperiode keine großen Auswirkungen hat (gemäß der Validierung), wird dieser Parameter für alle Kategorien auf 7 Tage gesetzt. Die Wahl der Anzahl der EOFs wird ebenfalls für alle Kategorien auf einen Wert gesetzt, da hierbei die Trennschärfe zwischen Testdaten und Zufallsdaten am deutlichsten ausgeprägt ist (ebenso gemäß Validierung). Für die Wahl

der Parameter wurden je nach Kategorie verschiedene Parameterpaare getestet. Für die beiden, hauptsächlich durch Niederschlag getriebenen, Kategorien *Flooding* und *Mudslide* wurde nach Enigl et al. (2019) der täglich akkumulierte Niederschlag (RR) verwendet. Da es in der notwendigen Form keine Daten zu Windgeschwindigkeiten gibt, wird als proxy für die Kategorie *Wind-storm* der Luftdruck an Stationen verwendet. Für *Falling-rock* und *Snow* wurden Minimumtemperatur, Maximumtemperatur, mittlere Temperatur, 24h-Niederschlag und Kombinationen daraus getestet. Für beide Kategorien stellt die Kombination, Minimumtemperatur und 24h-Niederschlag als multivariate EOF die beste Parameterwahl dar.

Parameter/Kategorie	Flooding	Mudslide	Wind-Storm	Falling rock	Snow
Zeitperiode [Tage]	7	7	7	7	7
Anzahl an EOFs	3	3	3	3	3
Prädiktoren	RR	RR	P	Tn, RR	Tn, RR

Tabelle 9: Gewählte Parameterwahl des CI-Modells pro Kategorie. RR=24h Niederschlag, P=Luftdruck, Tn=Minimumtemperatur.

Aufgrund der überschaubaren Anzahl der vorliegenden Schadereignisse wurde keine Regionalisierung (siehe Enigl et al. (2019)) durchgeführt. Die programmierten Routinen sind in Form von Gitlab-Repositories dokumentiert und archiviert.

### 4.3 Vollständig berechnete Climate Indices für alle Kategorien

Aus den gekoppelten Datensätzen und der, mit der Validierung gefundenen, Parameterwahl können nun die Climate Indices (CIs) für jede Schadereigniskategorie vollständig berechnet werden. Bei der Interpretation der EOFs ist wichtig, dass der Nullpunkt dieser den Schwerpunkt aus den Ursprungsdaten darstellt und die Richtung irrelevant ist. Das bedeutet, dass EOF-Muster auch um die Nulllinie herumgespiegelt interpretiert werden können.

#### 4.3.1 Flooding

Für die Berechnung der *Flooding*-CIs wurden 154 Schadereignisse entlang des ÖBB-Schienennetzes verwendet. Die zugehörigen CIs sind in Abbildung 29 zu sehen. In der linken Hälfte sind die EOFs im T-mode zu sehen, welche das zeitliche Wettermuster angeben, welches vor dem Schadereignis stattgefunden hat. In der Legende sind die erklärten Varianzen der EOF-Muster zu sehen, wobei die erste EOF eine erklärte Varianz von 25.9 %, die zweite 21.8 % und die dritte 14.7 % aufweisen. Addiert ergeben sich 62.1 % erklärter

Varianz durch diese drei EOFs. Die Interpretation deckt sich mit vorangehenden Arbeiten (Enigl et al. 2019), wonach zwei wichtige Komponenten relevante Trigger für Flooding Ereignisse darstellen: 1) ausreichend Vorbefeuchtung, sowie 2) Niederschlag am Ereignistag und/oder den Tagen zuvor. Ersteres ist durch die erste EOF zu sehen, wobei die Magnitude über den Zeitraum in etwa gleichbleibt. Zweiteres weist zwei unterschiedliche Formen aus. In der in der Abbildung dargestellten Form ist durch die zweite und dritte EOF an vier bis sechs Tagen vor dem Ereignis ein markanter Niederschlag zu verzeichnen, welches durch zusätzlichen Niederschlag (EOF 2) am Ereignistag zu einem getriggerten Ereignis führt. In der gespiegelten Form ist durch die zweite und dritte EOF vor allem an den Tagen 1 bis 3 vor dem Ereignis und dem Ereignistag mit Niederschlag zu rechnen.

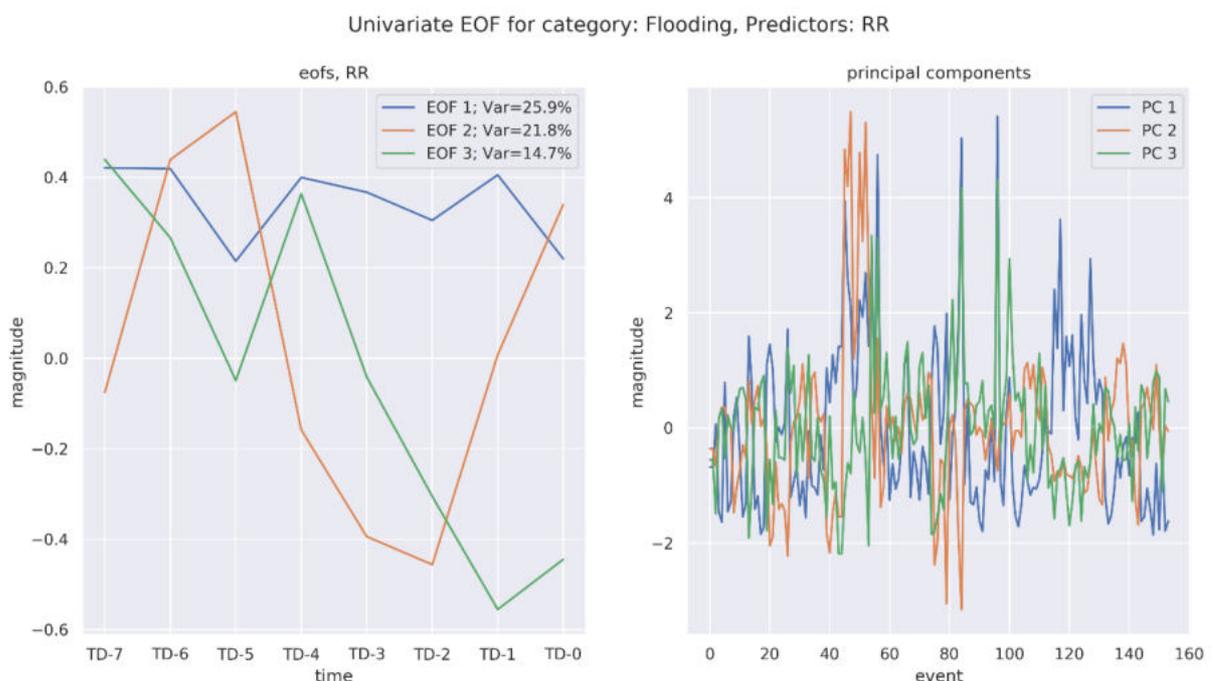


Abbildung 29: Flooding-Climate-Indices berechnet aus 24h-Niederschlag für die Schadereignisdaten entlang des ÖBB-Schiennetzes. Links sind die EOFs im T-mode mit den erklärten Varianzen zu sehen. Die Zeit auf der x-Achse ist in Target Day (TD) minus Lag (Einheit: Tage) angegeben, wobei TD-0 dem Ereignistag entspricht. Rechts sind die zu den einzelnen Ereignissen zugehörigen Principal Components zu sehen.

### 4.3.2 Mudslide

Für die Berechnung der *Mudslide*-CIs wurden 168 Schadereignisse verwendet. Die berechneten CIs sind in Abbildung 30 zu sehen. Diese geben ein im Grunde ähnliches, aber doch leicht differenziertes Bild zu dem der *Flooding*-CIs ab. Die erklärten Varianzen sind mit 25.7 %, 18.9 % und 15.7 %, für die erste, zweite und dritte EOF respektive, was addiert 60.3 % ergibt, ähnliche Werte wie jene der *Flooding*-CIs. Die erste EOF spiegelt die Vorbefeuchtung

wider, aber im Gegenzug zu *Flooding*, wo die Magnitude in etwa gleichbleibt, findet sich bei *Mudslide* eine leichte Zunahme/Abnahme (je nach Spiegelung) zum Ereignistag hin. Die zweite und dritte EOF lassen sich ebenfalls in zwei Fälle unterteilen. In dem in der Abbildung gezeigten Fall ist durchgehender Niederschlag vom Ereignistag bis zu 5 Tagen vor dem Event zu erkennen. In dem gespiegelten Fall dominiert der Niederschlag 5 bis 7 Tage vor dem Ereignis, mit geringerem Niederschlag am Ereignistag, sowie 4 Tage vor dem Ereignis.

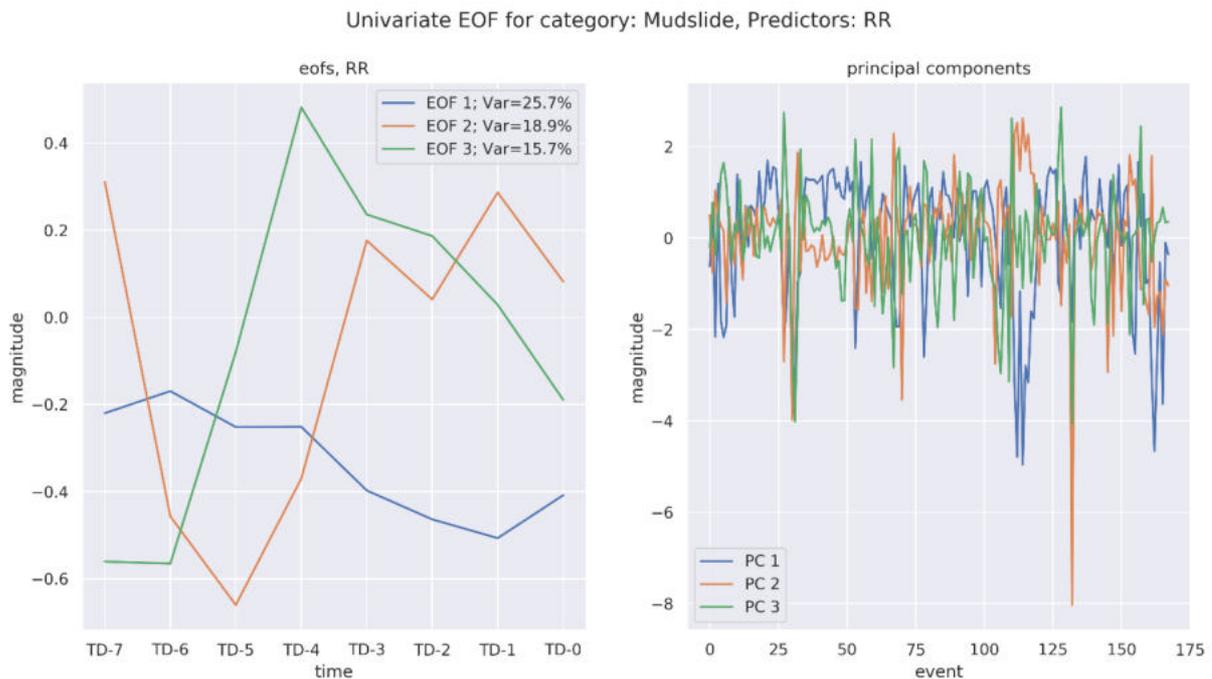


Abbildung 30: Mudslide-Climate-Indices berechnet aus 24h-Niederschlag für die Schadereignisdaten entlang des ÖBB-Schiennetzes. Darstellung gleich wie Abbildung 29.

### 4.3.3 Wind-storm

Für *Wind-storm* CIs wurden 1.190 Schadereignisse verwendet. Hierfür musste die Berechnung der CIs abgeändert werden, da keinerlei entsprechende Gitterdatensätze zu z.B. Windgeschwindigkeit vorliegen. Anstatt dessen wurden Luftdruckdaten von Stationen verwendet. Für ein Ereignis wurden die 10 am nächsten liegenden Stationen verwendet. Dabei wurde der gemessene Luftdruck auf die durchschnittliche Höhe dieser 10 Stationen reduziert und von diesem dann die Standardabweichung berechnet. Diese Standardabweichung stellt den Prädiktanden für die *Wind-storm*-CIs dar. Die Muster sind in Abbildung 31 zu sehen. Hierbei betragen die erklärten Varianzen 39.1 %, 18 % und 14.2 %, für die erste, zweite und dritte EOF respektive. Gesamt ergibt sich 71.3 % an erklärter Varianz durch die ersten drei EOFs. Die erste EOF lässt sich als eine Zunahme der Standardabweichung hin zum

Ereignistag interpretieren. Dies kann z.B. ein sich annäherndes Tiefdrucksystem sein, welches bei einigen Stationen bereits spürbar, bei anderen jedoch noch nicht spürbar ist. Dadurch nimmt die Standardabweichung und ebenfalls der räumliche Gradient zu, wodurch höhere Windgeschwindigkeiten physikalisch plausibler werden und das Potential für Windböen zunehmen kann. Bei der zweiten und dritten EOF ist die gespiegelte Variante, der in der Abbildung zu sehender Form, die vermutlich eher eintretende, da Windschäden meist direkt mit erhöhter Windgeschwindigkeit bzw. starken Windböen auftreten und die zweite und dritte EOF diese in dem Zeitraum vom Ereignistag bis 2 Tage davor abbilden. Grundsätzlich wäre es jedoch auch möglich, dass Windböen Tage vor dem Ereignistag eine Vorbelastung darstellen und eine vulnerable Stelle so beeinträchtigen, dass keine lokalen Windspitzen für die Triggerung von Schadereignissen notwendig sind. Dies stellt jedoch die Ausnahme und nicht die Regel dar.

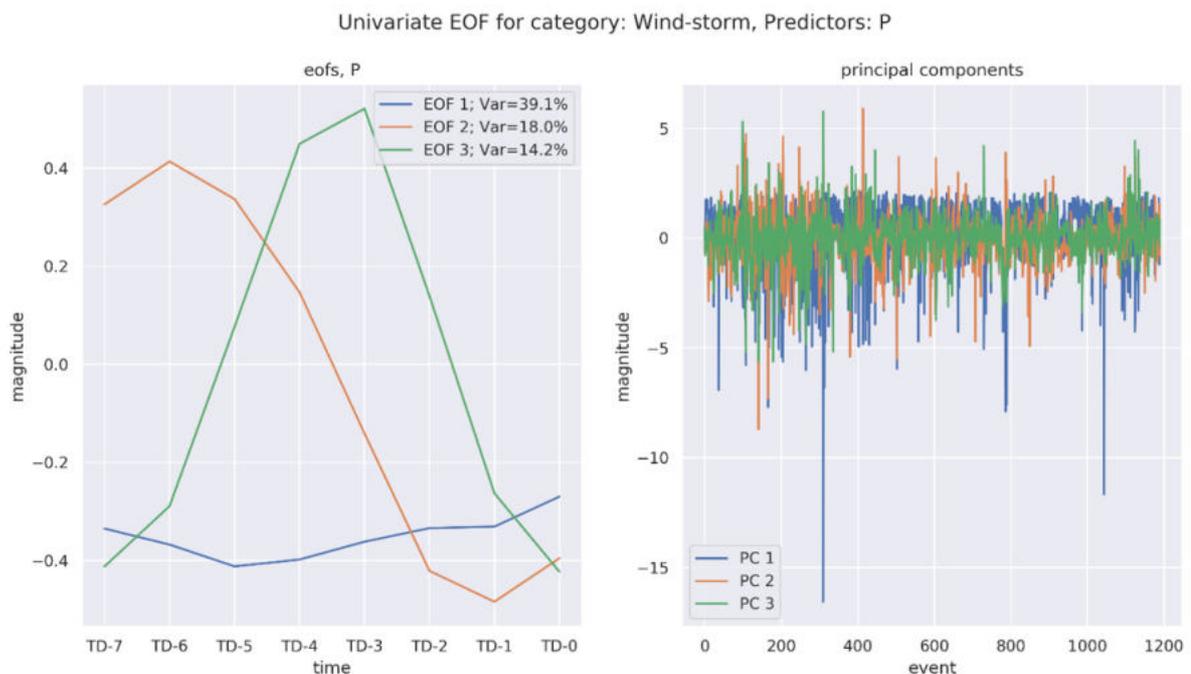


Abbildung 31: Wind-storm-Climate-Indices berechnet aus der Standardabweichung des Luftdrucks der 10 naheliegendsten Stationen je Ereignis für die Schadereignisdaten entlang des ÖBB-Schiennetzes. Darstellung gleich wie Abbildung 30.

#### 4.3.4 Falling-rock

Für die Berechnung der *Falling-rock*-CIs wurden 68 aufgezeichnete Schadereignisse verwendet. Die CIs sind in Abbildung 32 und Abbildung 33 zu sehen. Ersteres zeigt den 24h-Niederschlag, zweiteres die Minimumtemperatur. Die erklärten Varianzen beziffern sich für die erste, zweite und dritte EOF auf 45.1 %, 11.8 % und 9.6 % respektive, was addiert 66.5 %

ergibt. Die Principal Components beider Abbildungen sind dieselben, da für diese Kategorie eine multivariate EOF Analyse durchgeführt wurde. Für die erste EOF in Abbildung 32 ist im Niederschlag eine geringe Zunahme und auch eine geringe Menge an Niederschlag über den ganzen vorangehenden Zeitraum erkennbar, was erneut auf eine Art Vorbelastung hindeutet. Dies ist physikalisch jedoch nicht mit einer Vorbefeuchtung des Bodens vergleichbar (wie bei *Flooding* und *Mudslide*), da es sich hier um einen unterschiedlichen Prozess handelt. Diese Vorbelastung kann so interpretiert werden, dass zumindest geringe Mengen an Niederschlag notwendig sind. Dieses gefallene Wasser kann sich z.B. innerhalb Felsen ansammeln. Parallel zeigen die EOFs der Minimumtemperatur zum Ereignistag hin eine Abnahme der Minimumtemperatur, bzw. bei Spiegelung (gegensätzliches Vorzeichen der Principal Components) eine Zunahme. Weisen einzelne Ereignisse nun gegensätzliche Vorzeichen in den PCs auf, so kann dies als eine überlagerte Temperaturentwicklung interpretiert werden, was potentiell mit Frost-Tau-Wechsel verknüpfbar ist. Dies bedeutet, dass in konkreten Fällen z.B. in Felsen gesammeltes Wasser friert, sich damit ausdehnt und dies zu Felssprengungen bzw. folglich zu *Falling-rock* Schadereignisse führt.

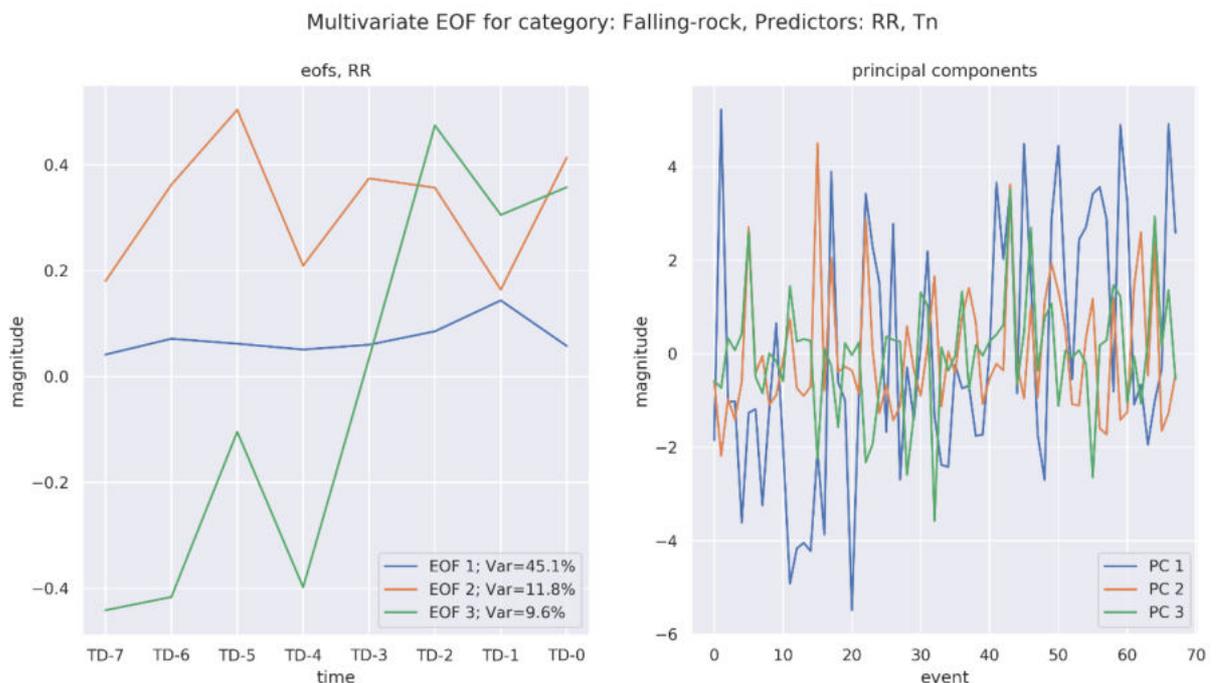


Abbildung 32: Falling-rock-Climate-Indices des 24-h Niederschlags berechnet aus einer multivariaten EOF-Analyse des 24h-Niederschlags und der Minimumtemperatur für die Schadereignisdaten entlang des ÖBB-Schiennetzes. Darstellung gleich wie Abbildung 29.

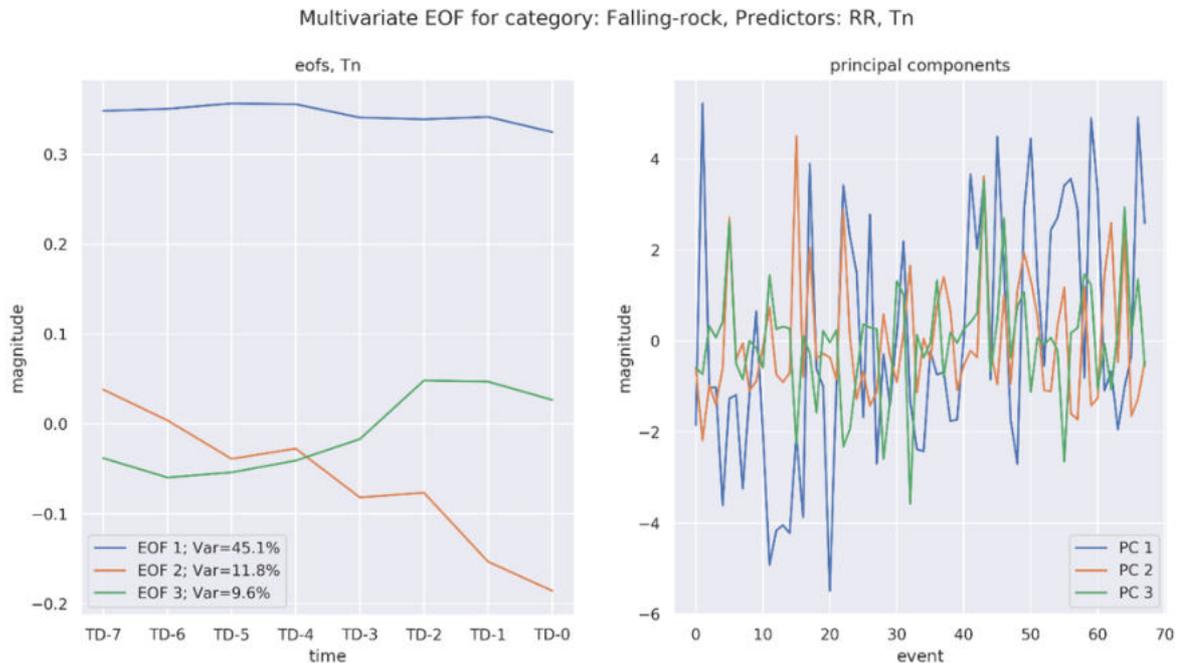


Abbildung 33: Falling-rock-Climate-Indices der Minimumtemperatur berechnet aus einer multivariaten EOF-Analyse des 24h-Niederschlags und der Minimumtemperatur für die Schadereignisdaten entlang des ÖBB-Schiennetzes. Darstellung gleich wie Abbildung 29.

#### 4.3.5 Snow

Zur Berechnung der *Snow* CIs wurden 387 Schadereignisse verwendet. Die CIs sind in Abbildung 34 und Abbildung 35, für den 24-h Niederschlag und die Minimumtemperatur respektive, zu sehen. Die erklärten Varianzen betragen hierbei 36.4 %, 11.8 % und 10.7 % für die erste, zweite und dritte EOF respektive, was in Summe 58.9 % ergibt. Ebenso wie bei der *Falling-rock*-Kategorie wurde auch für *Snow* eine multivariate EOF Analyse durchgeführt. Die EOFs für den Niederschlag (Abbildung 34) zeigen erneut ein doppeldeutiges Bild. Hierbei jedoch nicht markant um den Ereignistag, sondern einerseits als intensive Vorbelastung 5-7 Tage vor dem Schadereignis (zweite EOF) und andererseits als zeitlich knappe Vorbelastung 2-3 Tage vor dem Schadereignis (dritte EOF). Bei allen EOFs ist zwar auf den ersten Blick direkt am Ereignistag bzw. dem Tag davor nur eine geringe Menge an Niederschlag zu verzeichnen, jedoch fällt bei Betrachtung der zugehörigen Principal Components auf, dass die PCs der ersten EOF für eine substantielle Menge an Ereignissen deutlich höhere Absolutwerte verzeichnen als jene der zweiten und dritten EOF. Dies bedeutet, dass in einigen Fällen die Vorbelastung ausreicht und zeitverzögert zu Schadereignissen führen kann, in anderen Fällen jedoch der Niederschlag am Ereignistag und dem Tag davor (erste EOF) sehr wohl eine wichtige Rolle spielt (z.B. in Fällen von Schneebelastung am Gleiskörper; Ersteres mit

Verzögerung deutet auf Schneebruch durch die Schneelast hin). Die zugehörigen EOFs der Minimumtemperatur (Abbildung 35) deuten auf eine Abnahme dieser zu. Im Falle der ersten und zweiten EOF zeigt sich eine kontinuierliche Abnahme ab etwa 4 Tage vor dem Ereignistag. Die dritte EOF hingegen stellt eine kurzfristige Abnahme der Minimumtemperatur dem Ereignistag vorangehend dar. In der gespiegelten Form ist vor allem die dritte EOF mit der starken Abnahme von Beginn an markant, sehr wohl aber auch die Abnahme (wenn auch nicht so stark ausgeprägt) der gespiegelten ersten und zweiten EOF. Diese von Beginn an abnehmenden Tendenzen decken sich mit jenen des Niederschlags und stellen die bereits erwähnte Vorbelastung dar.

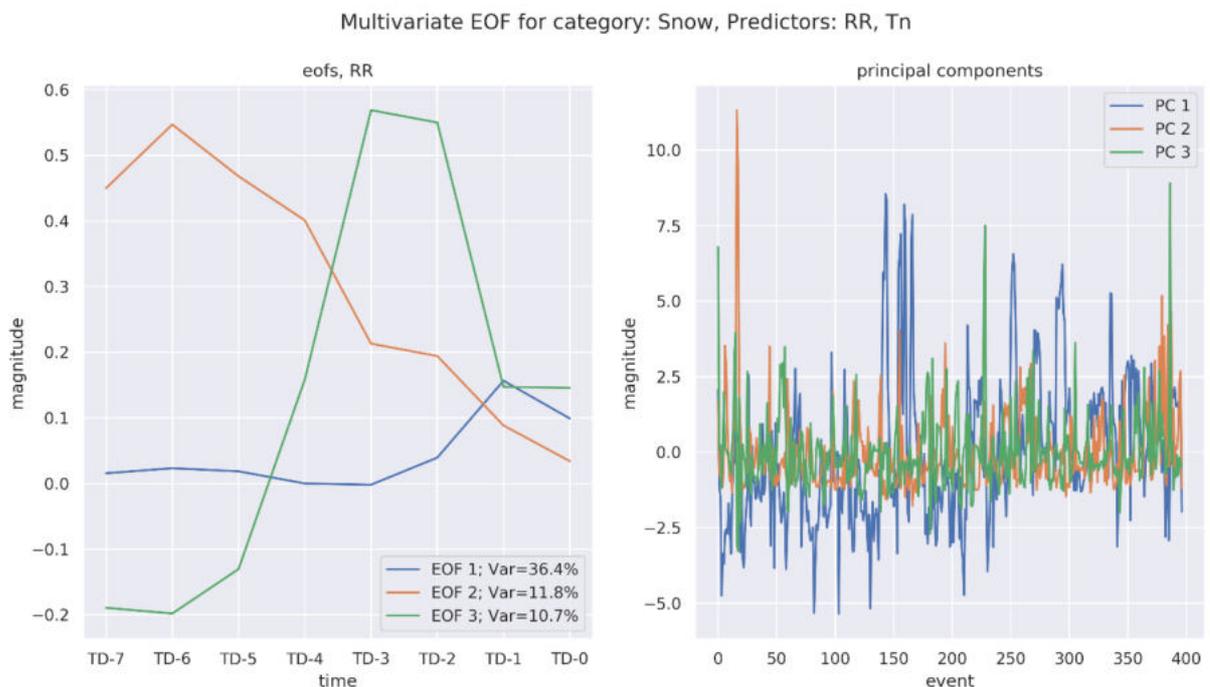


Abbildung 34: Snow-Climate-Indices des 24-h Niederschlags berechnet aus einer multivariaten EOF-Analyse des 24h-Niederschlags und der Minimumtemperatur für die Schadereignisdaten entlang des ÖBB-Schienennetzes. Darstellung gleich wie Abbildung 29.

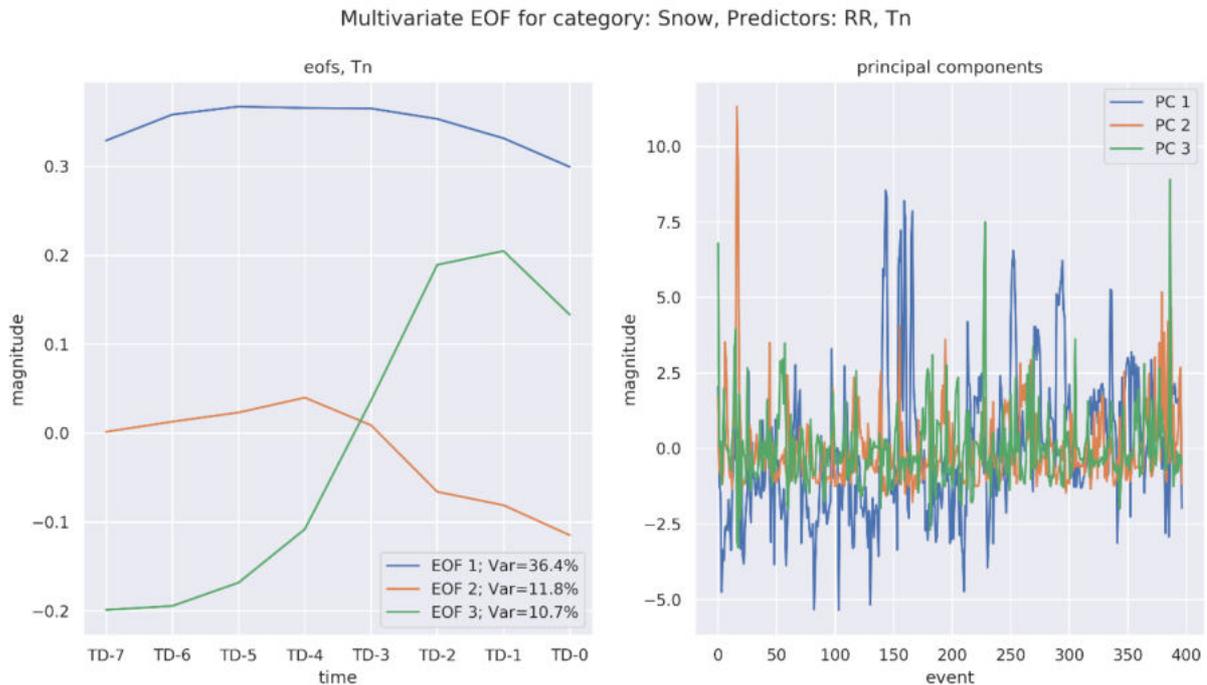


Abbildung 35: Snow-Climate-Indices der Minimumtemperatur berechnet aus einer multivariaten EOF-Analyse des 24h-Niederschlags und der Minimumtemperatur für die Schadereignisdaten entlang des ÖBB-Schiennetzes. Darstellung gleich wie Abbildung 29.

#### 4.3.6 Zusammenfassung

Die gefundenen Climate Indices (CIs) der Schadereigniskategorien skizzieren physikalisch verständlich die Triggermechanismen der verschiedenen meteorologischen Variablen. Diese Muster können für weitere Analyse direkt verwendet werden, um z.B. potentielle Schadereignisse ausfindig zu machen. Die gefundenen EOFs verwenden wir im Rahmen dieses Projekt um unabhängige Daten in den EOF-Raum zu projizieren, um damit potentielle Ereignisse zu berechnen. Abschließend wurde noch die Robustheit gegenüber einzelnen Ereignissen getestet. Dabei wurden keine Mängel festgestellt, die CIs sind robust gegenüber dem Weglassen von einzelnen Ereignissen. Dies ist auch ein Merkmal der ausreichenden Anzahl an Schadereignissen, welche für die Berechnung zur Verfügung stehen.

Weiters lässt sich noch festhalten, dass sich die Ergebnisse für die Kategorien *Flooding* und *Mudslide* mit jenen aus Enigl et al. (2019) decken, obwohl zwei vollständig unabhängige Datensätze verwendet wurden. Dies deutet auf die Robustheit der Methodik hin.

## 5 KLIMAKORRIDORE UND ZU BEWÄLTIGENDER IMPACT IN DEN ASC-STANDORTEN

Zur Bestimmung künftiger, vom Klimawandel getriebener Gefahren-Korridore (Hazard Development Corridors, HDCs) werden Ensembles grobskaliger, mit globalen Klimamodellen an den weltweit größten Rechenzentren simulierten, Szenarien downgescaled (auf die regionale Skala transformiert) und analysiert. Die Ensemble-Simulationen sind von verschiedenen, künftig möglichen Pfaden der Menschheit angetrieben. Zur Ableitung der Gefahren-Korridore werden die in AP4 gewonnenen Climate Indices (CIs) herangezogen. Die Korridore selbst zeigen potentielle Entwicklungen der künftigen Verletzlichkeit (*threat levels*) auf, auf die nachhaltige Schutzstrategien und Anpassungsmaßnahmen abgestimmt sein sollten. Künftige Veränderungen der Gefahrpotentiale fallen in der Regel für verschiedene Schadprozesse, Kategorien, Regionen sowie Pfade der Menschheit unterschiedlich aus. Die beiden betrachteten Zeithorizonte sind *near-future* (2036-2065), sowie *far-future* (2071-2100). Die HDCs werden auf Basis der gefundenen Climate Indices (CIs) für alle der fünf bereits definierten Schadereigniskategorien berechnet. Basierend auf den Hazard Development Corridors (HDCs) lässt sich der potentielle Impact je Kategorie in Form von Frequenzen abschätzen.

### 5.1 Ableitung und Kompilation von Ensembles downgescalter

#### Klimaszenarien für unterschiedliche Menschheitspfade

Um aus den verfügbaren Klimadatensätzen repräsentative Modelle zu finden, werden diese zuerst einer Qualitätskontrolle unterzogen. Dies wird über den mit einer EOF-Analyse berechneten NAO-Index und mit dem Central European Zonal Index (CEZI) durchgeführt. Dabei werden Modelle, welche diese beiden Indizes nicht adäquat simulieren können, aus dem Ensemble entfernt. Dies ist notwendig, da Modelle, welche diese Indizes für den europäischen Raum nicht entsprechend simulieren können, einen mangelhaften Skill aufweisen und damit möglicherweise die Analyse negativ beeinflussen.

Die verwendete Methodik zur regionalen Klimamodellierung basiert auf der Analogmethode (Zorita & von Storch, 1999). Dabei werden basierend auf der groben Skala (*large-scale*) Analoga zwischen den Simulationsdaten aus globalen Zirkulationsmodellen (General Circulation Model, GCM) und Beobachtungsdaten aus Reanalysedaten gesucht. Die Daten aus den am besten zusammenpassenden grobskaligen Analoga können dann extrahiert werden und dienen als Zeitinformation für die lokale Skala (*local-scale*), wodurch

gedownscalte Datensätze erstellt werden können. Da für robuste Aussagen nicht nur ein Modelllauf, sondern möglichst viele notwendig sind, muss dieser Vorgang für alle verfügbaren Modellläufe wiederholt werden, damit am Ende ein Ensemble downgescalter Klimaszenarien zur Verfügung steht.

Die GCM-Daten wurden aus dem CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project 6) entnommen und folgen entsprechend der Kategorisierung in SSPs (Shared Socioeconomic Pathways). Die vier Hauptszenarien wurden dabei betrachtet: SSP126, SSP245, SSP370, SSP585, wobei die erste Ziffer ein Szenario darstellt (SSP1 für Nachhaltigkeit, SSP2 für den „mittleren“ Weg, SSP3 für regionale Rivalitäten, SSP5 für die fossile Entwicklung) und die beiden letzten Ziffern den mit 10 multiplizierten Strahlungsantrieb in  $W/m^2$  angeben, sprich SSP126 ist das Szenario SSP1 mit  $2.6 W/m^2$  Strahlungsantrieb. Ein Vergleich zwischen SSP-Szenarien und den aus CMIP5 bekannten RCP (Representative Concentration Pathways) Szenarien ist in Abbildung 36 zu sehen. Folglich wird durch die Verwendung der SSP-Szenarien der vollständige Bereich an potentiellen Entwicklungen abgedeckt.

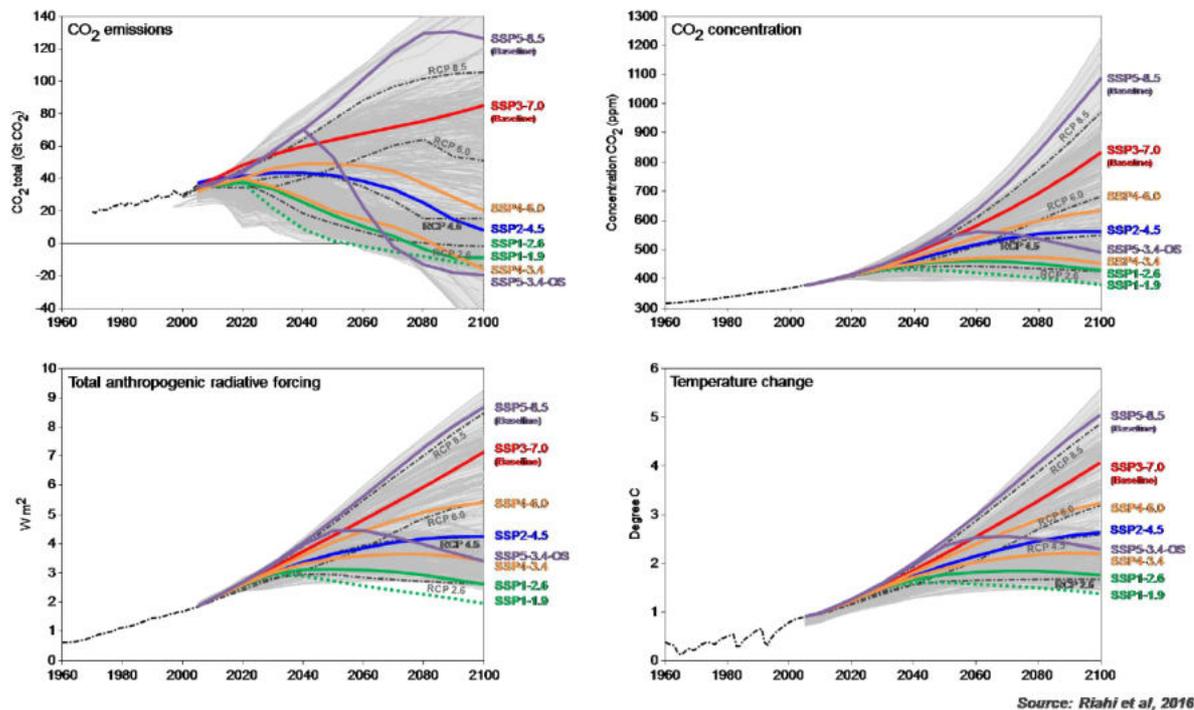


Abbildung 36: Vergleich zwischen RCP- und SSP-Szenarien für verschiedene Parameter.

### 5.1.1 Qualitätskontrolle der globalen Klimadaten

Globale Datensätze aus GCMs können regionale Unterschiede aufweisen. Da für diese Anwendung eine korrekte Simulation der relevanten Einflüsse für Mitteleuropa essentiell ist, werden die GCMs nach entsprechendem Skill untersucht. Zwei Ausprägungen werden hierbei verwendet:

- 1) der Principal Component basierte Northern-Atlantic-Oscillation-Index (PC-based NAO Index; Hurrell & Deser, 2009) und
- 2) der Central-European-Zonal-Index (CEZI, Jacobbeit et al., 2003).

Ersteres ist vor allem aufgrund der Anwendbarkeit auf Modelldaten hilfreich, da der übliche NAO-Index über den Luftdruck zwischen zwei Stationen ermittelt wird. Die Berechnung über eine *Principal Component Analysis* (PCA, praktisch dasselbe wie eine EOF-Analyse) erlaubt jedoch neben dem Vergleich der Indizes auch das Vergleichen der räumlichen Muster (erste EOF) zwischen Modell- und Beobachtungsdaten (GCM und Reanalyse).

Für den PC-based NAO-Index werden Anomalien des Luftdrucks auf Meeressniveau auf Tagesbasis zwischen 20°-80°N und 90°W-40°E verwendet. Diese werden nach Saisonen unterteilt und stellen damit den Input für die EOF-Analyse dar. Als Vergleich zu den GCM-Daten wird der Reanalysedatensatz JRA55 verwendet, mit welchem ebenso verfahren wird. Die erste EOF (räumliches Muster), sowie die Principal Components (PCs, Zeitreihe der Ausprägung des räumlichen Musters, welche den NAO-Index darstellt) werden dann für die Berechnung von diversen Metriken verwendet. Für die PCs werden das Verhältnis der Standardabweichung von GCM und Reanalyse gebildet, das Verhältnis des quartile coefficient of dispersion von GCM und Reanalyse, sowie das Verhältnis der erklärten Varianz von GCM und Reanalyse (GCM Wert im Zähler, Reanalyse im Nenner). Die erste EOF stellt den räumlichen Dipol der maximalen Varianz dar. Hierbei werden drei Aspekte begutachtet:

- a) die Position des Dipol-Schwerpunkts,
- b) die Stärke des Gradienten des Dipols und
- c) der Winkel der Dipol Achse.

Für ersteres muss zuerst der Schwerpunkt ermittelt werden. Hierfür werden die Werte der ersten EOF auf eine Linie zwischen den beiden Dipol-Zentren interpoliert. Der Mittelwert aller Werte dieser Linie stellt den Schwerpunkt dar. Die Differenz der Ortsvektoren der jeweiligen Schwerpunkte für GCM und Reanalyse wird gebildet. Von diesem Differenzvektor wird letztlich die euklidische Norm berechnet. Dieser Wert stellt die entsprechende Metrik für a) dar. Für b)

wird die Differenz der Werte der beiden Dipolzentren gebildet (Maximalwert minus Minimalwert). Der dabei resultierende Wert wird durch die euklidische Norm des Differenzvektors der beiden Zentren dividiert. Dies entspricht dem inversen Gradientenvektor. Die Richtung ist jedoch egal, da die Norm davon, sprich die Stärke des Gradienten, die gesuchte Größe ist. Dies wird von GCM und Reanalyseedaten berechnet, wobei das Resultat von GCM dann durch jenes der Reanalyse geteilt wird, was der Metrik für b) entspricht. Zuletzt für c) kann der aus b) berechnete inverse Gradientenvektor verwendet werden. Hierbei wird der Winkel zwischen diesem und Osten gebildet. Die für c) relevante Metrik ist dann dieser Winkel des GCMs minus dem der Reanalyse.

Der CEZI wird ebenfalls von Anomalien des Luftdrucks auf Meeressniveau berechnet. Hierfür werden zuerst normalisierte saisonale Anomalien berechnet. Dann werden für zwei latitudinale Bänder je vier räumliche Punkte für eine Mittelwertberechnung herangezogen (A: [35°N/0°E], [35°N/20°E], [40°N/0°E], [40°N/20°E], und B: [60°N/0°E], [60°N/20°E], [65°N/0°E], [65°N/20°E] – Gitterpunkte + 2.5° Delta in latitudinaler und longitudinaler Richtung; nach Jacobeit et al, 2003). Zuletzt werden diese beiden Mittelwerte A, B subtrahiert, was den CEZI darstellt. Dieser wird von GCM und Reanalyse berechnet. Die zu untersuchende Metrik ist die Standardabweichung von GCM durch die Standardabweichung von Reanalyse, saisonal gruppiert und selbiges für den *quartile coefficient of dispersion*.

Von allen aufgelisteten Metriken (zwei aus den PCs, einmal die erklärte Varianz, drei aus der ersten EOF, und zwei aus dem CEZI) werden die zwei- bzw. vierfache Standardabweichung über alle untersuchten GCM-Modelle hinweg berechnet. Dies wird für alle Saisonen und für den modellbasierten Mittelwert über die Saisonen durchgeführt. Danach werden die Metriken für jedes Modell und jede Saison mit der vierfachen Standardabweichung im Falle der EOF-Metrik a) (einseitig) bzw. mit der zweifachen Standardabweichung für alle anderen Metriken (zweiseitig) verglichen. Liegt einer der Werte in einer der Saisonen außerhalb der Standardabweichung (Zentrum entspricht bei den zweiseitigen Metriken dem Wert 1, bei der einseitigen Metrik dem Wert 0), so wird dieses Modell mit dem Prädikat „unzureichender skill“ versehen. Heatmaps für die Metriken der PCs und der erklärten Varianz sind in Abbildung 37, für die die erste EOF in Abbildung 38 und für den CEZI in Abbildung 39 zu sehen. In diesen stellt ein „Block“ jeweils eine Metrik (siehe Überschrift, um welche es sich handelt) und die fünf Spalten innerhalb der Blöcke die vier Saisonen sowie den Mittelwert darüber dar. Eine Zeile entspricht einem GCM.

Von 136 getesteten GCMs sind 56 übriggeblieben, von welchen weiters einige Modelle nicht die notwendige Anzahl an Variablen aufweisen, die für die weitere Verarbeitung in der regionalen Klimamodellierung notwendig sind, wodurch sich die Anzahl an entsprechenden Modellen auf 32 einstellt. Diese sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Model	Member	Model	Member	Model	Member
CanESM5	r1i1p1f1	HadGEM3-GC31-MM	r3i1p1f3	MPI-ESM1-2-HR	r2i1p1f1
CanESM5	r2i1p1f1	INM-CM5-0	r3i1p1f1	MPI-ESM1-2-HR	r3i1p1f1
CanESM5	r2i1p2f1	INM-CM5-0	r4i1p1f1	MPI-ESM1-2-HR	r6i1p1f1
CanESM5	r5i1p2f1	IPSL-CM6A-LR	r3i1p1f1	MPI-ESM1-2-HR	r10i1p1f1
CanESM5	r9i1p1f1	IPSL-CM6A-LR	r4i1p1f1	MRI-ESM2-0	r1i1p1f1
CanESM5	r9i1p2f1	IPSL-CM6A-LR	r11i1p1f1	MRI-ESM2-0	r3i1p1f1
CanESM5	r10i1p1f1	IPSL-CM6A-LR	r14i1p1f1	MRI-ESM2-0	r4i1p1f1
CanESM5	r10i1p2f1	KACE-1-0-G	r1i1p1f1	MRI-ESM2-0	r5i1p1f1
CNRM-CM6-1	r1i1p1f2	KACE-1-0-G	r3i1p1f1	NorESM2-LM	r1i1p1f1
CNRM-CM6-1	r6i1p1f2	MPI-ESM1-2-HAM	r1i1p1f1	NorESM2-LM	r2i1p1f1
HadGEM3-GC31-MM	r1i1p1f3	MPI-ESM1-2-HR	r1i1p1f1		

Tabelle 10: Qualitätskontrollierte GCMs. N=32.

Evaluation metrics for the PC-based NAO index

	$\sigma_{\text{geom}}/\sigma_a$ of principal components					$\text{good}_{\text{geom}}/\text{good}_a$ of principal components					$\sigma_{\text{expl}}^2/\sigma_{\text{expl}, \text{na}}^2$ explained variance for first EOF				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
IPSL-CM6A-LR_r321p1f1_CMIP6	1	1.05	0.98	1.01	1.01	-1.03	-2.26	-0.37	4.46	0.2	1.49	0.65	1.04	0.83	1
IPSL-CM6A-LR_r141p1f1_CMIP6	1	1.03	1.01	1.02	1.02	-0.65	3.02	1.16	5.37	2.23	1.28	0.76	0.9	0.87	0.95
IPSL-CM6A-LR_r111p1f1_CMIP6	0.99	1.01	0.96	1.02	0.99	0.1	-0.5	0.42	8.36	2.09	1.14	0.68	1.16	0.72	0.92
IPSL-CM6A-LR_r101p1f1_CMIP6	1	1.04	1.01	1.02	1.02	0.22	2.67	-2.32	1.94	0.63	0.97	0.65	1	1.04	0.92
IPSL-CM6A-LR_r91p1f1_CMIP6	1	1.05	1.02	1.01	1.02	0.34	-1.55	5.63	-12.06	-1.86	1.29	0.8	1.05	0.79	0.98
IPSL-CM6A-LR_r81p1f1_CMIP6	1	1.05	1.02	1.01	1.02	-0.3	-1.76	-1.02	1.09	-0.5	1.08	0.69	1.13	0.85	0.94
IPSL-CM6A-LR_r71p1f1_CMIP6	0.98	1.04	1.02	1.02	1.02	-0.26	0.78	2.05	2.54	1.28	1.28	0.69	0.75	0.94	0.91
IPSL-CM6A-LR_r61p1f1_CMIP6	1	1.05	1.02	1.01	1.02	-1.03	14.31	18.99	1.47	8.43	1.1	0.64	1.06	0.86	0.92
IPSL-CM6A-LR_r51p1f1_CMIP6	1	0.99	1.02	1.01	1	0.21	-0.8	-3.46	-9.08	-3.28	1.32	0.81	1	0.79	0.98
IPSL-CM6A-LR_r41p1f1_CMIP6	1	1.04	1.01	1.01	1.01	-0.74	-1.45	1.27	1.65	0.18	1.28	0.63	1.2	0.88	1
IPSL-CM6A-LR_r31p1f1_CMIP6	1	1.03	1.02	1.01	1.02	0.88	3.3	-11.72	-5.11	-3.16	1.13	0.73	1	0.72	0.9
IPSL-CM6A-LR_r21p1f1_CMIP6	1	1.05	1.02	1.02	1.02	0.3	-3.47	22.43	-14.57	1.17	1.26	0.8	1.17	1.01	1.06
IPSL-CM6A-LR_r11p1f1_CMIP6	1	1.04	1	1.02	1.02	15.92	-14.62	0.76	-2.75	-0.17	1.1	0.88	1.29	0.89	1.04
MIROC6_r31p1f1_CMIP6	0.99	1.05	1.02	1.01	1.02	0.14	-1729.21	-2.53	-2.43	-433.52	1.25	0.77	1.03	0.73	0.94
MIROC6_r21p1f1_CMIP6	1	1.01	1.02	1.01	1.01	-1.56	1.48	-1.86	2	0.01	0.86	0.78	1.16	0.7	0.88
MIROC6_r11p1f1_CMIP6	1	1	1.02	1.02	1.01	15.91	1.3	-3.24	-6.74	1.81	1.08	0.88	1.3	0.77	1.01
NorESM2-LM_r31p1f1_CMIP6	0.99	1.03	1.02	1.02	1.02	-0.11	1.31	635.29	-12.37	156.03	1.41	0.88	1.27	0.81	1.09
NorESM2-LM_r21p1f1_CMIP6	0.99	1.02	1.02	1.01	1.01	0.18	1.05	-2.12	1.04	0.04	1.17	0.81	1.12	1.03	1.03
NorESM2-LM_r11p1f1_CMIP6	1	1.04	1.01	1.01	1.01	1.2	7.35	-1.71	1.76	2.15	1.11	0.76	1.09	0.96	0.98
NorESM2-MM_r31p1f1_CMIP6	0.99	1.05	1.02	1.01	1.02	-0.19	-1.48	1.94	-2.95	-0.67	1.26	0.78	1.26	0.99	1.07
NorESM2-MM_r21p1f1_CMIP6	1	1.03	1.02	1.01	1.02	-0.56	0.97	-9.76	-2.27	-2.9	1.11	0.71	1.2	1.04	1.02
NorESM2-MM_r11p1f1_CMIP6	1	1.02	1.02	1.01	1.01	0.81	1.35	6.58	3.01	2.94	1.14	0.89	1.24	0.81	1.02
FGOALS-g3_r11p1f1_CMIP6	1	1.06	1.03	1.01	1.02	-0.98	-0.83	-1.03	2	-0.21	1.39	0.7	1.13	0.59	0.95
CNRM-CM6-1_r61p1f2_CMIP6	1	1.04	1.02	1	1.02	-0.36	17.33	15.11	-1.55	7.63	1.33	0.74	0.99	0.74	0.95
CNRM-CM6-1_r51p1f2_CMIP6	1	1.05	1.02	1.01	1.02	0.2	-2.03	2.47	2.84	0.87	1.08	0.71	1.15	0.75	0.92
CNRM-CM6-1_r41p1f2_CMIP6	1	1.05	1.02	1	1.02	-0.27	-1.79	4.79	1.23	0.99	1.22	0.92	1.12	0.75	1
CNRM-CM6-1_r31p1f2_CMIP6	1	1.05	1.01	1.01	1.02	0.59	6.52	-2.45	-1.31	0.84	1.39	0.66	1.13	0.81	1
MPI-ESM1-2-LR_r91p1f1_CMIP6	1	1.04	1.02	1.02	1.02	-0.26	-3.16	-3.29	-24.88	-7.9	1.46	0.83	1	0.88	1.04
MPI-ESM1-2-LR_r81p1f1_CMIP6	0.99	1.05	1.02	1.02	1.02	0.19	1.36	-6.96	-4.59	-2.5	1.24	0.79	1.3	0.81	1.04
MPI-ESM1-2-LR_r71p1f1_CMIP6	0.99	1.04	1.01	1.02	1.02	0.16	4.16	-3.54	12.14	3.23	1.65	0.73	1.19	0.83	1.1
MPI-ESM1-2-LR_r61p1f1_CMIP6	0.99	1.05	1.02	0.98	1.01	0.2	-2.96	-2.17	0.79	-1.04	1.08	0.75	1.41	0.92	1.04
MPI-ESM1-2-LR_r51p1f1_CMIP6	1	1.04	0.99	1.02	1.01	-0.32	-2.26	-1.26	4.38	0.14	1.35	0.68	1.43	0.86	1.08
MPI-ESM1-2-LR_r41p1f1_CMIP6	1	1.01	1	1.01	1	0.71	-0.51	-0.62	1.75	0.33	1.27	0.75	1.22	0.88	1.03
MPI-ESM1-2-LR_r31p1f1_CMIP6	1	1.04	0.99	1.01	1.01	0.28	-2.21	0.81	4.99	0.97	1.26	0.59	1.35	0.91	1.03
MPI-ESM1-2-LR_r101p1f1_CMIP6	1	1.05	1.02	1.02	1.02	-1.21	-24.03	-3.53	38.5	2.43	1.24	0.76	1.37	0.83	1.05
MPI-ESM1-2-LR_r11p1f1_CMIP6	0.98	1.04	0.99	1.02	1.01	-0.12	-5.77	-0.72	-2.73	-2.33	1.28	0.79	1.15	0.8	1.01
MIROC-ES2L_r31p1f2_CMIP6	1	1.01	1.01	1.01	1.01	-2.2	0.63	1.36	-11.71	-2.98	1.22	0.77	1.18	0.65	0.95
MPI-ESM1-2-LR_r21p1f1_CMIP6	0.99	1.04	1.01	1.01	1.01	-0.22	-1.2	5.31	-1.47	0.6	1.33	0.53	1.34	0.8	1
MIROC-ES2L_r21p1f2_CMIP6	1	1.02	1.02	1.01	1.01	0.77	0.86	2.1	1.42	1.29	1.06	0.78	1.08	0.66	0.9
CanESM5_r41p1f1_CMIP6	1	0.99	1.02	1.02	1.01	-0.52	0.79	-11.44	-7.62	-4.7	1.53	0.81	1	0.62	0.99
CanESM5_r31p2f1_CMIP6	1	1.05	1	1.02	1.02	-0.61	1.33	-1.11	-15.06	-3.86	1.01	0.67	1.34	0.74	0.94
CanESM5_r31p1f1_CMIP6	1	1.02	0.98	1.02	1	-1.92	-0.88	-0.73	-308.8	-78.08	1.24	0.63	1.13	0.89	0.97
UKESM1-0-LL_r191p1f2_CMIP6	1	1.05	1.02	1.01	1.02	-0.58	-1.75	-1.23	-1.92	-1.37	1.4	0.7	1.13	0.61	0.96

UKESM1-0-LL_r181p1f2_CMIP6	0.99	1.04	1.01	1.02	1.02	-0.11	-11.01	1.37	1.11	-2.16	1.24	0.58	1.12	0.85	0.95
UKESM1-0-LL_r171p1f2_CMIP6	0.99	1.01	1.01	1.02	1.01	-0.18	0.83	-1.07	3.36	0.73	1.32	0.63	1.21	0.82	0.99
UKESM1-0-LL_r161p1f2_CMIP6	1	1.01	1.02	0.98	1	0.42	-0.95	-2.73	-1.03	-1.07	1.12	0.76	1.27	0.73	0.97
UKESM1-0-LL_r121p1f2_CMIP6	0.98	1.05	1.02	1.02	1.02	-0.15	-1.95	-3.28	-2.61	-2	1.26	0.65	1	0.84	0.94
UKESM1-0-LL_r111p1f2_CMIP6	1	1.02	0.99	1.01	1	0.41	-1.04	-0.83	3.73	0.57	1.39	0.77	1.11	0.75	1.01
UKESM1-0-LL_r101p1f2_CMIP6	0.99	1.02	0.98	1.02	1	-0.13	-0.98	-0.78	-131.96	-33.46	1.17	0.79	1.21	0.8	0.99
UKESM1-0-LL_r91p1f2_CMIP6	0.98	1.02	1	1.01	1	-0.13	-0.85	-0.73	3.52	0.45	1.47	0.8	1.33	0.72	1.08
UKESM1-0-LL_r81p1f2_CMIP6	1	1.04	1	1.02	1.02	1.11	2.3	-0.93	3.53	1.5	1.28	0.76	1.19	0.72	0.99
UKESM1-0-LL_r41p1f2_CMIP6	1	0.94	1.01	1.02	0.99	-0.58	-0.45	3.42	3.73	1.53	1.31	0.92	1.02	0.89	1.03
UKESM1-0-LL_r31p1f2_CMIP6	1	1.05	1.02	1.01	1.02	0.38	-5.22	-2.6	-3.4	-2.71	0.98	0.73	1.06	0.64	0.85
UKESM1-0-LL_r21p1f2_CMIP6	0.97	1.03	0.99	1	1	-0.15	0.85	0.89	2.18	0.94	1.24	0.62	1.17	0.76	0.95
UKESM1-0-LL_r11p1f2_CMIP6	1	1.04	1	1.02	1.02	0.94	-1.6	-0.99	-3.39	-1.26	1.27	0.73	1.49	0.73	1.06
NESM3_r21p1f1_CMIP6	1	1.05	1	0.95	1	-0.34	-2.04	-1.13	-0.59	-1.02	1.07	1.33	1.63	0.54	1.14
NESM3_r11p1f1_CMIP6	0.97	1.03	1.02	0.99	1	-0.16	1.15	-7.54	0.76	-1.45	1.23	0.79	1.37	0.95	1.08
MPI-ESM1-2-HR_r101p1f1_CMIP6	1	1.04	1.02	1.02	1.02	-0.22	1.53	-1.01	34.72	8.75	1.28	0.7	1.42	0.9	1.07
MPI-ESM1-2-HR_r91p1f1_CMIP6	0.99	1	1.01	1.01	1	0.24	0.65	1.57	2.48	1.23	1.22	0.7	1.37	0.69	0.99
MPI-ESM1-2-HR_r81p1f1_CMIP6	1	0.96	1.02	1.02	1	-5.92	0.66	-12.75	-7.58	-6.4	1.02	0.69	1.31	0.88	0.97
MPI-ESM1-2-HR_r71p1f1_CMIP6	0.99	0.99	1.02	1.02	1	0.21	0.72	-1.37	2.58	0.53	1.03	0.68	1.17	0.77	0.91
MPI-ESM1-2-HR_r61p1f1_CMIP6	0.99	1.03	1	1.01	1.01	0.16	0.93	-0.81	-1.8	-0.38	1.26	0.61	1.45	1.04	1.09
MPI-ESM1-2-HR_r51p1f1_CMIP6	0.98	1.03	1.02	1.02	1.01	-0.12	-1.23	-4.62	3.99	-0.5	1.06	0.7	1.13	0.82	0.93
MPI-ESM1-2-HR_r41p1f1_CMIP6	1	1.05	1.02	1.02	1.02	0.42	-7.25	-1.36	-51.2	-14.85	1.25	0.58	1.6	0.84	1.07
MPI-ESM1-2-HR_r31p1f1_CMIP6	1	1.02	1.02	1.02	1.02	1	1.65	-2.02	-5.25	-1.16	1.16	0.75	1.48	0.96	1.09
MPI-ESM1-2-HR_r21p1f1_CMIP6	0.97	1.02	1.02	0.99	1	-0.1	0.81	1.67	-0.72	0.47	1.15	0.69	1.2	0.86	0.97
MPI-ESM1-2-HR_r11p1f1_CMIP6	0.98	1.02	1.02	1.01	1.01	-0.22	0.89	6.22	-2.68	1.05	1.19	0.72	1.31	0.85	1.02
MPI-ESM1-2-HAM_r21p1f1_CMIP6	1	1	1.01	1.02	1.01	-0.35	0.58	-1.44	-3.07	-1.07	1.53	0.93	1.18	0.79	1.11
MPI-ESM1-2-HAM_r11p1f1_CMIP6	0.99	0.98	1.02	1.01	1	0.16	0.76	-2.68	1.16	-0.16	1.32	0.83	1.27	0.79	1.05
MIROC-ES2L_r11p1f2_CMIP6	1	1.03	1.02	1	1.01	2.23	-0.99	-8.08	-1	-1.96	0.99	0.65	1.15	0.55	0.83
EC-Earth3_r151p1f1_CMIP6	0.99	1.05	1.01	1.01	1.01	0.16	-9.82	2.2	2.04	-1.35	1.2	0.8	1.12	0.77	0.97
EC-Earth3_r131p1f1_CMIP6	1	1.02	1.02	1.02	1.02	0.34	-1.63	4.01	7.14	2.46	1.12	0.55	1.05	0.7	0.85
EC-Earth3_r111p1f1_CMIP6	1	1.04	1.02	1.02	1.02	-0.4	-1.08	-4.83	-7.36	-3.42	1.03	0.82	1.24	0.88	0.99
EC-Earth3_r91p1f1_CMIP6	1	1.04	1.02	1.02	1.02	0.43	1.7	6.07	2.94	2.78	1.02	0.91	1.38	0.81	1.03
EC-Earth3_r61p1f1_CMIP6	1	1.03	1.02	1.01	1.02	-0.77	-1.29	17.23	1.89	4.26	1.08	0.81	1.31	0.86	1.02
EC-Earth3_r41p1f1_CMIP6	1	1.05	1.02	1	1.02	-0.34	-1.27	-2.07	-0.96	-1.16	0.89	0.8	1.33	0.96	0.99
EC-Earth3_r11p1f1_CMIP6	0.99	1.04	1.02	1.02	1.02	0.19	2.09	-1.75	327.34	61.97	1.26	0.64	1.03	0.79	0.98
CNRM-ESM2-1_r51p1f2_CMIP6	1	1.03	1	1	1.01	1	-1.33	-1.03	2.23	0.22	1.2	0.74	1.26	0.73	0.98
CNRM-ESM2-1_r41p1f2_CMIP6	0.99	0.98	1.02	1	1	-0.26	-0.66	-18.95	1.37	-4.62	1.15	0.78	1.3	0.85	1.02
CNRM-ESM2-1_r11p1f2_CMIP6	1	1.05	1.02	1	1.02	0.66	-1.03	-4.69	0.9	-1.04	1.09	0.74	1.01	0.85	0.92
CNRM-CM6-1_r21p1f2_CMIP6	0.97	1.04	1.02	1	1.01	-0.13	1.29	-2.12	1.02	0.02	1.06	0.73	1.24	0.87	0.98
CNRM-CM6-1_r11p1f2_CMIP6	1	1.04	1	1.01	1.01	0.17	1.96	-2.77	-2.17	-0.7	1.35	0.78	1.23	0.8	1.04
CanESM5_r91p2f1_CMIP6	1	1.04	1.01	1.01	1.01	-2.49	-5.51	-0.83	-2.32	-2.79	1.33	0.75	1.17	0.87	1.03
CanESM5_r91p1f1_CMIP6	1	1.02	1.02	0.99	1.01	-0.23	-0.79	-4.06	-1.11	-1.55	1.3	0.89	1.09	0.8	1.02
CanESM5_r81p2f1_CMIP6	0.99	1.03	1.01	0.95	1	0.27	-1.18	10.07	-0.72	2.11	1.23	0.71	1.2	0.78	0.98
CanESM5_r81p1f1_CMIP6	1	0.95	1.02	1.01	0.99	-0.33	-0.44	6.13	-4.51	0.21	1.2	0.68	1.2	0.61	0.92
CanESM5_r71p2f1_CMIP6	1	0.93	1.02	1.02	0.99	0.67	-0.36	-1.01	40.1	9.85	1.1	0.76	1.28	0.77	0.98
CanESM5_r71p1f1_CMIP6	1	1.05	1	1.01	1.01	4.42	98.49	-0.7	1.56	25.94	1.25	0.66	1.24	0.77	0.98



Abbildung 37: Heatmaps der Metriken zu den Principal Components (PCs) für die Qualitätskontrolle der GCMs. Detailbeschreibung im Haupttext

**Evaluation metrics for the PC-based NAO index**

	$ \vec{v}_{\text{na}} \cdot \vec{v}_{\text{gen}} $ ( $\vec{v}$ = position vector of center)					$ \vec{v}_{\text{gen}}  /  \vec{v}_{\text{na}} $ ( $\vec{v}$ = vector from high to low)					$\theta_{\text{gen}} - \theta_{\text{na}}$ ( $\theta$ = angle between $\vec{v}$ and East)				
IPSL-CM6A-LR_r321p1f1_CMIP6	3.16	5.89	35.8	5.33	12.55	1.43	1.51	0.75	1.02	1.17	-11.31	12.92	67.27	34.13	31.41
IPSL-CM6A-LR_r141p1f1_CMIP6	3.88	2.33	33.02	27.37	16.65	1.15	1.33	0.99	0.83	1.07	-9.82	13.43	29.85	-4.78	12.08
IPSL-CM6A-LR_r111p1f1_CMIP6	7.54	35.14	26.21	17.41	21.57	1.13	1.06	0.6	1.07	0.97	-6.13	-40.74	-1.09	2.13	-11.46
IPSL-CM6A-LR_r101p1f1_CMIP6	5.66	11.34	32.29	28.31	19.4	1.66	2.43	0.6	0.79	1.37	-18.97	26.74	4.26	-11.12	9.71
IPSL-CM6A-LR_r91p1f1_CMIP6	10.71	1.91	4.18	39.32	14.03	1.17	1.22	0.72	1.01	1.03	-1.04	5.86	9.42	34.13	12.09
IPSL-CM6A-LR_r81p1f1_CMIP6	2.3	35.16	38.59	23.92	24.99	1.4	0.74	0.76	0.87	0.94	-11.73	-43.66	41.44	-12.02	-0.63
IPSL-CM6A-LR_r71p1f1_CMIP6	10.22	16.73	35.07	31	23.25	1.41	2.19	0.63	0.75	1.25	0	13.18	-13.55	-16.07	-4.11
IPSL-CM6A-LR_r61p1f1_CMIP6	1.42	18.15	25.47	47.38	23.1	1.31	1.99	0.41	1.04	1.19	-8.59	45.96	-17.71	1.43	5.27
IPSL-CM6A-LR_r51p1f1_CMIP6	8.87	20.95	18.21	17.53	16.39	0.76	0.74	0.77	0.52	0.69	-17.02	-16.99	-0.18	-11.68	-11.47
IPSL-CM6A-LR_r41p1f1_CMIP6	4.49	14.12	26.29	23.41	17.08	0.7	1.64	0.35	0.92	0.9	-76.41	59.19	-18.74	-12.96	25.98
IPSL-CM6A-LR_r31p1f1_CMIP6	1.9	18.38	17.43	15.72	13.36	1.35	0.78	0.58	0.87	0.89	-15.92	-19.55	-9.07	-8.41	-5.28
IPSL-CM6A-LR_r21p1f1_CMIP6	2.43	15.04	17.31	18.84	13.41	1.16	2.33	0.61	0.57	1.17	-10.22	53.64	-5.46	-27.04	7.84
IPSL-CM6A-LR_r11p1f1_CMIP6	22.52	19.74	26.35	22.77	22.85	0.73	2.05	0.59	1.08	1.11	-10.29	40.42	85.27	9.84	31.31
MIROC6_r31p1f1_CMIP6	3.84	13.73	19.32	46.44	20.83	1.29	1.22	0.66	0.65	0.95	-25.4	-6.19	1.2	-1.54	4.72
MIROC6_r21p1f1_CMIP6	24.33	12.44	31.13	43.07	27.74	1.11	0.76	0.6	1.16	0.91	-4.56	86.66	21.12	15.38	31.93
MIROC6_r11p1f1_CMIP6	22.26	27.44	35.05	29.11	28.47	1.12	1.02	0.69	0.94	0.94	-8.7	40.26	18.94	14.62	20.63
NorESM2-LM_r31p1f1_CMIP6	33.53	16.8	12.41	25.18	21.98	1.19	2.23	0.59	0.79	1.2	-30.76	42.3	15.03	55.27	35.84
NorESM2-LM_r21p1f1_CMIP6	27.95	16.45	4.72	28.89	19.5	1.16	0.95	0.79	0.97	0.97	-52.41	-10.28	38.34	37.4	29.47
NorESM2-LM_r11p1f1_CMIP6	35.91	2.54	1.72	2.64	10.7	1.49	0.79	0.69	0.91	0.97	-14.55	-19.16	47.85	-8.43	8.7
NorESM2-MM_r31p1f1_CMIP6	31.35	33.82	12.84	21.31	24.78	1.05	1.17	0.7	0.92	0.96	-65.55	94.83	24.58	-12.53	43.11
NorESM2-MM_r21p1f1_CMIP6	20.5	26.85	6.47	27.07	20.23	0.43	1.23	0.61	0.88	0.79	-34.12	40.06	5.84	53.17	16.24
NorESM2-MM_r11p1f1_CMIP6	29.29	64.67	7.88	38.81	35.16	1.25	1.17	0.79	0.49	0.93	-35.49	32.64	20.12	-21.25	16.75
FGOALS-g3_r11p1f1_CMIP6	23.09	26.7	21.64	5.31	19.18	0.66	0.76	0.45	0.61	0.62	-33.79	-21.39	-17.71	-31.25	-26.04
CNRM-CM6-1_r61p1f2_CMIP6	5.49	27.69	30.03	37.79	25.3	0.74	1.12	0.82	1.17	0.96	-2.67	-13.08	-5.94	13.79	-0.64
CNRM-CM6-1_r51p1f2_CMIP6	12.92	8.29	40.37	17.9	19.87	1.35	1.47	0.91	0.81	1.13	-12.17	47.63	25.11	71.76	39.17
CNRM-CM6-1_r41p1f2_CMIP6	24.31	2.9	41.12	35.66	26	0.89	1.52	0.78	0.7	0.97	-1.41	24.7	36.98	-4.41	13.96
CNRM-CM6-1_r31p1f2_CMIP6	3.27	19.84	29.58	22.67	18.84	0.7	1.53	0.81	1	1.01	-11.4	33.19	4.57	0	6.59
MPI-ESM1-2-LR_r91p1f1_CMIP6	10.57	4.67	19.78	21.82	14.21	1.34	1.77	0.79	1.14	1.26	-2.13	-1.43	12.54	49.93	15.79
MPI-ESM1-2-LR_r81p1f1_CMIP6	3.21	5.25	36.64	51	24.03	1.13	0.72	0.61	0.66	0.78	-9.29	-19.47	11.03	-8.21	-1.84
MPI-ESM1-2-LR_r71p1f1_CMIP6	10.35	23.37	46.27	27.87	26.97	1.18	1.38	0.73	0.93	1.05	-29.23	3.99	-0.18	67.06	25.02
MPI-ESM1-2-LR_r61p1f1_CMIP6	8.2	21.79	10.49	23.88	16.09	0.54	0.89	0.43	1.22	0.77	-31.61	-17.77	66.63	28.65	11.47
MPI-ESM1-2-LR_r51p1f1_CMIP6	4.37	29.63	20.9	17.6	18.13	1.38	0.96	0.79	0.91	1.01	-20.66	-17.87	6.61	32.26	10.41
MPI-ESM1-2-LR_r41p1f1_CMIP6	10.58	16.9	22.36	25.67	18.88	1.37	2.11	0.67	0.91	1.31	-1.12	11.14	18.39	21.91	13.14
MPI-ESM1-2-LR_r31p1f1_CMIP6	4.39	11	3.91	1.56	5.21	1.14	0.78	0.69	0.94	0.89	-14.62	-16.65	50.6	30.08	19.66
MPI-ESM1-2-LR_r101p1f1_CMIP6	4.46	11.42	20.93	15.58	13.1	0.98	1.9	0.75	0.94	1.14	-4.31	7.76	65.88	-4.78	18.29
MPI-ESM1-2-LR_r11p1f1_CMIP6	22.42	17.18	10.11	23.97	18.42	0.84	1.7	0.51	0.91	0.99	-21.89	22.51	47.86	57.89	26.59
MIROC-ES2L_r31p1f2_CMIP6	2.18	50.64	37.15	28.69	29.67	1.21	0.99	0.73	1.4	1.08	-77.22	36.33	10.68	46.91	42.79
MPI-ESM1-2-LR_r21p1f1_CMIP6	4.84	40.26	21.53	26.6	23.31	1.38	0.61	0.61	1.1	0.97	-20.66	-36.74	31.51	43.26	14.67
MIROC-ES2L_r21p1f2_CMIP6	0.57	25.67	48.03	32.2	26.12	1.19	1.25	0.67	1.32	1.11	-71.12	27.06	41.79	51.69	47.92
CanESM5_r41p1f1_CMIP6	4.03	5.92	22.56	6.16	9.67	0.97	0.88	0.96	0.96	0.94	-1.25	-12.27	21.51	-22.57	-3.65
CanESM5_r31p1f1_CMIP6	30.95	22.87	16.86	20.84	22.88	1.49	1.73	0.51	0.83	1.14	-30.24	85.16	-16.36	-17.99	20.27
CanESM5_r31p1f1_CMIP6	2.5	2.3	13.7	5.55	6.01	0.75	1.05	0.42	1.36	0.89	-18.99	-11.71	107.73	19.71	24.19
UKESM1-0-LL_r191p1f2_CMIP6	4.84	8.69	3.48	24.81	10.46	1.22	1.41	0.72	1.04	1.1	-29.38	-1.77	60.02	43.25	32.72
UKESM1-0-LL_r181p1f2_CMIP6	5.21	6.55	9.59	26.64	12	1.28	0.67	0.85	1.14	0.98	-3.41	-15.88	21.94	13.17	3.96

model_run_mip	4.57	32.61	5.48	5.8	12.11	0.84	1.22	0.44	1.03	0.88	-14.76	53.5	54.87	31.38	31.25
UKESM1-0-LL_r171p1f2_CMIP6	4.57	32.61	5.48	5.8	12.11	0.84	1.22	0.44	1.03	0.88	-14.76	53.5	54.87	31.38	31.25
UKESM1-0-LL_r161p1f2_CMIP6	43.04	21.35	25.91	2.22	23.13	1.21	1.13	0.78	1.22	1.09	-5.18	5.38	18.93	-0.51	4.66
UKESM1-0-LL_r121p1f2_CMIP6	30.83	14.69	25.32	20.91	22.94	0.45	1.73	1.03	1.46	1.17	-32.06	22.7	10.26	34.55	8.86
UKESM1-0-LL_r111p1f2_CMIP6	21.32	17.12	8.76	19.12	16.58	0.81	1.57	0.43	1.26	1.02	-70.51	13.8	67.5	2.59	38.6
UKESM1-0-LL_r101p1f2_CMIP6	16.54	17.85	2.1	26.62	15.78	1.74	1.72	0.68	0.97	1.28	-24.46	20.34	-4.47	-0.61	9.93
UKESM1-0-LL_r91p1f2_CMIP6	3.55	16.07	20.85	3.29	10.94	1.3	1.45	0.82	0.96	1.13	-7.81	1.13	22.21	-3.58	2.99
UKESM1-0-LL_r81p1f2_CMIP6	12.57	14.84	36.11	9.92	18.36	1.33	0.75	0.63	1.18	0.97	-14.44	-10.82	28.28	-12.72	4.8
UKESM1-0-LL_r41p1f2_CMIP6	8.02	15.4	13.06	23.07	14.89	1.3	1.12	0.65	1.29	1.09	-1.44	5.45	41.77	9.09	13.72
UKESM1-0-LL_r31p1f2_CMIP6	11.94	4.12	8.95	21.51	11.63	1.15	0.9	0.84	1.04	0.98	-60.59	-18.7	18.67	-12.14	12.6
UKESM1-0-LL_r21p1f2_CMIP6	5.6	17.37	8.92	6.34	9.56	1.31	1.13	0.72	0.94	1.02	-0.69	67.83	77.15	-26.28	29.5
UKESM1-0-LL_r11p1f2_CMIP6	7.5	15.81	8	3.4	8.68	1.01	1.52	0.36	1.31	1.05	-11.35	13.31	-15.09	-2.08	1.87
NESM3_r21p1f1_CMIP6	15.34	14.29	50.01	20.82	25.12	1.62	1.11	0.67	0.69	1.02	-53.53	-9.47	9.11	0.64	13.45
NESM3_r11p1f1_CMIP6	16.48	16.54	21.02	2.3	14.08	0.97	0.97	0.61	0.81	0.84	-8.08	71.16	0.79	-24.71	9.79
MPI-ESM1-2-HR_r101p1f1_CMIP6	7.21	27.65	22.29	23.92	20.27	1.36	1.02	0.99	1.07	1.11	1.4	51.45	35.2	62.5	37.64
MPI-ESM1-2-HR_r91p1f1_CMIP6	5.87	29.48	40.97	38.35	28.67	1.3	0.97	0.71	1.09	1.02	-14.7	60.16	24.92	50.63	37.6
MPI-ESM1-2-HR_r81p1f1_CMIP6	3.77	26.23	27.17	25.14	20.58	1.36	0.99	0.67	1.13	1.04	-32.25	77.49	15.52	11.42	34.17
MPI-ESM1-2-HR_r71p1f1_CMIP6	5.55	54.66	37.3	34.49	33	1.33	1.01	0.55	1.17	1.01	-17.38	1.32	4	34.73	14.36
MPI-ESM1-2-HR_r61p1f1_CMIP6	7.39	27.78	22.68	7.31	16.29	1.64	0.76	0.6	0.92	0.98	-13.22	80.07	-11.58	-6.99	18.68
MPI-ESM1-2-HR_r51p1f1_CMIP6	13.07	34.31	19.45	23.32	22.54	1.21	0.94	0.53	0.86	0.89	-4.57	98.66	60.43	-10.82	35.92
MPI-ESM1-2-HR_r41p1f1_CMIP6	21.02	28.94	17.75	10.54	19.56	1.26	0.55	0.57	1.07	0.86	-11.5	-44.94	-2.09	2.89	-13.93
MPI-ESM1-2-HR_r31p1f1_CMIP6	7.88	45.48	16.42	29.22	24.75	1.39	1.12	0.72	1.16	1.1	60.8	43.18	4.08	9.14	29.3
MPI-ESM1-2-HR_r21p1f1_CMIP6	23.79	28.01	32.93	22.5	26.81	1.34	0.72	0.97	0.84	0.97	-30.77	-19.45	27.31	68.8	26.66
MPI-ESM1-2-HR_r11p1f1_CMIP6	1.26	2.19	33.1	20.26	14.2	0.93	0.73	0.56	1.13	0.84	-11.28	85.92	-4.18	-0.75	23.07
MPI-ESM1-2-HAM_r21p1f1_CMIP6	5.18	34.38	7.03	28.53	18.78	1.43	0.93	0.67	1.01	1.06	-13.91	42.46	38.44	30.48	31.32
MPI-ESM1-2-HAM_r11p1f1_CMIP6	10.28	26.39	27.81	3.27	16.94	1.34	0.97	0.67	1.07	1.01	1.12	75.9	81.58	43.26	50.46
MIROC-ES2L_r11p1f2_CMIP6	4.95	4.61	40.32	29.84	19.93	1.25	0.89	0.77	1.5	1.05	-57.79	97.85	55.55	30.18	60.34
EC-Earth3_r161p1f1_CMIP6	6.67	29.75	38.05	47.06	30.39	0.75	1.41	0.59	1.16	0.98	-22.91	14.94	19.1	0.29	2.85
EC-Earth3_r131p1f1_CMIP6	16.12	40.85	17.58	40.1	28.66	1.49	1.35	0.62	1.13	1.15	-30.43	48.53	-9.19	26.09	23.96
EC-Earth3_r111p1f1_CMIP6	7.35	20.64	43.04	30.61	25.41	0.83	1.32	0.48	0.98	0.85	-24.43	16.55	4.67	45.82	10.65
EC-Earth3_r91p1f1_CMIP6	23.27	18.43	5.59	33.28	20.14	1	1.65	0.7	0.54	0.97	-8.67	12.33	6.35	-30.96	-5.24
EC-Earth3_r61p1f1_CMIP6	4.45	19.89	37.47	49.76	27.89	1.18	1.18	0.65	0.64	0.91	-1.41	-8.6	-3.3	-13.09	-6.8
EC-Earth3_r41p1f1_CMIP6	20.15	23.96	8.56	29.65	20.58	1.6	1.4	0.69	0.95	1.16	-45.53	10.63	69.87	-1.82	31.05
EC-Earth3_r11p1f1_CMIP6	4.18	10.69	5.31	15.13	8.83	1.18	1.21	0.45	0.78	0.91	-1.57	-0.44	27.84	-9.66	3.94
CNRM-ESM2-1_r161p1f2_CMIP6	6.31	29.51	31.85	9.45	19.28	1.37	0.81	0.44	0.7	0.83	-4.95	-21.42	-20.38	-16.96	-13.45
CNRM-ESM2-1_r41p1f2_CMIP6	4.41	12.83	34.76	18.24	17.56	1.25	1.19	0.95	1.23	1.15	-12.43	-2.73	24.98	-5.49	7.3
CNRM-ESM2-1_r11p1f2_CMIP6	6.32	49.95	37.75	26.02	30.01	0.97	1.13	0.62	1.19	0.98	-9.13	21.56	-2.5	10.89	5.21
CNRM-CM6-1_r21p1f2_CMIP6	1.98	4.08	16.57	6.33	7.24	1.41	1.9	0.51	1.03	1.21	-4.54	26.07	76.62	33.6	32.94
CNRM-CM6-1_r11p1f2_CMIP6	12.85	24.05	20.95	19.7	19.38	0.96	1.05	0.81	0.64	0.86	-15.22	-11.41	-2.83	-23.78	-13.31
CanESM5_r91p2f1_CMIP6	35.13	11.33	12.52	3.93	15.73	0.95	0.79	0.52	1.18	0.86	-65.94	-10.88	-12.14	-1.8	10.28
CanESM5_r91p1f1_CMIP6	9.33	6.09	5.18	3.82	6.1	1.05	0.94	0.83	1.34	1.04	9.31	-15.29	68.61	15.41	19.51
CanESM5_r61p2f1_CMIP6	13.88	12.13	2.88	2.66	7.89	0.42	0.96	0.54	1.06	0.75	-37.03	-15.29	-16.19	-20.28	-22.2
CanESM5_r61p1f1_CMIP6	21.93	5.83	2.17	3.63	8.39	0.57	0.95	0.5	1.24	0.81	-30.23	-4.65	-14.39	24.95	-6.08
CanESM5_r71p2f1_CMIP6	26.3	16.66	6.21	3.33	13.63	1.17	0.88	0.76	1.09	0.98	-45.66	-10.88	31.18	42.18	27.03
CanESM5_r71p1f1_CMIP6	25.83	6.1	22.6	16.8	17.83	1.05	0.96	0.55	0.81	0.84	57.8	-8.94	2.95	-15.88	8.98
CanESM5_r61p2f1_CMIP6	42.97	8.31	20.71	5.37	19.34	1.37	1.14	0.73	0.86	1.03	-15.91	-6.66	6.95	-26.18	-2.5

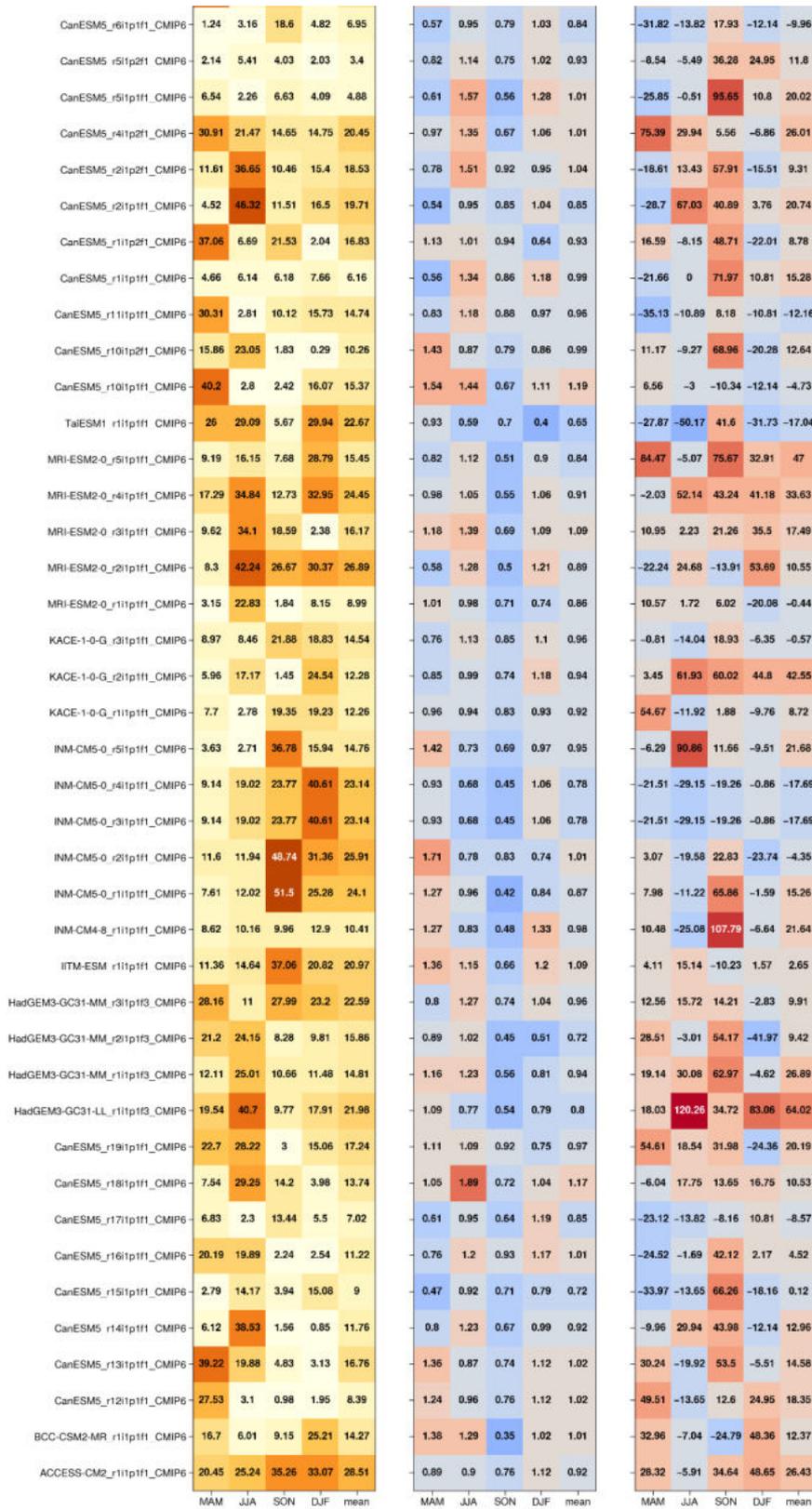


Abbildung 38: Heatmaps der Metriken zu der ersten Empirical Orthogonal Function (erste EOF) für die Qualitätskontrolle der GCMs. Detailbeschreibung im Haupttext

Central European Zonal Index

	$\sigma_{z_{cm}}/\sigma_{z_{cs}}$ of principal components					$q_{cod_{z_{cm}}}/q_{cod_{z_{cs}}}$ of principal components				
IPSL-CM6A-LR_r321p1f1_CMIP6	1.12	1.06	0.95	0.93	1.01	0.92	0.43	-2.66	1.06	-0.06
IPSL-CM6A-LR_r141p1f1_CMIP6	1.04	1.2	0.86	0.94	1.01	1.79	0.66	-25.55	-5.09	-7.05
IPSL-CM6A-LR_r111p1f1_CMIP6	0.92	1.27	1.15	0.83	1.04	1.84	0.46	1.48	-7.34	-0.89
IPSL-CM6A-LR_r101p1f1_CMIP6	1.02	1.1	0.88	0.96	0.99	-0.4	0.44	-1.05	0.94	-0.02
IPSL-CM6A-LR_r91p1f1_CMIP6	1.18	1.22	1.18	0.8	1.09	-2.45	0.77	-1.75	-1.11	-1.14
IPSL-CM6A-LR_r81p1f1_CMIP6	1.1	1.22	1.04	0.79	1.04	-0.91	0.57	-5.7	0.9	-1.28
IPSL-CM6A-LR_r71p1f1_CMIP6	0.91	1.07	1.16	0.98	1.03	4.44	1.12	2.21	-15.55	-1.95
IPSL-CM6A-LR_r61p1f1_CMIP6	1.16	1.01	1.11	0.76	1.01	-0.66	0.41	-9.32	0.6	-2.24
IPSL-CM6A-LR_r51p1f1_CMIP6	1.19	1.19	0.98	0.9	1.06	-5.88	1.13	-4.24	1.64	-1.84
IPSL-CM6A-LR_r41p1f1_CMIP6	1.24	1.25	1	0.88	1.09	1.24	0.45	1.05	1.29	1.01
IPSL-CM6A-LR_r31p1f1_CMIP6	0.9	1.21	1.09	0.72	0.98	-1.11	1.45	-5.8	-1.17	-1.66
IPSL-CM6A-LR_r21p1f1_CMIP6	0.82	1.03	1.02	0.91	0.95	-0.61	0.52	3.86	1.16	1.23
IPSL-CM6A-LR_r11p1f1_CMIP6	1.07	1.05	1.07	0.81	1	6.42	1.58	1.9	-1.26	2.16
MIROC6_r31p1f1_CMIP6	0.76	1.05	0.93	0.7	0.86	-3.27	0.92	5.84	3.79	1.82
MIROC6_r21p1f1_CMIP6	0.78	1.04	0.93	0.68	0.86	-3.05	0.39	5.34	-17.17	-3.62
MIROC6_r11p1f1_CMIP6	0.71	0.84	0.99	0.64	0.8	-1.73	1	-1.38	-1.41	-0.88
NorESM2-LM_r31p1f1_CMIP6	1.17	1.26	1.24	0.88	1.14	1.98	0.75	16.69	-1.49	4.98
NorESM2-LM_r21p1f1_CMIP6	1.13	1.19	1.2	0.97	1.12	-0.62	0.39	-2.08	0.47	-0.46
NorESM2-LM_r11p1f1_CMIP6	1.14	1.22	1.25	0.97	1.15	9.62	0.35	-4.89	0.79	1.47
NorESM2-MM_r31p1f1_CMIP6	0.96	1.13	1.59	0.82	1.12	1.68	-1.85	1.23	3.73	1.2
NorESM2-MM_r21p1f1_CMIP6	1.06	1.29	1.09	0.98	1.1	1.38	0.33	-1.07	-1.72	-0.27
NorESM2-MM_r11p1f1_CMIP6	1.01	1.13	1.23	0.77	1.03	-1.07	0.54	5.48	0.39	1.33
FOALS-g3_r11p1f1_CMIP6	1.05	0.98	1.15	0.73	0.98	-1.59	1.11	-3.53	8.75	1.19
CNRM-CM6-1_r61p1f2_CMIP6	0.87	0.91	0.96	0.73	0.87	-15.75	0.58	4.99	-0.66	-2.71
CNRM-CM6-1_r51p1f2_CMIP6	1	1.18	0.87	0.81	0.96	5.07	-3.02	1.83	0.65	1.13
CNRM-CM6-1_r41p1f2_CMIP6	0.95	1.15	0.96	0.81	0.97	5.89	0.63	6.77	0.48	3.44
CNRM-CM6-1_r31p1f2_CMIP6	1.07	1.01	1.05	0.75	0.97	-5.58	-25.94	-3.52	-1	-9.01
MPI-ESM1-2-LR_r91p1f1_CMIP6	1.04	1.01	1.04	0.73	0.95	1.01	1.42	47.55	2.21	13.05
MPI-ESM1-2-LR_r81p1f1_CMIP6	1.09	0.88	0.97	0.75	0.92	-1.19	0.84	-1.65	-107.57	-27.39
MPI-ESM1-2-LR_r71p1f1_CMIP6	1.16	0.98	0.88	0.8	0.95	28.14	14.78	-5.94	-6.23	7.69
MPI-ESM1-2-LR_r61p1f1_CMIP6	0.88	0.86	0.95	0.78	0.87	-1.44	-0.62	-6.63	1.04	-1.91
MPI-ESM1-2-LR_r51p1f1_CMIP6	1.08	1.07	1.01	0.7	0.97	-2.7	-5.66	-2.45	-0.77	-2.9
MPI-ESM1-2-LR_r41p1f1_CMIP6	0.99	1.01	1.02	0.79	0.95	1.97	0.32	-1.24	0.81	0.47
MPI-ESM1-2-LR_r31p1f1_CMIP6	1.08	0.81	1	0.84	0.93	-1.68	2.47	2.15	4.4	1.84
MPI-ESM1-2-LR_r21p1f1_CMIP6	0.9	0.99	1.16	0.77	0.95	46.2	-4.61	-6.83	-0.72	8.51
MPI-ESM1-2-LR_r11p1f1_CMIP6	0.99	1.01	1.16	0.7	0.97	6.01	-2.1	2.82	-6.38	0.09
MPI-ESM1-2-LR_r101p1f1_CMIP6	0.96	0.96	1.15	0.82	0.97	-4.59	3.27	5.46	10.01	3.54
MIROC-ES2L_r31p1f2_CMIP6	0.87	1.04	0.97	0.64	0.88	0.48	1.12	0.77	-0.47	0.48
MIROC-ES2L_r21p1f2_CMIP6	0.9	1.12	0.99	0.61	0.9	1.28	0.83	-1.54	0.57	0.28
MIROC-ES2L_r11p1f2_CMIP6	0.79	1.12	0.9	0.63	0.86	0.92	0.48	1.01	-1.39	0.26
MPI-ESM-1-2-HAM_r21p1f1_CMIP6	1.21	0.95	1.31	0.87	1.08	2.25	0.58	-22.27	-0.33	-4.94
MPI-ESM-1-2-HAM_r11p1f1_CMIP6	1.09	1	0.94	0.92	0.99	-0.78	0.43	2.22	0.7	0.64
MPI-ESM1-2-HR_r91p1f1_CMIP6	1.11	1	0.85	0.76	0.93	-1.52	1.12	4.12	-0.89	0.71

	MPI-ESM1-2-HR_r81p1f1_CMIP6	1.08	0.85	1.16	0.64	0.93	-4.38	1.69	1.56	7.65	1.63
	MPI-ESM1-2-HR_r71p1f1_CMIP6	0.89	1	0.95	0.67	0.88	1.12	0.55	3.3	0.75	1.43
	MPI-ESM1-2-HR_r61p1f1_CMIP6	0.97	1.14	1.03	1.01	1.04	-1.36	8.43	-7.15	-3.41	-0.87
	MPI-ESM1-2-HR_r51p1f1_CMIP6	1.06	1	0.83	0.68	0.89	1.4	0.58	-1.59	31.1	7.87
	MPI-ESM1-2-HR_r41p1f1_CMIP6	0.67	0.88	1.13	0.86	0.93	-1.78	2.2	5.16	158.81	41.1
	MPI-ESM1-2-HR_r31p1f1_CMIP6	0.95	0.8	0.92	0.75	0.85	6.79	0.95	-5.54	2.03	1.06
	MPI-ESM1-2-HR_r21p1f1_CMIP6	1	0.79	0.89	0.8	0.87	0.94	-4.89	3.07	-0.4	-0.32
	MPI-ESM1-2-HR_r11p1f1_CMIP6	1.03	1.07	0.89	0.69	0.92	4.33	0.51	1.45	-0.48	1.45
	MPI-ESM1-2-HR_r101p1f1_CMIP6	0.89	0.9	0.98	0.74	0.88	-2.33	0.68	4.43	-6.31	-0.88
	EC-Earth3_r91p1f1_CMIP6	0.96	0.82	1.24	0.82	0.96	2.1	-3.62	3.9	0.87	0.81
	EC-Earth3_r61p1f1_CMIP6	0.91	0.94	1.04	0.82	0.93	42.7	0.45	3.45	-5.03	10.39
	EC-Earth3_r41p1f1_CMIP6	0.95	0.9	0.94	0.76	0.89	-11.04	1.43	-1.49	-0.75	-2.96
	EC-Earth3_r11p1f1_CMIP6	0.82	0.8	1.11	0.76	0.87	-3.04	0.87	-1.67	-2.28	-1.53
	EC-Earth3_r151p1f1_CMIP6	1	1.06	1.09	0.7	0.96	-2.01	0.53	0.88	0.5	-0.02
	EC-Earth3_r131p1f1_CMIP6	0.96	0.84	0.96	0.78	0.89	1.47	1.19	-2.33	7.23	1.89
	EC-Earth3_r111p1f1_CMIP6	0.9	0.81	0.88	0.84	0.86	3.8	-1.43	-1.85	-0.64	-0.03
	NESM3_r21p1f1_CMIP6	1.01	1.54	0.86	0.48	0.97	3.73	-5.59	-339.97	-0.21	-85.51
	NESM3_r11p1f1_CMIP6	1.05	1.06	1.04	0.76	0.98	1.38	0.43	-6.97	0.46	-1.18
	UKESM1-0-LL_r91p1f2_CMIP6	1.2	1.03	1.27	0.85	1.09	0.53	0.47	-2.69	-5.03	-1.68
	UKESM1-0-LL_r81p1f2_CMIP6	1.16	1.06	1.09	0.87	1.04	-1.4	0.63	1.43	0.66	0.33
	UKESM1-0-LL_r41p1f2_CMIP6	1.15	0.88	1.11	0.84	0.99	-6.1	12.41	5.16	-1.11	2.59
	UKESM1-0-LL_r31p1f2_CMIP6	0.97	1.07	1.15	0.74	0.98	3.96	1.29	2.17	-0.41	1.75
	UKESM1-0-LL_r21p1f2_CMIP6	1.07	0.99	1.05	0.79	0.98	1.09	0.66	1.29	0.34	0.84
	UKESM1-0-LL_r11p1f2_CMIP6	0.98	0.92	1.2	0.96	1.01	-2.82	0.66	-0.65	-1.17	-0.99
	UKESM1-0-LL_r191p1f2_CMIP6	1.23	1.05	1.17	0.76	1.05	-5	1.78	-2.26	0.92	-1.14
	UKESM1-0-LL_r181p1f2_CMIP6	1.2	1.05	1.14	0.77	1.04	1.44	0.54	0.85	1.19	1
	UKESM1-0-LL_r171p1f2_CMIP6	0.93	0.99	1.21	0.87	1	1.59	0.57	-3.6	-0.81	-0.56
	UKESM1-0-LL_r161p1f2_CMIP6	1.19	0.86	1.18	0.84	1.02	6.31	-2.6	2.54	-0.46	1.45
	UKESM1-0-LL_r121p1f2_CMIP6	1.17	0.94	1.11	0.81	1.01	0.66	0.54	11.73	-8.82	0.78
	UKESM1-0-LL_r111p1f2_CMIP6	1.1	1.04	1.17	0.81	1.03	-1.8	-0.46	-27.14	0.55	-7.21
	UKESM1-0-LL_r101p1f2_CMIP6	1.1	0.91	1.01	0.81	0.96	8.85	0.64	-2.12	-0.75	1.66
	CNRM-CM6-1_r21p1f2_CMIP6	0.92	1.04	1.06	0.82	0.96	0.71	0.54	3.75	1.57	1.64
	CNRM-CM6-1_r11p1f2_CMIP6	1.11	1.01	1.02	0.84	0.99	-1	13.52	-1.55	-0.75	2.55
	CNRM-ESM2-1_r51p1f2_CMIP6	1.06	0.97	1.04	0.72	0.95	-0.65	-1.58	-1.46	1.24	-0.61
	CNRM-ESM2-1_r41p1f2_CMIP6	0.86	0.95	1.09	0.82	0.93	5.81	0.73	1.61	1.23	2.34
	CNRM-ESM2-1_r11p1f2_CMIP6	1.02	0.91	1.06	0.78	0.94	-1.27	1.23	102.22	0.52	25.67
	CanESM5_r91p2f1_CMIP6	1.07	1.12	0.95	0.9	1.01	-1.77	0.47	-27.67	4.93	-6.01
	CanESM5_r91p1f1_CMIP6	1.02	1.04	0.97	0.86	0.97	16.93	0.48	4.13	-0.77	5.19
	CanESM5_r81p2f1_CMIP6	1.04	1.32	1.09	0.91	1.09	-1.47	6.9	3.19	-0.74	1.97
	CanESM5_r81p1f1_CMIP6	0.95	1.17	1.06	0.58	0.97	3.36	0.65	-3.14	45.5	11.59
	CanESM5_r71p2f1_CMIP6	1.07	1.1	1.24	0.88	1.07	-1.26	0.74	-4.89	0.99	-1.1
	CanESM5_r71p1f1_CMIP6	0.98	1.02	0.85	0.86	0.93	-5.58	1.41	3.79	0.4	0.01
	CanESM5_r61p2f1_CMIP6	0.94	1.16	1	0.8	0.97	1.32	0.83	-1.39	-2.21	-0.36
	CanESM5_r61p1f1_CMIP6	1.02	1.19	1.09	0.96	1.06	1.24	0.96	0.83	-0.59	0.61

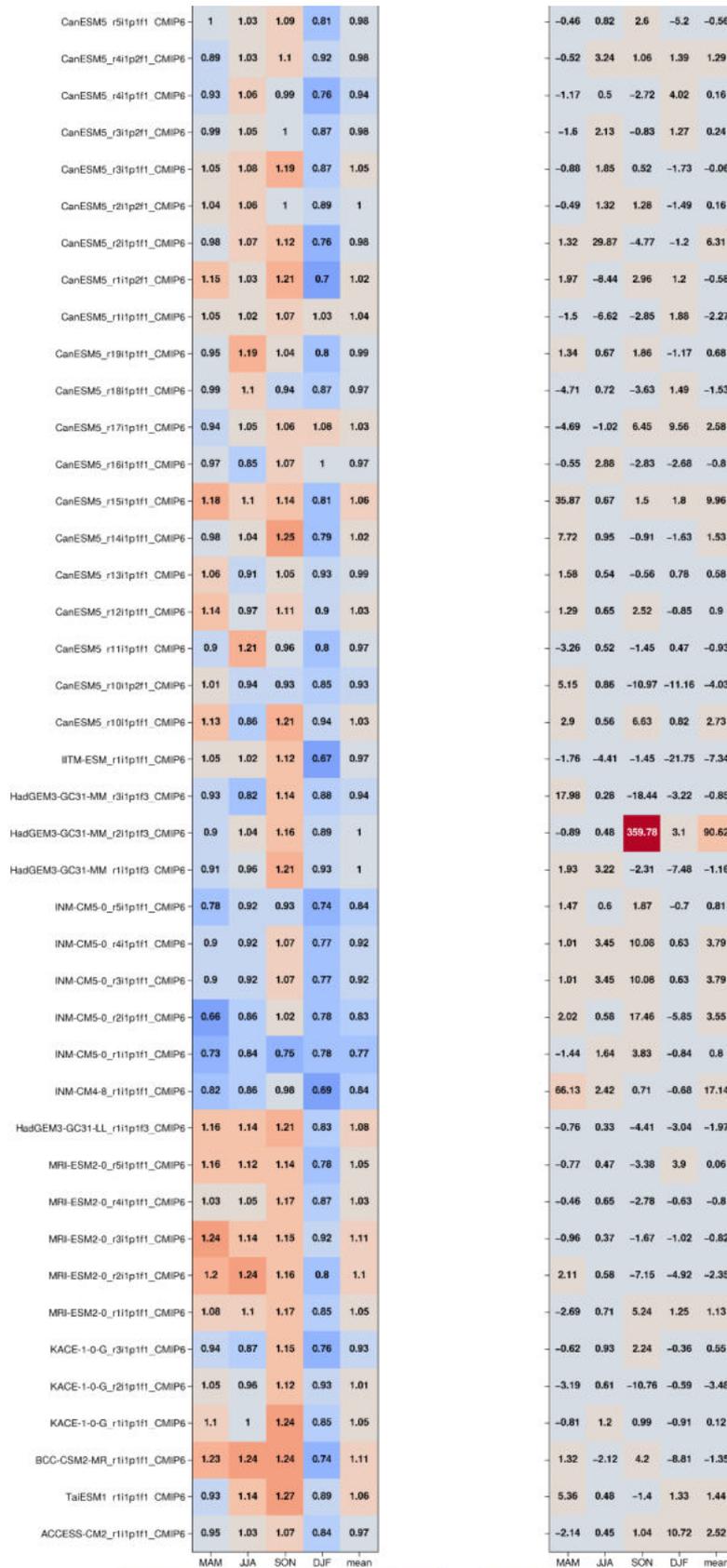


Abbildung 39: Heatmaps der Metriken zu dem Central-European-Zonal-Index (CEZI) für die Qualitätskontrolle der GCMs. Detailbeschreibung im Haupttext.

### 5.1.2 Regionale Klimamodellierung (Downscaling)

Für das Downscaling der grobskaligen GCMs wird die Analogmethode als Modell verwendet. Diese stellt eine sogenannte „perfect prognosis“-Methode dar. Hierbei werden grobskalige Prädiktoren mittels Beobachtungen an lokalskalige Prädiktanden gekoppelt, um ein entsprechendes Modell zu kalibrieren. Das kalibrierte Modell wird dann auf die grobskaligen Prädiktoren der GCMs angewendet. Die Analogmethode wird auf Tagesbasis, mit einem sich mitbewegenden Fenster rund um den aktuellen Tag angewendet. Als Maß für die Bestimmung von Analoga wird die euklidische Norm der Hauptkomponenten zwischen GCM und Reanalyse verwendet. Als ein stochastisches Element wird das Analogon eines bestimmten Tages zufällig aus den besten 10 Analoga gewählt. Eine allgemeine Beschreibung der Analogmethode ist in Zorita und von Storch (1999) und für die eingebaute Zufallskomponente in Beersma und Buishand (2003) zu finden. Die Spezifikation der Analogmethode lautet wie folgt:

- Gewichtung des Gitters für die EOF Analyse: Cosinus-Latitude-Gewichte
- Erklärte Varianz der EOF-Analyse: > 90%
- Fensterbreite: 30 Tage
- Prädiktoren:
  - Für 2m Temperatur/Minimumtemperatur: Temperatur 850 hPa, Geopotentielle Höhe 850 hPa
  - Für Niederschlag: Spezifische Feuchte 500 hPa, Temperatur 500 hPa, Geopotentielle Höhe 500 hPa

Beispielhaft ist für das GCM CanESM5-historical-r1i1p1f1 die erklärte Varianz und die Anzahl der erforderlichen EOFs für das Downscaling der Temperatur je Jahrestag in Abbildung 40 zu sehen. Markant ist das Minimum der erklärten Varianzen bzw. das Maximum der zu verwendenden EOFs im Sommer, was durch die strukturiertere räumliche Ausprägung erklärbar ist. Dadurch sind mehr EOFs erforderlich, um eine erklärte Varianz von 90% zu erreichen. Abbildung 41 zeigt selbiges für den Niederschlag. Das jahreszeitliche Muster folgt einem ähnlichen Verlauf, weist jedoch einen stärkeren Kontrast zwischen Sommer, welcher stark durch Konvektion geprägt ist, und Winter auf. Während der Unterschied in der Anzahl der EOFs für die Temperatur nur 20% ausmacht (von 10 auf 12), liegt dieser beim Niederschlag bei über 100% (von 18 auf 38). Dies spiegelt die schwierigere Abbildung des EOF-Modells für das Niederschlagsfeld wider, welches inhärent aufgrund der Nicht-Stetigkeit komplexere Muster als das Temperaturfeld aufweist.

Total number of EOFs (top) and explained variance per EOF (bottom) and day of year  
Multivariate EOF: ta850, zg850; CMIP6/CanESM5/historical/r1i1p1f1

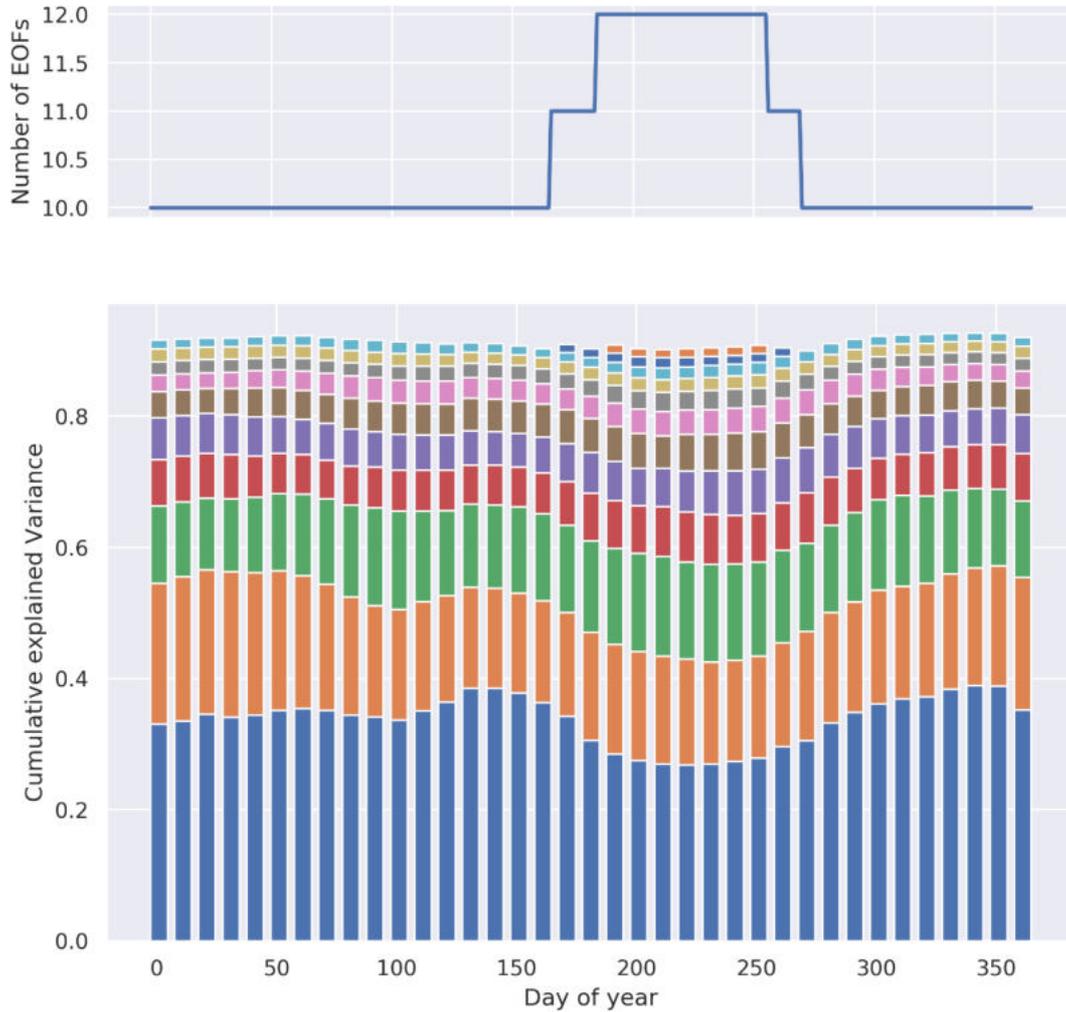


Abbildung 40: Anzahl der EOFs (oben) und zugehörige erklärte Varianz (unten) für die multivariate EOF der Temperaturprädiktoren.

Total number of EOFs (top) and explained variance per EOF (bottom) and day of year  
Multivariate EOF: zg500, ta500, hus500; CMIP6/CanESM5/historical/r1i1p1f1

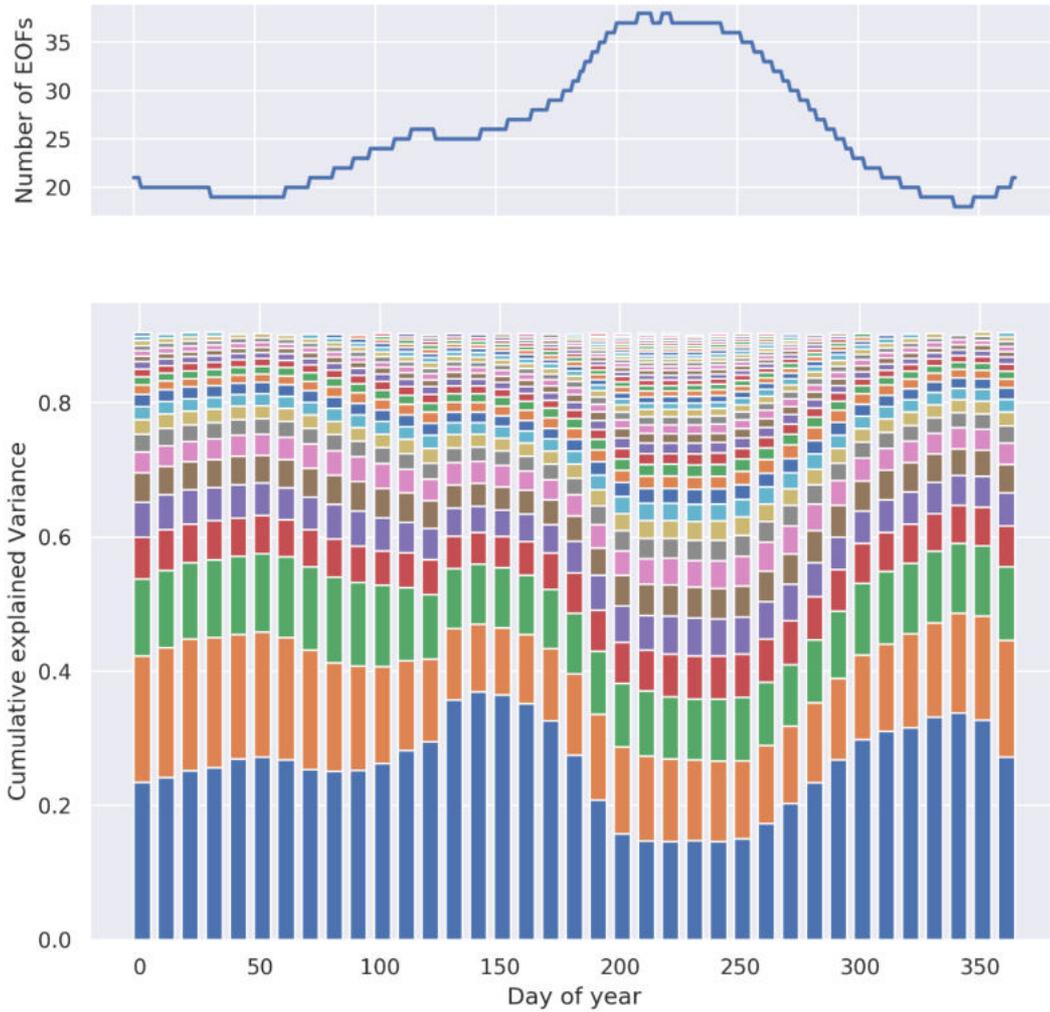


Abbildung 41: Anzahl der EOFs (oben) und zugehörige erklärte Varianz (unten) für die multivariate EOF der Niederschlagsprädiktoren.

Für die historische Zeitperiode von 1981-2010 sind folgend Verifikationsmaße zu sehen.

Für die Temperatur und Minimumtemperatur der absolute Bias

$$Bias\ absolut = |x_{Modell} - x_{Beobachtung}|$$

und für den Niederschlag der relative Bias

$$Bias\ relativ = \left| \frac{x_{Modell} - x_{Beobachtung}}{x_{Beobachtung}} \right|$$

der Jahresmittelwerte. Wobei  $\bar{\cdot}$  den Mittelwert über die Zeit angibt.

Beispielhaft dafür ist in Abbildung 42 erneut für das GCM CanESM5-historical der absolute Bias der Minimumtemperatur zu sehen. Dieses Modell weist dabei einen warmen Bias auf – die Minimumtemperatur ist im Mittel höher als die der Beobachtung – der jedoch bis auf eine Region im Grenzgebiet Salzburg-Tirol nicht sonderlich stark ausgeprägt ist.

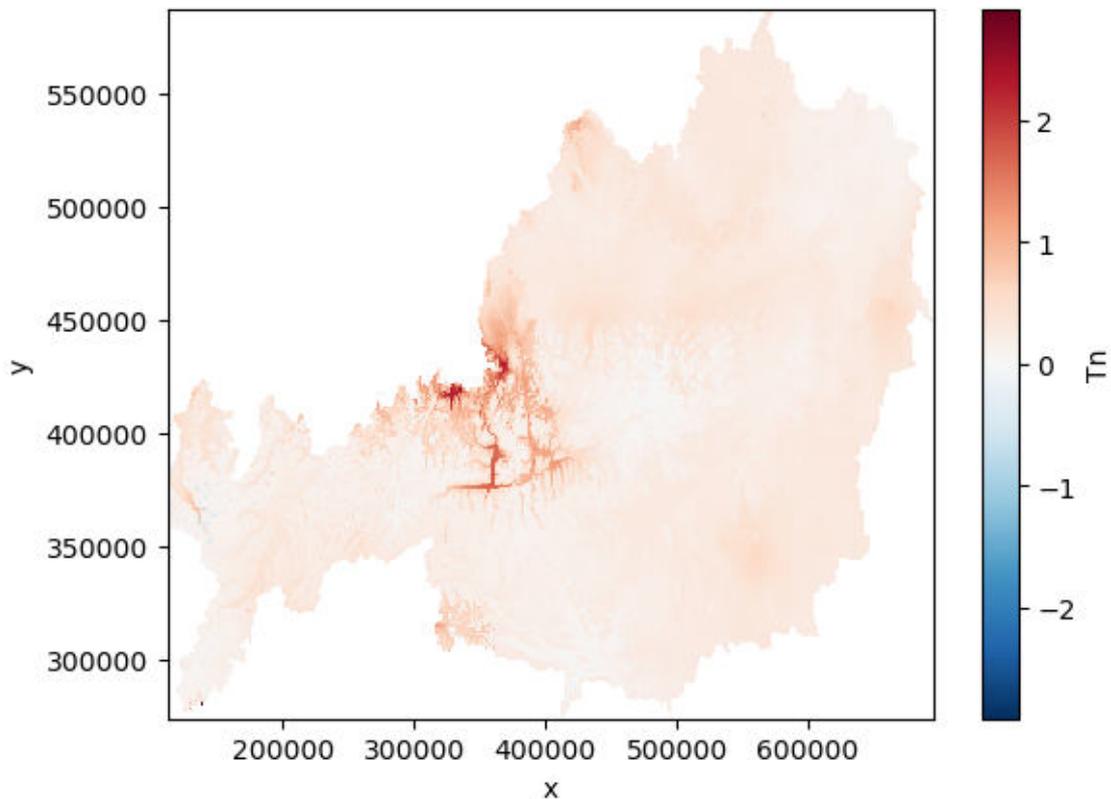


Abbildung 42: Absoluter Bias der Minimumtemperatur auf Jahresbasis. Zeitperiode 1981-2010.

In Abbildung 43 ist für selbiges GCM der relative Bias des Niederschlags zu sehen. Großräumig liegt hier ebenfalls eine eher geringe Abweichung von der Beobachtung vor. Für den Niederschlag ergibt sich jedoch kein eindeutiges Bild. Insgesamt liegt eine leichte Unterschätzung der jährlichen Niederschlagsmenge vor. Besonders markant ist das Minimum im Grenzgebiet Tirol-Kärnten, welches im Zentrum eine Unterschätzung von 30% aufweist. Für den Vergleich zwischen den Modellen sind in den Abbildung 44 und Abbildung 45 die beiden Bias in Form von Boxenplots für alle Modelle aufgetragen. Die meisten Modelle folgen einem ähnlichen Muster und weisen einen geringen warmen Bias auf, die beiden INM-CM5-0-Modelle, das HadGEM3-GC31-MM/r1i1p1f3- und MPI-ESM1-2-HR/r1i1p1f1-Modell zeichnen sich mit keinem in eine Richtung deutenden Bias aus. Einzelne Ausreißer liegen, wie in der breiten Streuung zu sehen ist, in jedem Modell vor. Markant ist hierbei die deutlich stärkere Ausprägung Richtung warmen Bias. Für den relativen Bias des Niederschlags liegt erneut ein relativ homogenes Verhalten über alle Modelle vor, mit einem geringen Bias hin zu geringeren Jahresniederschlagsmengen als die Beobachtung. Einzig das KACE-1-0-G/r3i1p1f1-Modell sticht mit keiner dominanten Richtung des Bias hervor, allerdings ist die Streubreite insgesamt bei diesem Modell stärker, während in etwa die Extreme der Unterschätzung ähnlich wie bei anderen Modellen vorliegen, ist es das einzige Modell, das eine Überschätzung von weit über 20% aufweist. Die Bias sind bei den regionalen Auswertungen gegebenenfalls zu berücksichtigen, um adäquate Abschätzungen durchführen zu können.

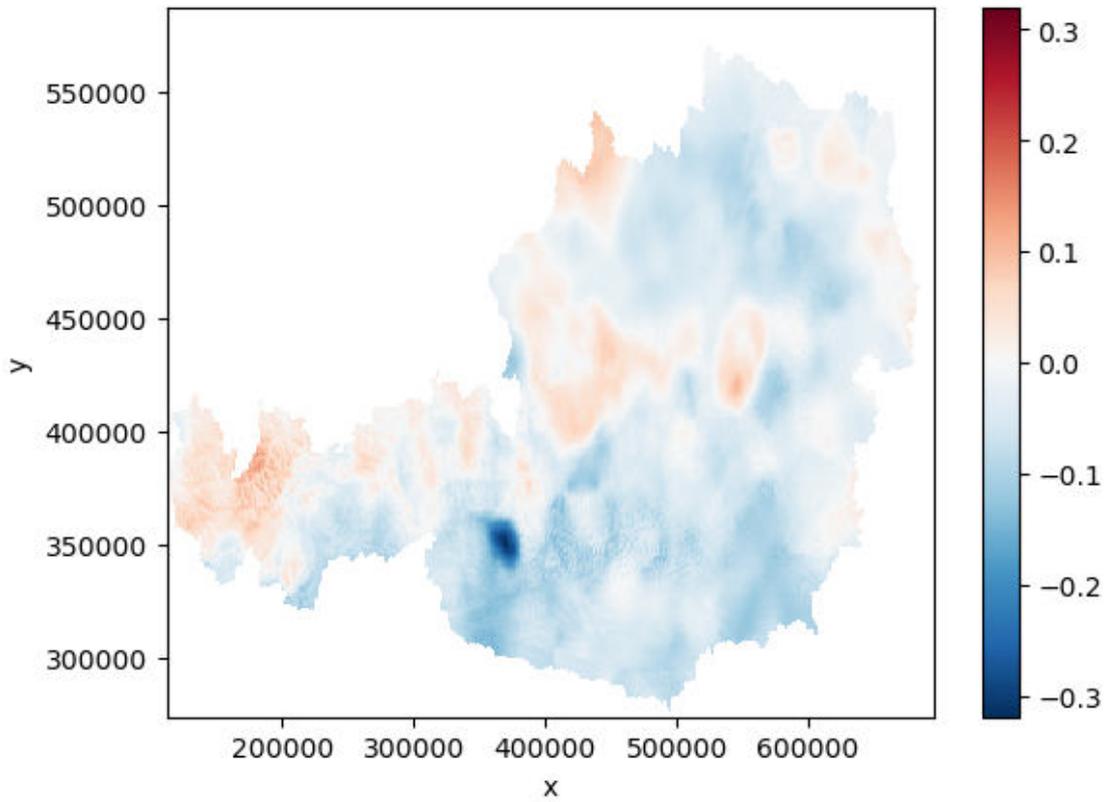


Abbildung 43: Relativer Bias des Niederschlags auf Jahresbasis. Zeitperiode 1981-2010.

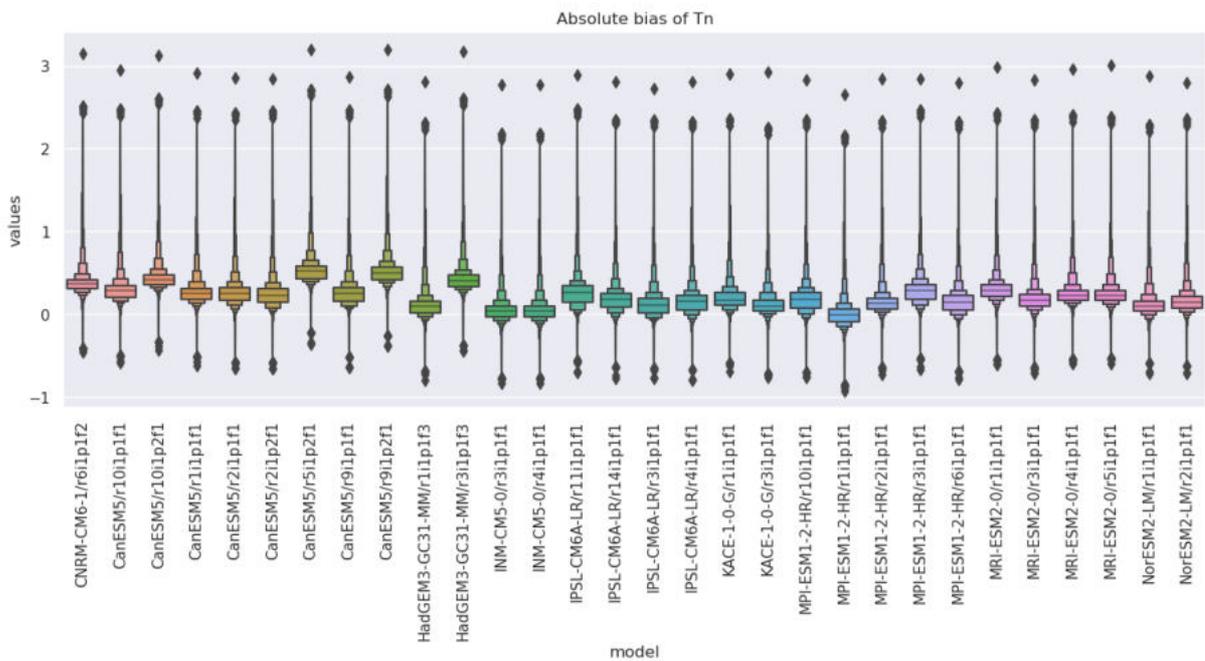


Abbildung 44: Absoluter Bias der Minimumtemperatur auf Jahresbasis. Zeitperiode 1981-2010. Boxenplots über ganz Österreich.

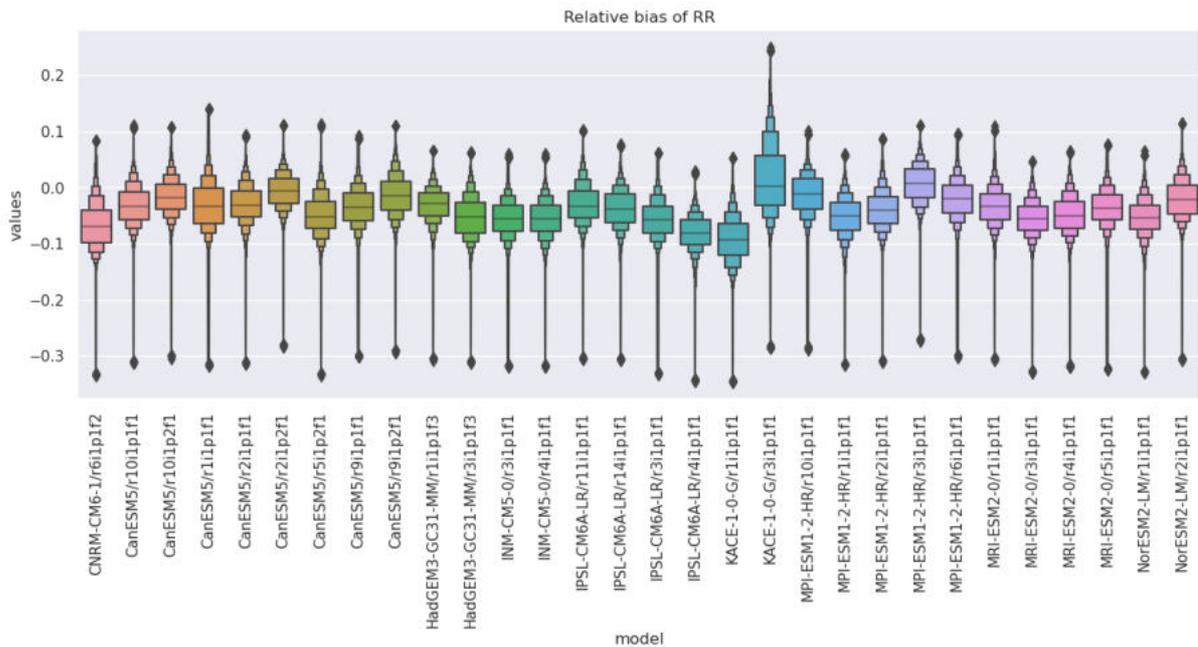


Abbildung 45: Relativer Bias des Niederschlags auf Jahresbasis. Zeitperiode 1981-2010. Boxenplots über ganz Österreich.

### 5.1.3 Generierung von Ensembles verschiedener Menschheitspfade

Aus den 32 qualitätskontrollierten GCMs (Tabelle 10) sind insgesamt 114 Läufe über die fünf Hauptexperimente verfügbar (historical, SSP126, SSP245, SSP370, SSP585 – ergo existiert nicht für jedes Modell jedes Experiment). Diese stellen das gesamte qualitätsgeprüfte Ensemble dar. Aufgeteilt auf die Experimente ergibt sich die Verteilung zu 19 Läufen für SSP126 und SSP585, 20 Läufe für SSP245 und 25 für SSP370. Die historischen Experimente sind die Grundlage für die Qualitätskontrolle, ohne welche diese nicht möglich wäre, folglich liegen entsprechend der Anzahl an qualitätsgeprüften GCMs genau 32 Läufe vor (siehe Abbildung 46).

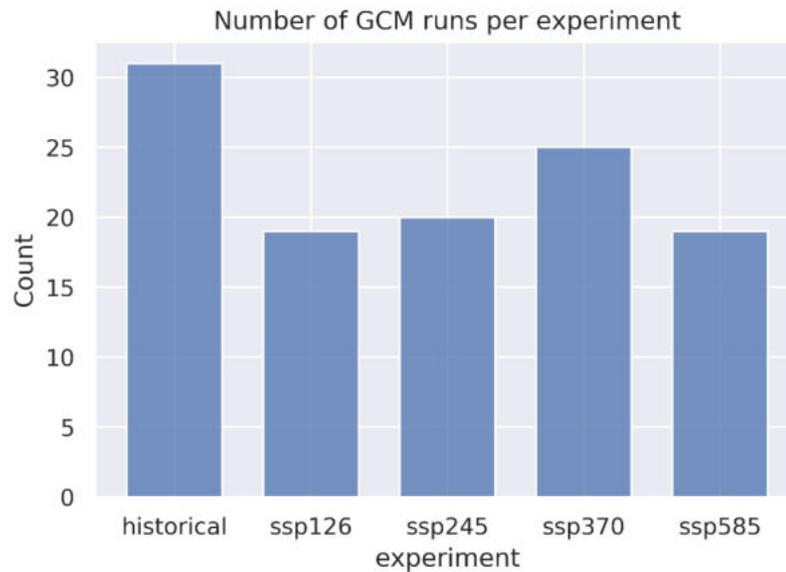


Abbildung 46: Anzahl an GCM Läufen je Experiment.

Abbildung 47 zeigt Anomalien der jährlichen Minimumtemperatur bezogen auf die Zeitperiode 1981 bis 2010. Dabei ist der Mittelwert des Ensembles als Linie und das 95% Konfidenzintervall als Schattierung zu sehen. Es zeigt sich ein gängiges Bild, das abhängig vom betrachteten Szenario mit unterschiedlich starker Erwärmung gerechnet werden muss. Dies beeinflusst entsprechend dem physikalischen Verständnis auch jene Prozesse, die zu schadensauslösenden Extremwetterereignissen führen können. Für den Niederschlag sind normalisierte Anomalien (Anomalien geteilt durch die Standardabweichung der Beobachtung) in Abbildung 48 zu sehen. Hier überwiegt kein eindeutiges Bild. Die Streubreite der Szenarien ist groß, was zu einer schlechten Trennschärfe unter den Szenarien führt. Jedoch ist eine klare Tendenz ersichtlich: Für den Niederschlag wird unter allen Szenarien eine geringe Zunahme der Niederschlagsmenge projiziert. Dies ist – ungeachtet dessen, dass lokal unterschiedliche Ausprägungen existieren können – konsistent mit der Zunahme der Temperatur, wodurch die Atmosphäre mehr Wasserdampf halten kann, welcher auch potentiell wieder ausfallen kann und damit zu höheren Niederschlagsmengen führt.

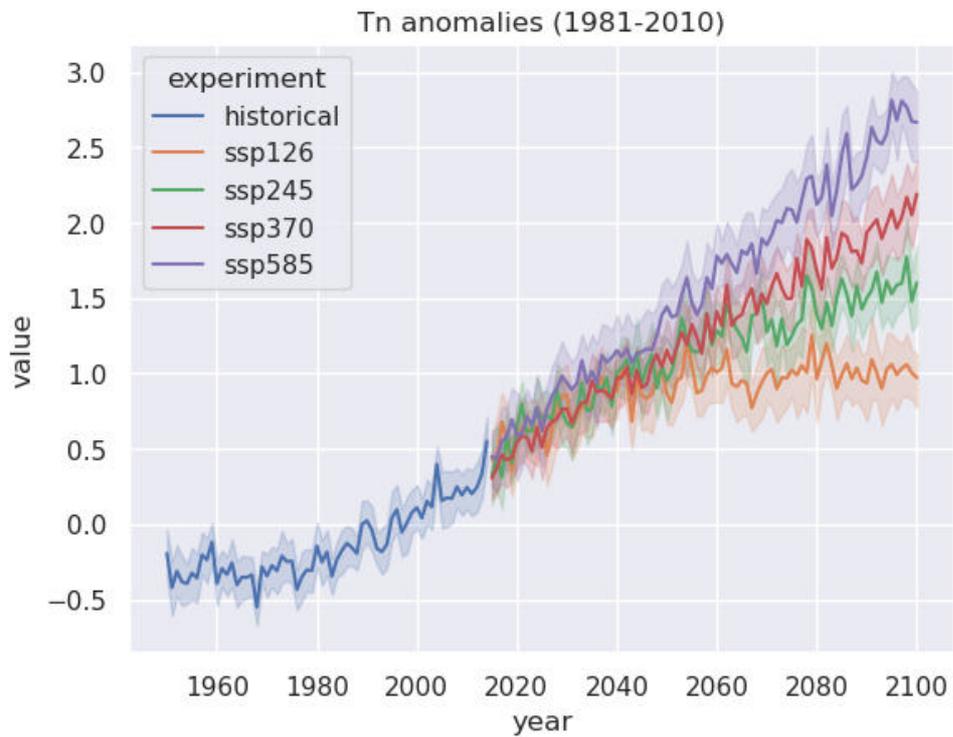


Abbildung 47: Anomalien der jährlichen Minimumstemperatur bezogen auf die Zeitperiode 1981 bis 2010.

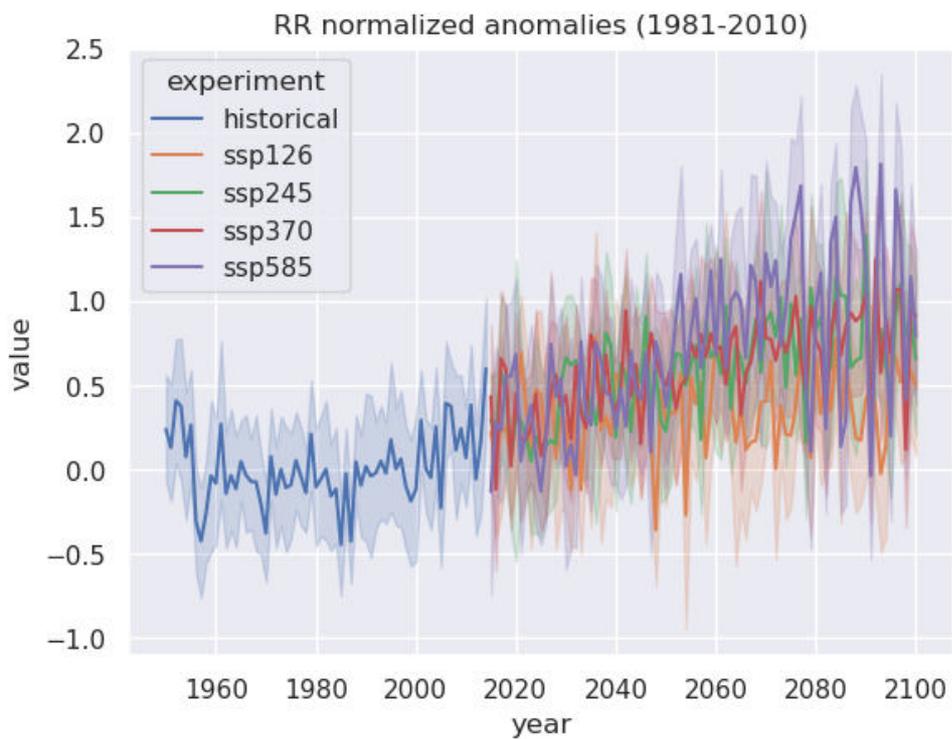


Abbildung 48: Normalisierte Anomalien des jährlichen Niederschlags bezogen auf die Zeitperiode 1981 bis 2010.

Als weiteres Maß zur Beurteilung möglicher Impacts durch klimatische Änderungen werden diverse Klimaindikatoren berechnet. Eine Auflistung ist in Tabelle 11 zu finden. Die Klimaindikatoren werden auf Gitterpunktbasis berechnet und räumlich über die ASC-Standorte gemittelt.

In Abbildung 49 ist der Klimaindikator FD (Frosttage) für die Beobachtung und das Szenario SSP585 (Mittelwert des Ensembles) zu sehen. Je nach Region liegt die Anzahl der Frosttage in der Zeitperiode 1961-1990 (*past*) zwischen 83 und 158, wobei naturgemäß in den höher liegenden Regionen die Anzahl der Frosttage größer ist. Im Vergleich zu der aktuellen Klimaperiode von 1991-2020 (*now*) hat die Anzahl der Frosttage im Mittel von 116 (*past*) auf 99 (*now*) abgenommen. Je nach Region liegt die Anzahl zwischen 70 und 138 Frosttagen. Die Abnahme findet dabei räumlich relativ gleichmäßig statt. Für das projizierte SSP585-Szenario sind die Anomalien – sprich die Änderung – bezogen auf die Zeitperiode 1961-1990 zu sehen. Eindeutig ist die ebenfalls flächendeckende gleichmäßige Entwicklung zu erkennen. Diese beträgt für den Zeitraum 2036-2065 (*near\_future*) eine Abnahme der Frosttage von im Mittel etwa 27 Tagen, und für das Ende des Jahrhunderts in der Zeitperiode 2071-2100 (*far\_future*) eine Abnahme von im Mittel etwa 45 Tagen. In Abbildung 50 ist die Verteilung über die ASC-Standorte in Form von Violinplots für alle Experimente zu sehen. Dargestellt sind dabei die Anomalien bezogen auf die Zeitperiode *past*. Hierbei ist der Unterschied zwischen den verschiedenen Szenarien eindeutig erkennbar. Es findet sich ein bereits bekanntes Bild wider, dass unter dem Szenario SSP126 – zwar im Vergleich zur Zeitperiode *now* noch eine weitere Änderung, aber – keine drastische Änderung zu erwarten ist. Weiters zeigt sich, dass die beiden Szenarien SSP245 und SSP370 in der Zeitperiode *near\_future* noch eine annähernd gleiche Verteilung aufweisen und sich der Unterschied dieser Szenarien erst gegen Ende des Jahrhunderts stark ausprägt. Es sei noch zu erwähnen, dass die gezeigten Daten Mittelwerte des Ensembles abbilden. Folgend liegen die potentiellen Extremwerte weit unter bzw. über den gezeigten Verteilungen.

Klimaindikator	Variable	Beschreibung
Frosttage: FD	Tn	Anzahl Tage eines Jahres mit $T_n < 0^\circ\text{C}$
Hitzetage: HD	Tx	Anzahl Tage eines Jahres mit $T_x > 30^\circ\text{C}$
Mitteltemperatur	T	Mittlere Temperatur eines Jahres
Maximaler 1-Tages-Niederschlag: Rx1day	RR	Maximale Niederschlagsmenge an einem Tag
Maximaler 5-Tages-Niederschlag: Rx5day	RR	Maximale 5-Tages Niederschlagsmenge
Starkniederschlagstage: R20mm	RR	Anzahl Tage mit $\geq 20$ mm Niederschlag

Tabelle 11: Berechnete Klimaindikatoren. Die Variable gibt an von welchem Parameter der Klimaindikator berechnet wird.

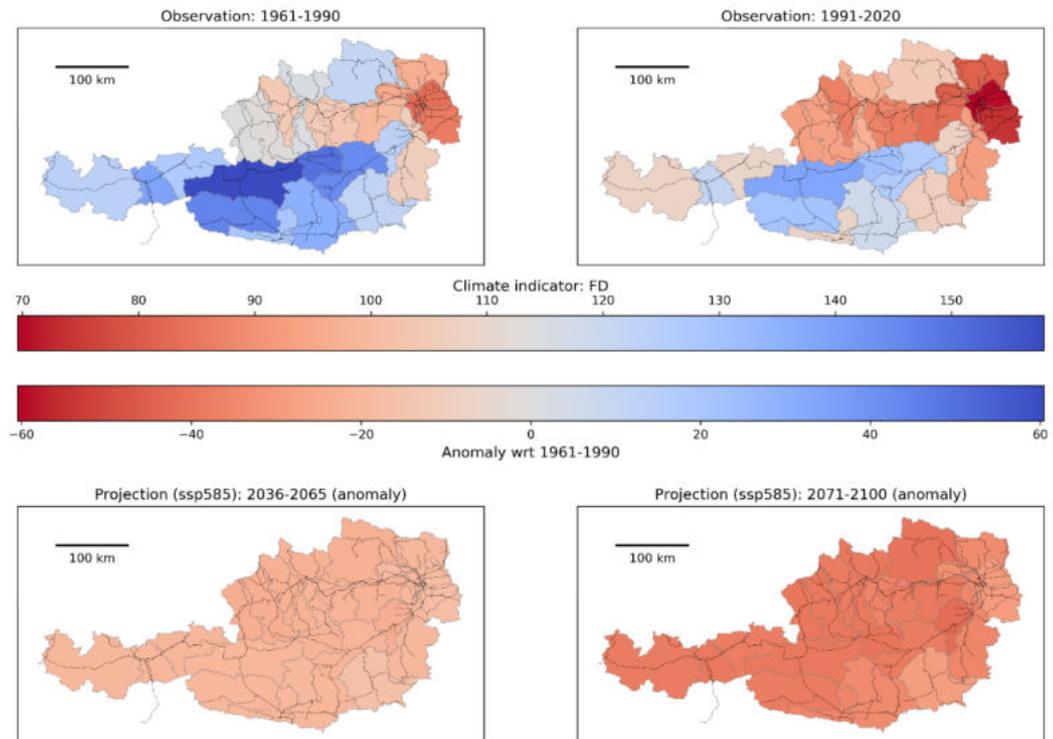


Abbildung 49: Klimaindikator FD (Frosttage) für die Beobachtung und das Szenario-SSP585. Die obere Reihe zeigt den Klimaindikator berechnet aus Beobachtungsdaten (SPARTACUS) für eine historische (1961-1990; links) und die aktuelle (1991-2020; rechts) Klimaperiode. Die untere Reihe zeigt Anomalien eines Szenarios bezogen auf die historische Periode (1961-1990) an, wobei links die Zeitperiode *near\_future* (2036-2065) und rechts *far\_future* (2071-2100) zu sehen ist. Abgebildet als räumliche Mittelwerte je ASC Region. Das ÖBB-Schienennetz ist als schwarze Linie eingezeichnet.

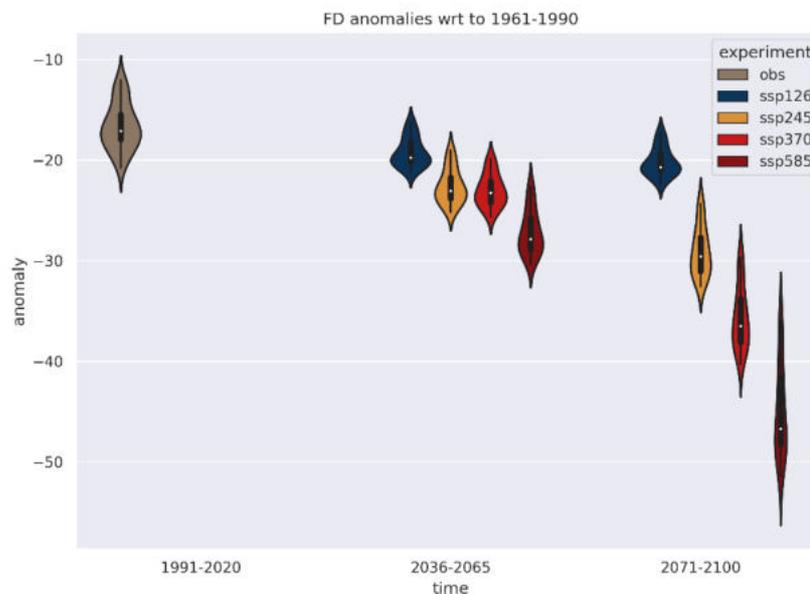


Abbildung 50: Violinplot zur Verteilung der Anomalien des Klimaindiktors FD über alle ASC-Standorte. Referenzwert für die Anomalie-Berechnung ist die Zeitperiode 1961-1990. Dargestellt sind die drei Zeitperioden *now* (1991-2020), *near\_future* (2036-2065) und *far\_future* (2071-2100).

Analog zu den Frosttagen ist in Abbildung 51 die Anzahl der Hitzetage zu sehen. Die räumlichen Eigenschaften sind vergleichbar mit jenen der Frosttage von Abbildung 49. Geringe Unterschiede sind natürlich zu erwarten, da die Frosttage von der Minimumtemperatur und die Hitzetage von der Maximumtemperatur abhängen. Räumlich lässt sich dieser Unterschied vor allem in den Projektionen des Szenarios erkennen. Hierbei ist in den gebirgigeren Regionen keine starke Änderung zu erwarten, weil die entsprechenden Maximumtemperaturen (für Hitzetage  $> 30^{\circ}\text{C}$ ) selbst unter dem SSP585-Szenario nicht signifikant vermehrt auftreten. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass im Mittel die Temperaturen in höheren Lagen, aufgrund der physikalischen Temperaturabnahme mit der Höhe, niedriger sind. Anders ist dies jedoch in den niederen Regionen, wo mit einer deutlichen Zunahme zu rechnen ist, weil bereits jetzt durch den Temperaturbereich der aktuellen Klimaperiode Hitzetage auftreten. Über alle Regionen verteilt ist in Abbildung 52 ein Violinplot zu sehen. Auf den ersten Blick mag die Verteilung verwunderlich wirken, da im Vergleich zur Beobachtung auch ein substantieller Teil der Verteilung der Werte unterhalb der beobachteten Anomalien zeigt, dies ist jedoch eben aufgrund der differenzierten Entwicklung abhängig von der geographischen Lage und der damit verbundenen unterschiedlichen Höhe begründbar. Die Verteilung bildet dementsprechend ab, dass selbst unter dem SSP585-Szenario in den höher liegenden Regionen die Maximumtemperatur nicht stark vermehrt die Marke von  $30^{\circ}\text{C}$  überschreitet und damit nicht stark vermehrt mit Hitzetagen zu rechnen ist. Jedoch ist die Entwicklung in den Niederungen um einiges problematischer, da hier im Vergleich zu den Beobachtungen der Zeitperiode *past* für das obere Ende der Verteilungen gegen Ende des Jahrhunderts mit einer Verdreifachung bis Vervierfachung der Hitzetage zu rechnen ist. Ebenfalls analog zu den Frosttagen ist auch hier zu beachten, dass dies Mittelwerte des Ensembles darstellen und die Extremwerte sich somit über einen noch höheren Bereich erstrecken.

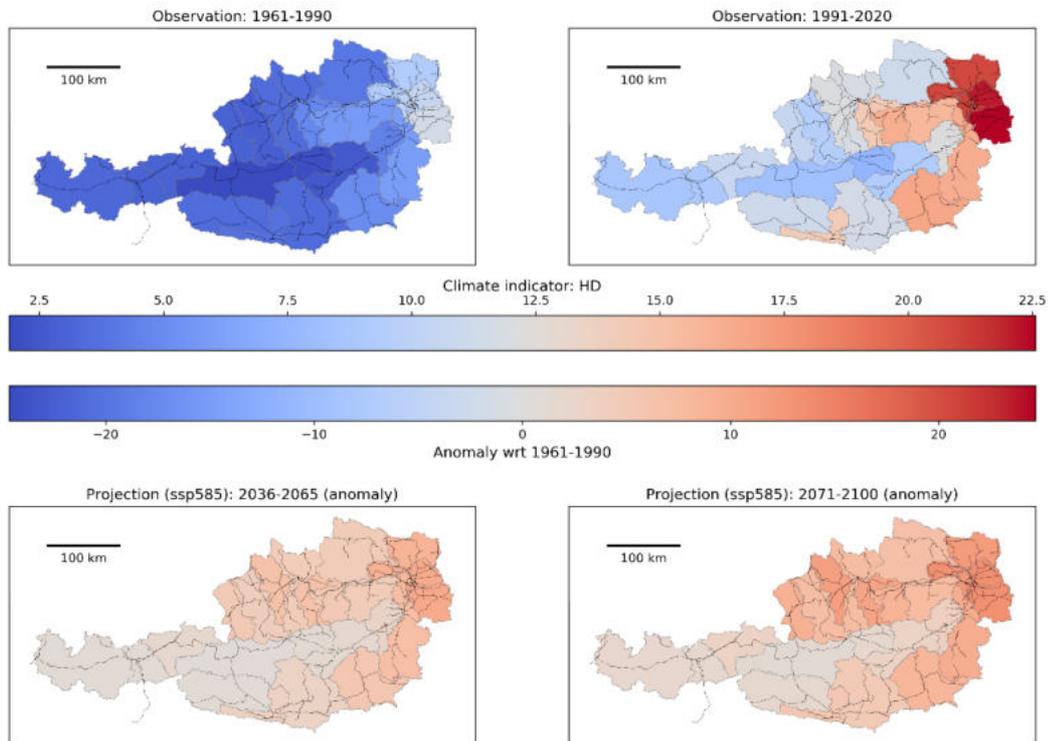


Abbildung 51: Klimaindikator HD (Hitzetage) für die Beobachtung und das Szenario SSP585. Bildaufbau wie in Abbildung 49

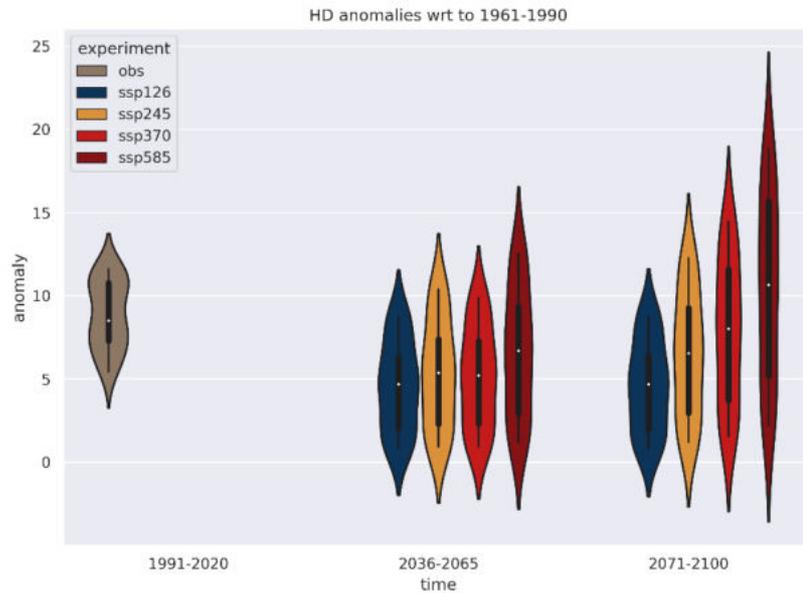


Abbildung 52: Violinplot zur Verteilung der Anomalien des Klimaindiktors HD über alle ASC-Standorte. Bildaufbau wie in Abbildung 50.

Einen weiteren Klimaindikator, welcher direkt mit der Temperatur verknüpft und keine abgewandelte Größe abhängig von bestimmten Schwellwerten ist, stellt die Jahresmitteltemperatur dar. Diese ist in den Abbildung 53 und in Abbildung 54 zu sehen. Räumlich gleicht diese dem Bild der Frosttage aus Abbildung 49. Da es sich hierbei um eine Größe unabhängig von Schwellwerten handelt, ist die Entwicklung höhenunabhängig in allen Regionen ähnlich stark zu sehen. Die Verteilung in den Violinplots aus Abbildung 53 ist ebenso stark vergleichbar mit jener der Frosttage aus Abbildung 49. Das Bild steht kopfüber, da eine höhere (Minimums-)Temperatur mit niedrigeren Frosttagen einhergeht. Gleichermäßen unterscheiden sich jedoch die beiden Szenarien SSP245 und SSP370 noch nicht in der Zeitperiode *near\_future*, wohingegen gegen Ende des Jahrhunderts die Unterschiede beider Szenarien deutlich erkennbar sind. Zu beachten ist bei dieser Darstellung, dass die Anomalien, wie bereits erwähnt und in den Abbildungen ersichtlich, gegenüber der Zeitperiode 1961-1990 berechnet worden sind und darum in Zahlenwerten geringer erscheinen als die bekanntermaßen verbreitete Erwärmung gegenüber der vorindustriellen Zeit. Dies ist entsprechend auch der Ursprung dieser scheinbaren Diskrepanz. Der Unterschied zur üblicherweise kommunizierten Anomalie der anthropogenen Erwärmung ist die bereits inkludierte Erwärmung zwischen der vorindustriellen Zeitperiode (1850-1900) und der hier angeführten historischen Zeitperiode (1961-1990).

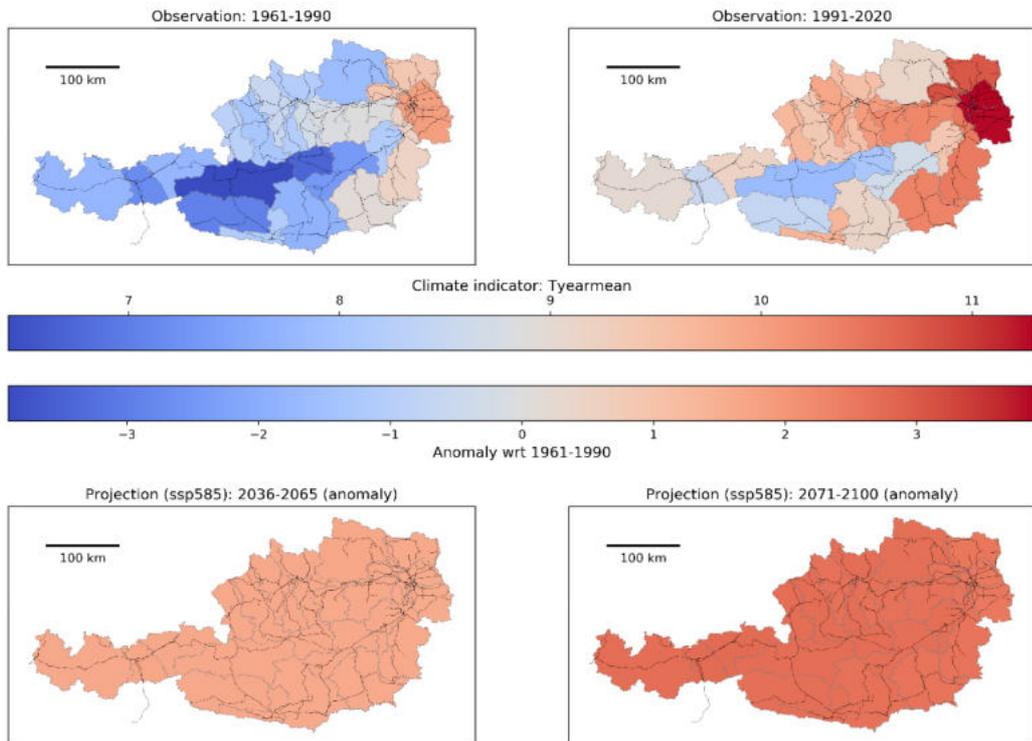


Abbildung 53: Klimaindikator Tyearmean (Jahresmitteltemperatur) für die Beobachtung und das Szenario SSP585. Bildaufbau wie in Abbildung 49.

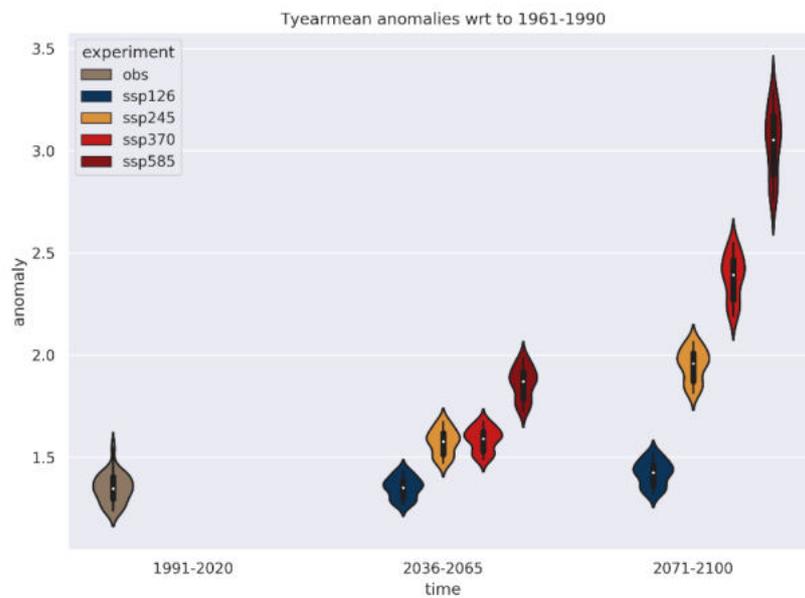


Abbildung 54: Violinplot zur Verteilung der Anomalien des Klimaindiktors Tyearmean über alle ASC-Standorte. Bildaufbau wie in Abbildung 50.

In Abbildung 55 ist der Klimaindikator R1xday und in Abbildung 56 Rx5day zu sehen. Sowohl in den Beobachtungsdaten als auch in den projizierten Szenarien (gezeigt hierbei Szenario SSP585) ist die räumliche Verteilung ähnlich. Zwei lokale Maxima in etwa im südwestlichen und im nordwestlichen Raum sind zu erkennen. Diese sind im Vergleich zum Minimum in der nordöstlichen Region in etwa doppelt so stark ausgeprägt. Die Änderung gemäß dem SSP585-Szenario ist dabei ein Gleichbleiben bis hin zu einer leichten Abnahme im südwestlichen Raum und eine deutlichere Zunahme in den restlichen Regionen. Im Verhältnis mit der Beobachtung sind dabei die Zunahmen des maximalen Ein-Tages-Niederschlags (Rx1day) und des maximalen 5-Tages-Niederschlag ähnlich. Die Verteilungen in Abbildung 57 und Abbildung 58 zeigen eine breite Streuung rund um die Verteilung der Beobachtung der aktuellen Klimaperiode. Markant ist hierbei, dass für Rx1day tendenziell über das Jahr gesehen eine geringe Abnahme erkennbar ist, bei Rx5day jedoch eine geringe Zunahme. Dies deutet auf die Wichtigkeit einer detaillierteren Analyse auf saisonaler und regionsspezifischer Basis hin.

In Abbildung 59 ist der Klimaindikator R20mm dargestellt. Im Gegensatz zu den anderen beiden Niederschlagsindikatoren liegt hierbei das Maximum eher in südlicheren Teil und es gibt kein markantes lokales Maximum im Nordwesten. Das lokale Minimum ist außerdem räumlich weiterverbreitet, wodurch sich insgesamt ein hoher West-Ost-Gegensatz ergibt. Die Änderungen für das Szenario SSP585 unterscheiden sich ebenfalls von den bisherigen Niederschlagsindikatoren. Für die Anzahl der Tage mit über 20 mm ist hierbei praktisch in keiner Region mit einer Abnahme zu rechnen, sehr wohl weit verbreitet jedoch mit einer Zunahme. Beachtet man die genauen Zahlenwerte, schlagen sich die Änderungen hierbei je nach Region mit bis zu mehr als einer Verdopplung nieder. Die Verteilungen in Abbildung 60 geben diese markanten Änderungen wieder. Hierbei ist vor allem die breite Streubreite des Szenarios SSP585 markant, wobei vor allem ein substantieller Anteil der Verteilung weit über den anderen Szenarien und der Beobachtung liegt (der weiße Punkt in dem Boxplot innerhalb der Violine gibt den Mittelwert an).

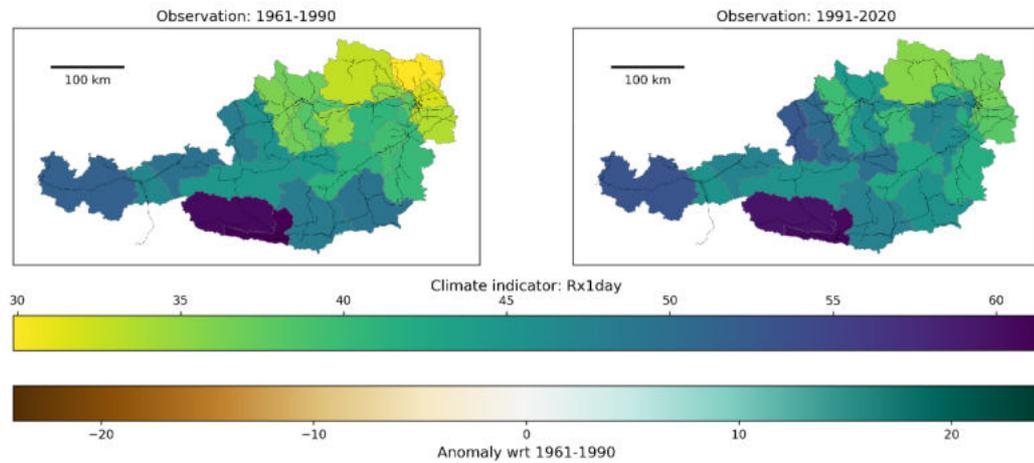


Abbildung 55: Klimaindikator Rx1day (maximaler 1-Tages-Niederschlag) für die Beobachtung und das Szenario SSP585. Bildaufbau wie in Abbildung 49.

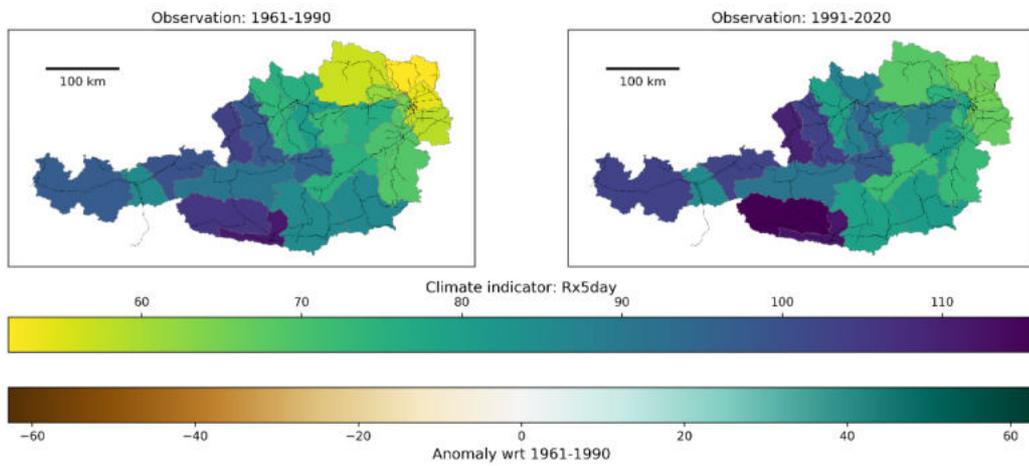


Abbildung 56: Klimaindikator Rx5day (maximaler 5-Tages-Niederschlag) für die Beobachtung und das Szenario SSP585. Bildaufbau wie in Abbildung 49.

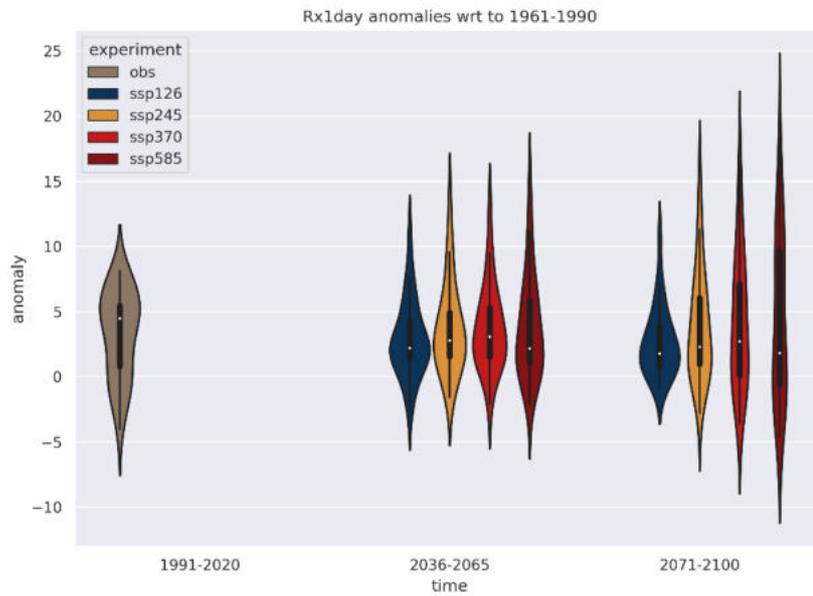


Abbildung 57: Violinplot zur Verteilung der Anomalien des Klimaindiktors Rx1day über alle ASC-Standorte. Bildaufbau wie in Abbildung 50.

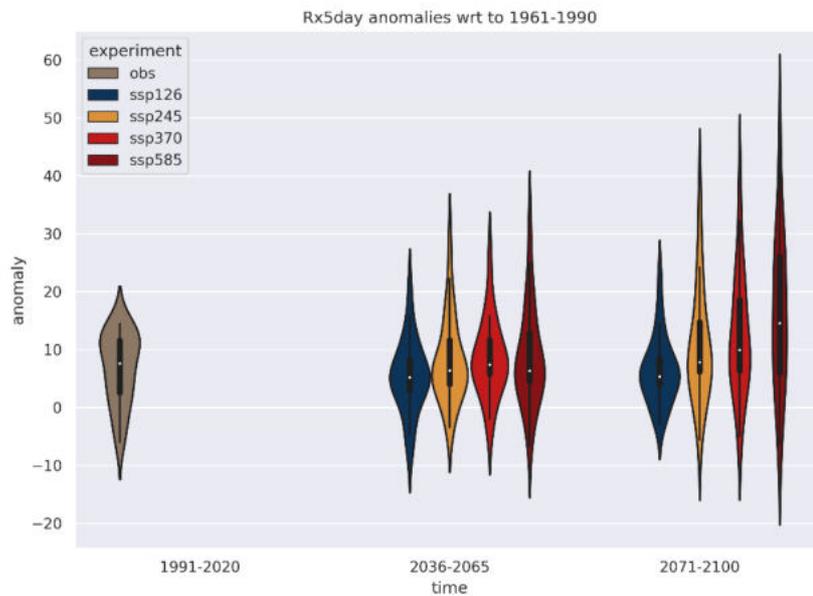


Abbildung 58: Violinplot zur Verteilung der Anomalien des Klimaindiktors Rx5day über alle ASC-Standorte. Bildaufbau wie in Abbildung 50.

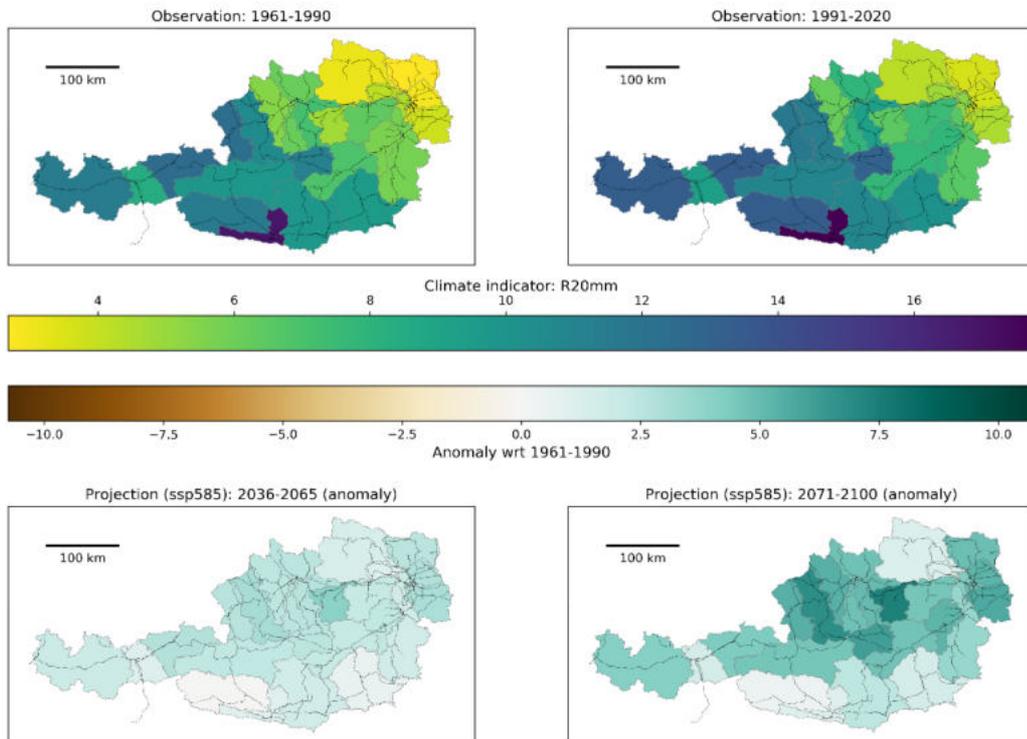


Abbildung 59: Klimaindikator R20mm (Anzahl Tage mit über 20 mm Niederschlag) für die Beobachtung und das Szenario SSP585. Bildaufbau wie in Abbildung 49.

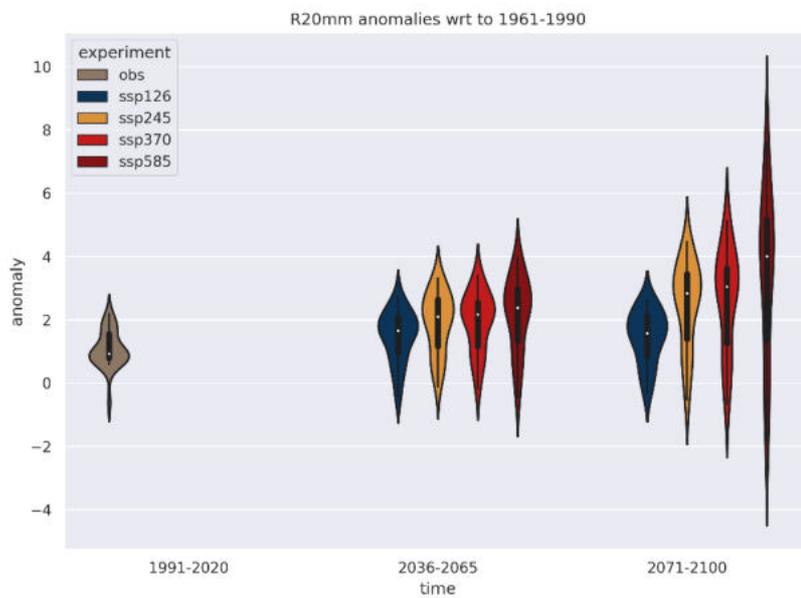


Abbildung 60: Violinplot zur Verteilung der Anomalien des Klimaindiktors R20mm über alle ASC-Standorte. Bildaufbau wie in Abbildung 50.

## 5.2 Etablierung von Schadereignis-Korridoren für zwei Zeithorizonte basierend auf den Climate Indices

Die Climate Indices (CIs) sind hilfreich, um Muster zu finden, welche basierend auf Schadereignisdaten die vorangehende Wetterentwicklung abbilden. Um diese in die Zukunft für potentielle Events projizieren können, ist noch ein wichtiges Element essentiell: Wie kann ein potentielles Event bestimmt werden? In den CIs stellen die, aus der EOF-Analyse gewonnenen, Principal Components (PCs) ein Maß dafür da, wie stark ein entsprechendes Muster einer Wetterwicklung mit jenem eines CIs einer Schadereigniskategorie übereinstimmt. Dementsprechend können potentielle Events ermittelt werden, indem meteorologische Daten in den EOF-Raum projiziert werden, wodurch die sogenannten Pseudo Principal Components (PPCs) generiert werden und die PPCs mit den PCs aus den Beobachtungsdaten verglichen werden. Die PCs selbst spannen dabei einen N-dimensionalen Raum (entsprechend zum EOF-Raum) auf, wobei N gleich der Anzahl der EOFs ist. In unserem Fall gilt für alle Schadereigniskategorien  $N=3$ . Ein potentielles Event wird dann registriert, wenn die korrespondierenden PPCs sich innerhalb einer bestimmten euklidischen Distanz zu den PCs befinden.

Der Wert dieser Distanz kann über verschiedene Verfahren ermittelt werden. Hier wurde ein *leave-one-out* Kreuzvalidierungsverfahren verwendet, um die durchschnittliche Distanz zwischen den PCs der Beobachtungen zu bestimmen. Dazu wurde über alle Beobachtungen iteriert und die EOF-Analyse für alle außer einer Beobachtung (jene über die gerade iteriert wird) in jeder Iteration berechnet. Für die ausgelassene Beobachtung werden dann PPCs berechnet und die euklidische Distanz zu allen PCs ermittelt. In jedem Iterationsschritt wird dabei das Minimum dieser Distanzen vermerkt. Schlussendlich wird über alle Iterationsschritte gemittelt und der dabei resultierende Wert stellt den Schwellwert dar, unter welchen PPCs als potentielles Event gezählt werden.

Nach dem Ermitteln des Schwellwerts für potentielle Events, was für jede Schadereigniskategorie durchgeführt werden muss, können die Gefahren-Korridore bzw. *Hazard Development Corridors* (HDCs) berechnet werden. Die Berechnung ist dabei unterteilbar in einen Datenvorbereitungsschritt, das Projizieren in den EOF-Raum und das Bestimmen der potentiellen Events. Die Datenvorbereitung findet analog zu jener für die CI-Berechnung statt. Sprich, die Prädiktoren werden in eine Matrix zu 8-Spalten (korrespondierend zu den 8 Tagen: 7 Tage vor einem Event und der Tag des Events selbst) transformiert. Der Unterschied zwischen dem Vorgang zur Bestimmung der CIs ist jedoch der,

dass dabei bestimmte Tage und deren vorangehende Woche ausgewählt wurden (abhängig von den tatsächlich beobachteten Schadereignissen). Für die Bestimmung von potentiellen Events muss demnach der umgekehrte Weg gegangen werden: Für eine Zeitreihe der entsprechenden Prädiktoren eines Gitterpunkts (bzw. analog zur CI-Berechnung: Mittelwert über den jeweiligen Gitterpunkt und den vier angrenzenden Gitterpunkten) wird eine Matrix erstellt, die jede mögliche 8-Tagessequenz dieser Zeitreihe als eine Reihe beinhaltet. Dies garantiert, dass alle möglichen potentiellen Events auch tatsächlich gefunden werden können. Diese Matrix wird dann in den EOF-Raum transformiert, wodurch für jede dieser 8-Tagessequenzen PPCs generiert werden. Über den davor bestimmten Schwellwert kann dann für jede dieser Sequenzen ermittelt werden, ob es sich um ein potentielles Event handelt. Je ASC-Standort wird dies für fünf zufällige Gitterpunkte durchgeführt.

Die HDCs bilden die Änderung des Gefahrenpotentials ab, indem potentielle Events sowohl für historische Perioden als auch für zukünftige Events berechnet werden. Die potentiellen Events für zukünftige Perioden werden dann über jene der historischen normiert, womit ein sogenannter *hazard risk index* entsteht. Dieser gibt demnach die Änderung des Gefahrenpotentials an und stellt folglich eine Größe dar, die zur Risikobewertung verwendet werden kann. Die inhaltliche Aussage dieses Index bezieht sich jedoch rein auf die Frequenz des zugrundeliegenden Phänomens und beschreibt in keiner Weise dessen Amplitude. Diese kann jedoch mittels den Klimaindikatoren für entsprechende Schadkategorien qualitativ abgeschätzt werden.

Die Berechnung des *hazard risk index* findet auf saisonaler Basis statt. Da bestimmte Kombination aus Schadkategorien und Saisonen sich naturgemäß häufen, werden folgende Kombinationen genauer betrachtet:

- Flooding: JJA
- Mudslide: JJA, SON
- Wind-storm: JJA, DJF
- Falling-rock: DJF, MAM
- Snow: DJF

In Abbildung 61 sind die normalisierten *hazard risk indices* für *Flooding* in der Saison JJA zu sehen. Die Boxplots zeigen über die Box das untere und obere Quartil (25stes und 75stes Perzentil) an, den Mittelwert als horizontalen Strich in der Box, sowie die 1.5-fache Interquantilweite über die Whiskers. Die Skala des Index auf der y-Achse ist normalisiert,

spricht der Wert 1 entspricht einer Standardabweichung der historischen Verteilung. 2.5 Standardabweichungen entsprechen dem 99.4 Perzentil, das Ende der Whiskers in etwa 2.7 Standardabweichungen (der historischen Verteilung, welche nicht dargestellt ist). Die einzelnen Subplots stellen die ASC-Standorte dar und jeder Subplot enthält 2 Gruppen:

- a) links ist die Zeitperiode *near\_future* (2036-2065);
- b) rechts *far\_future* (2071-2100).

Abgebildet sind jeweils die vier Szenarien (siehe Legende rechts unten in der Abbildung). Die einzelnen Boxen stellen dabei die Verteilung über die berechneten Werte des *hazard risk index* dar, welche monataweise für alle vorhandenen Gitterpunkte in dem entsprechenden ASC-Standort berechnet und auf Saisonen aggregiert worden sind. Abbildung 61 zeigt nun den Index für *Flooding* in der Saison JJA. Ein Blick auf die aufgezeichneten Schadereignisse gibt die bisherigen ASC-Brennpunkte wider. Dies waren unter anderen Linz Kleinmünchen, Linz HBF, Salzburg, Selzthal und St. Johann im Pongau, mit den ASC-IDs 8, 9, 12, 16 und 19 (siehe Tabelle 12 für eine vollständige Übersicht zwischen ASC-Standort und ID). Der *hazard risk index* lässt sich in diesen ASC-Standorten in grob zwei Gruppen unterteilen: Linz Kleinmünchen, Linz Hbf, und Selzthal weisen in der Zeitperiode *near\_future* eine geringe Erhöhung, vor allem im oberen Extremwertbereich, für die Szenarien SSP370 und SSP585 auf. Die beiden anderen Szenarien zeigen keine substantielle Änderung auf. Für die *far\_future* weist jedoch auch das SSP245 Szenario eine geringe Zunahme, erneut vor allem im oberen Extremwertbereich, auf. Noch markanter sticht die erhöhte Zunahme des *hazard risk index* für die beiden Szenarien SSP370 und SSP585 hervor. Das obere Ende der Whiskers erreicht beim Szenario SSP585 je nach Region etwa 4.5 bis 5.5 Standardabweichungen (vgl. Beobachtungsverteilung bei 2.7 Standardabweichungen). Der Mittelwert verändert sich jedoch nicht gleichermaßen, was daraufhin deutet, dass vor allem die extremen Werte der Verteilung sich stärker verändern. Praktisch bedeutet dies – da der Index eine Frequenz abbildet – dass vor allem unter den Szenarien SSP370 und SSP585 gegen Ende des Jahrhunderts das Potential für *Flooding*-Schadereignisse in der Saison JJA zunimmt. Ein Blick über alle ASC-Standorte in Abbildung 61 zeigt, dass diese substantielle Änderung für fast alle ASC-Standorte zutrifft.

In Abbildung 62 und Abbildung 63 sind die *hazard risk indices* für Mudslide in den Saisonen JJA und SON zu sehen. Die gemäß Beobachtungen dabei stark betroffenen ASC-Standorte sind Leoben, Selzthal, St. Johann im Pongau und Spittal. Hier zeigt sich übergeordnet ein stark

zweigeteiltes Bild. Letzteres, für die Saison SON, zeigt praktisch keine Änderung im Vergleich zur Beobachtung. Einige ASC-Standorte weisen zwar eine geringe Zu- oder Abnahme des Index auf, diese ist jedoch so gering, dass es sich um nicht substantielle Änderungen handelt. Anders sieht dies für die Saison JJA aus. Hier liegt ein vergleichbares Bild wie für *Flooding* vor. Dies liegt an den vergleichbaren Auslösemustern, die bereits in den CIs erkannt wurden. Für die am meisten betroffenen ASC-Standorte lässt sich festhalten, dass in der *near\_future* nur das Szenario SSP585 zu einem höheren Potential für Schadereignis-induzierende Wetterverläufe führt, in der *far\_future* jedoch bereits selbst in den Szenarien SSP245 und SSP370 mit einer potentiellen Zunahme zu rechnen ist. Das Potential steigt dabei mit den Szenarien folgend an  $SSP585 > SSP370 > SSP245 > SSP126 = \text{Beobachtung}$ .

Für die Schadereigniskategorie *Wind-storm* ergibt sich grob betrachtet ebenfalls eine saisonale Zweiteilung. Abbildung 64 zeigt dies für die Saison JJA und Abbildung 65 für die Saison DJF. Letztere weist für alle Szenarien eine geringe Abnahme des Gefahrenpotentials auf, welches in *near\_future* und *far\_future* in etwa gleichliegt. Für JJA scheint hingegen bei allen Szenarien außer SSP585 keine substantielle Änderung ersichtlich. Einzig bei SSP585 ist eine geringe Abnahme zu sehen, allerdings ist diese insgesamt schwächer ausgeprägt als in der Saison DJF. Die Änderungen allgemein weisen in beiden Saisonen praktisch keine räumliche Komponente auf und sind in allen Regionen durchwegs konsistent zu sehen. Die Abnahme des Gefahrenpotentials ist in den Szenarien unterschiedlich stark ausgeprägt, wobei das Szenario SSP126 am ehesten den aktuellen Beobachtungen entspricht und die anderen Szenarien im Schnitt eine stärkere Abnahme des Gefahrenpotentials aufweisen. Jedoch ist zu erwähnen, dass sich hierbei vor allem der „mittlere Teil“ der Verteilung (die „Box“ im Boxplot) verschiebt, die oberen Extremwerte (Whiskers) jedoch gleichbleiben. Am stärksten fällt dies für die Saison JJA unter dem Szenario SSP585 auf: Während die Whiskers in etwa mit den anderen Szenarien gleichauf liegen, liegt der Mittelwert (horizontale Linie in der Box) deutlich darunter. Ein Grund für die allgemeine Verschiebung mit zunehmend stark ausgeprägtem Klimawandel könnte damit einhergehende Zunahme in der Persistenz von Wetterlagen sein. Der Index spiegelt die Frequenz über eine Saison wider. Liegt nun eine erhöhte Persistenz von Wetterlagen vor, so sinkt die Anzahl an Tagen, an denen Gefahrenpotential herrscht. Damit einhergehend nimmt auch der *hazard risk index* ab. Dabei ist erneut wichtig zu betonen, dass darin keinerlei Aussage über die Intensität enthalten ist. Das Nicht-Abnehmen der hohen Extremwerte des Indizes könnte darauf hindeuten, dass sehr wohl vergleichbare Schadereignisausmaße wie in den aktuellen Beobachtungen eintreten können, die

entsprechenden Wetterlagen aber aufgrund der erhöhten Persistenz insgesamt seltener werden.

Region	ID	Region	ID	Region	ID	Region	ID
Meidling	1	Linz Kleinmünchen	8	Wels	15	Spittal	22
Innsbruck	2	Linz Hbf	9	Selzthal	16	Bruck/Leitha	23
Graz	3	Villach	10	Wr. Neustadt	17	Klagenfurt	24
Attnang	4	Wörgl	11	Floridsdorf	18	Mistelbach	25
Gloggnitz	5	Salzburg	12	St. Johann im Pongau	19	Bludenz	26
Amstetten	6	St. Pölten	13	Sigmundsherberg	20		
Wien ZVBF	7	Leoben	14	Tulln	21		

Tabelle 12: Übersicht aller ASC-Standorte und deren zugehörige ID.

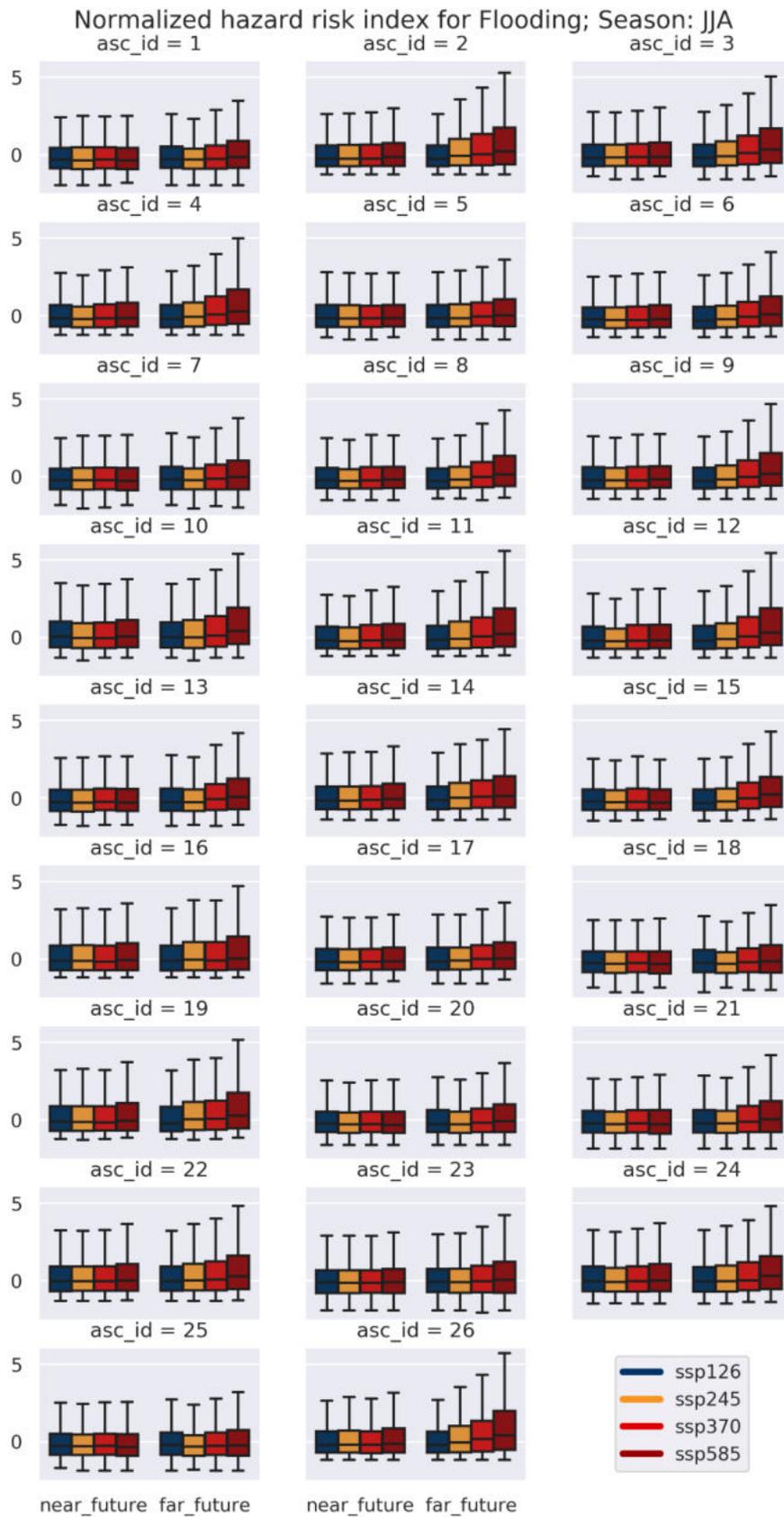


Abbildung 61: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten *hazard risk index* für *Flooding* in der Saison JJA.

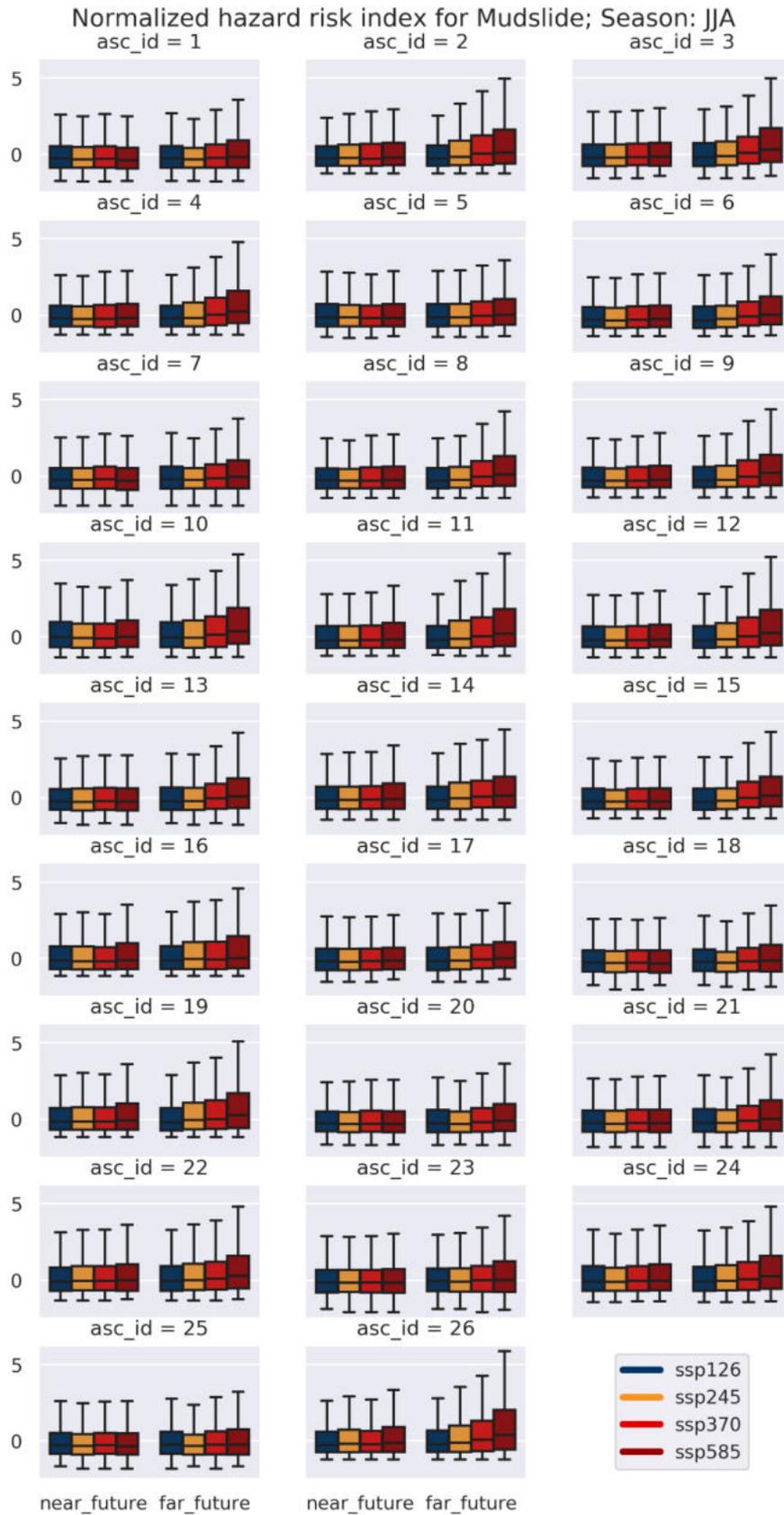


Abbildung 62: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten hazard risk index für Mudslide in der Saison JJA.

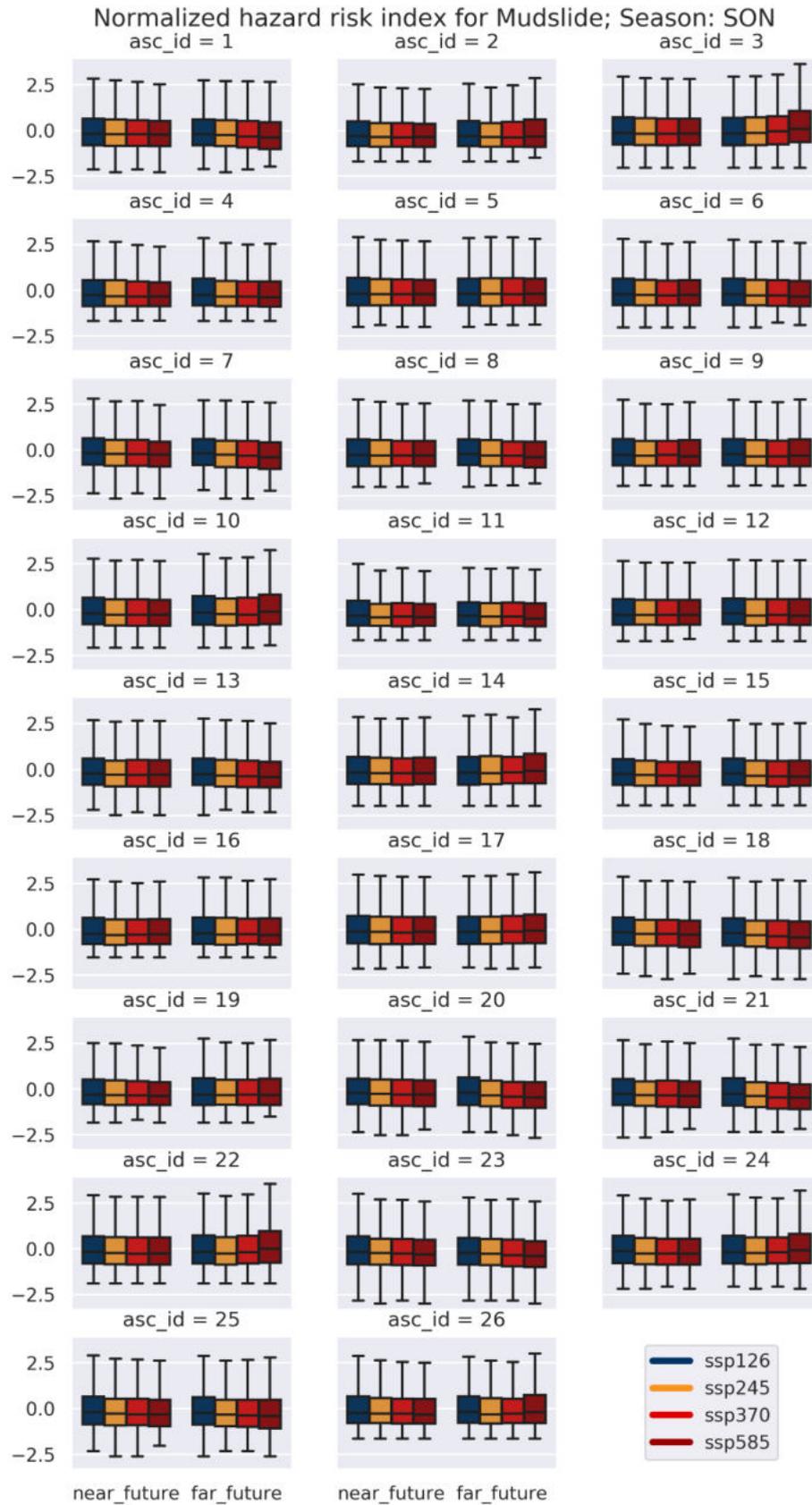


Abbildung 63: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten hazard risk index für Mudslide in der Saison SON.

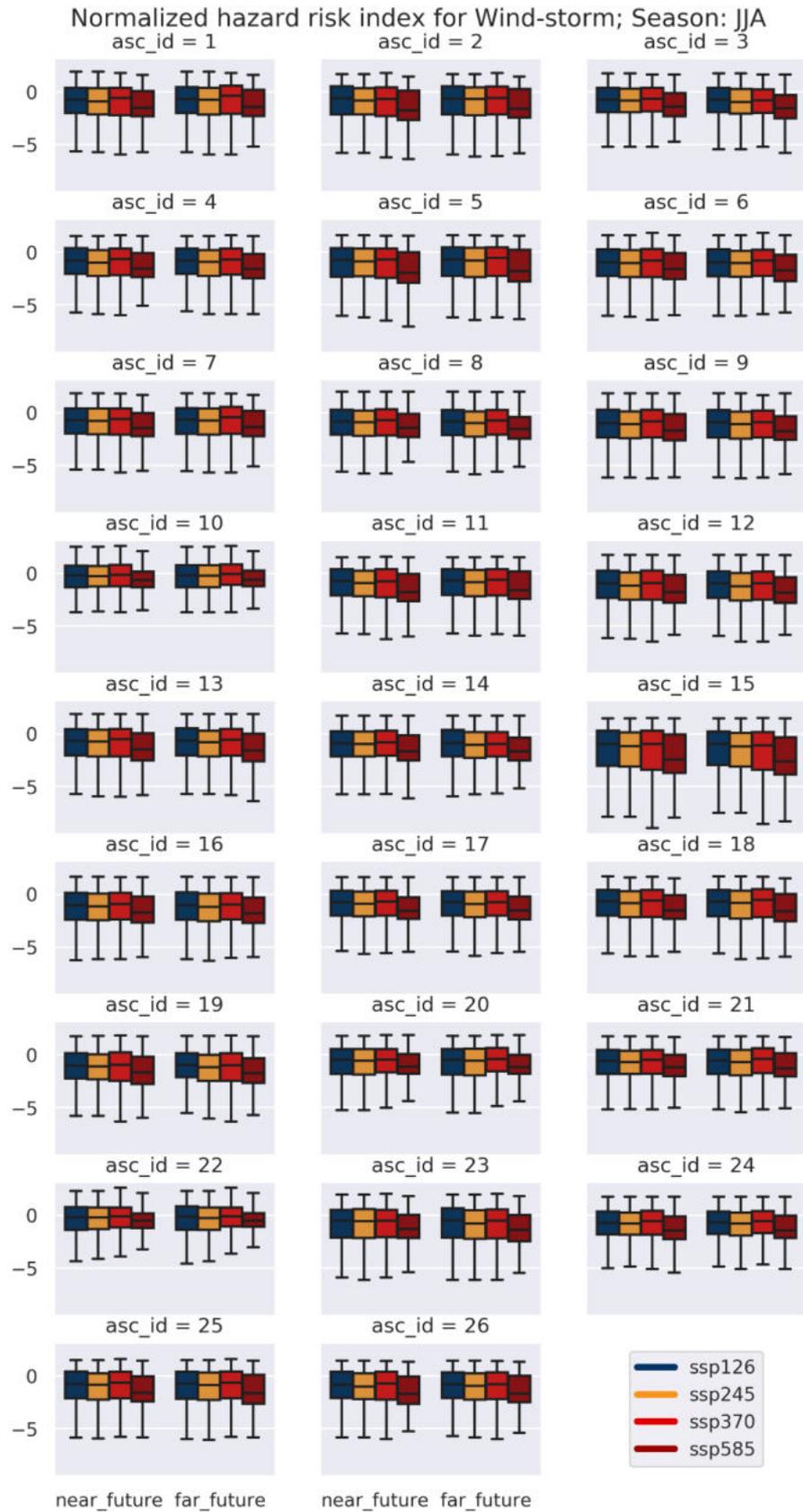


Abbildung 64: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten hazard risk index für Wind-storm in der Saison JJA.

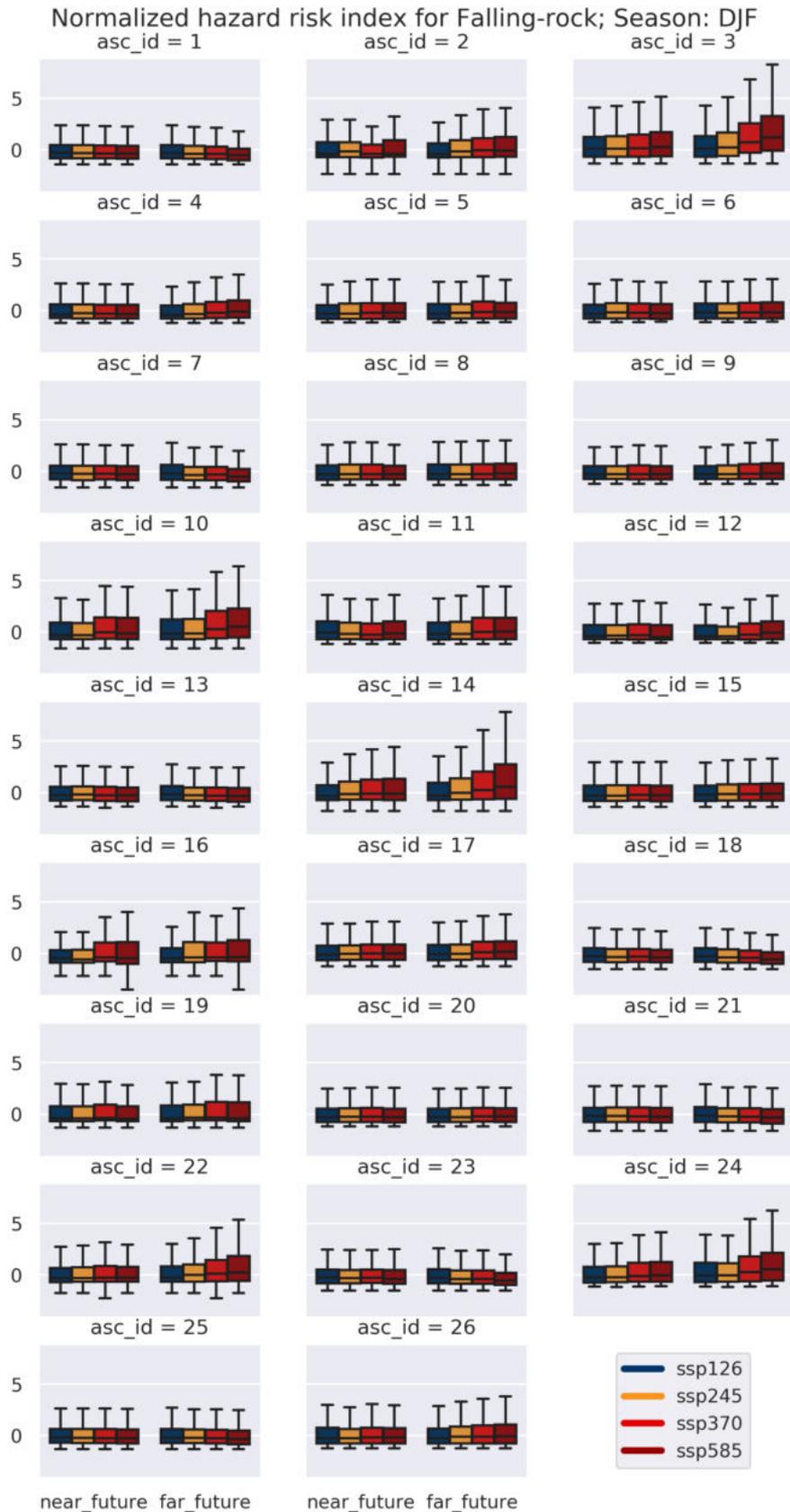


Abbildung 65: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten hazard risk index für Wind-storm in der Saison DJF.

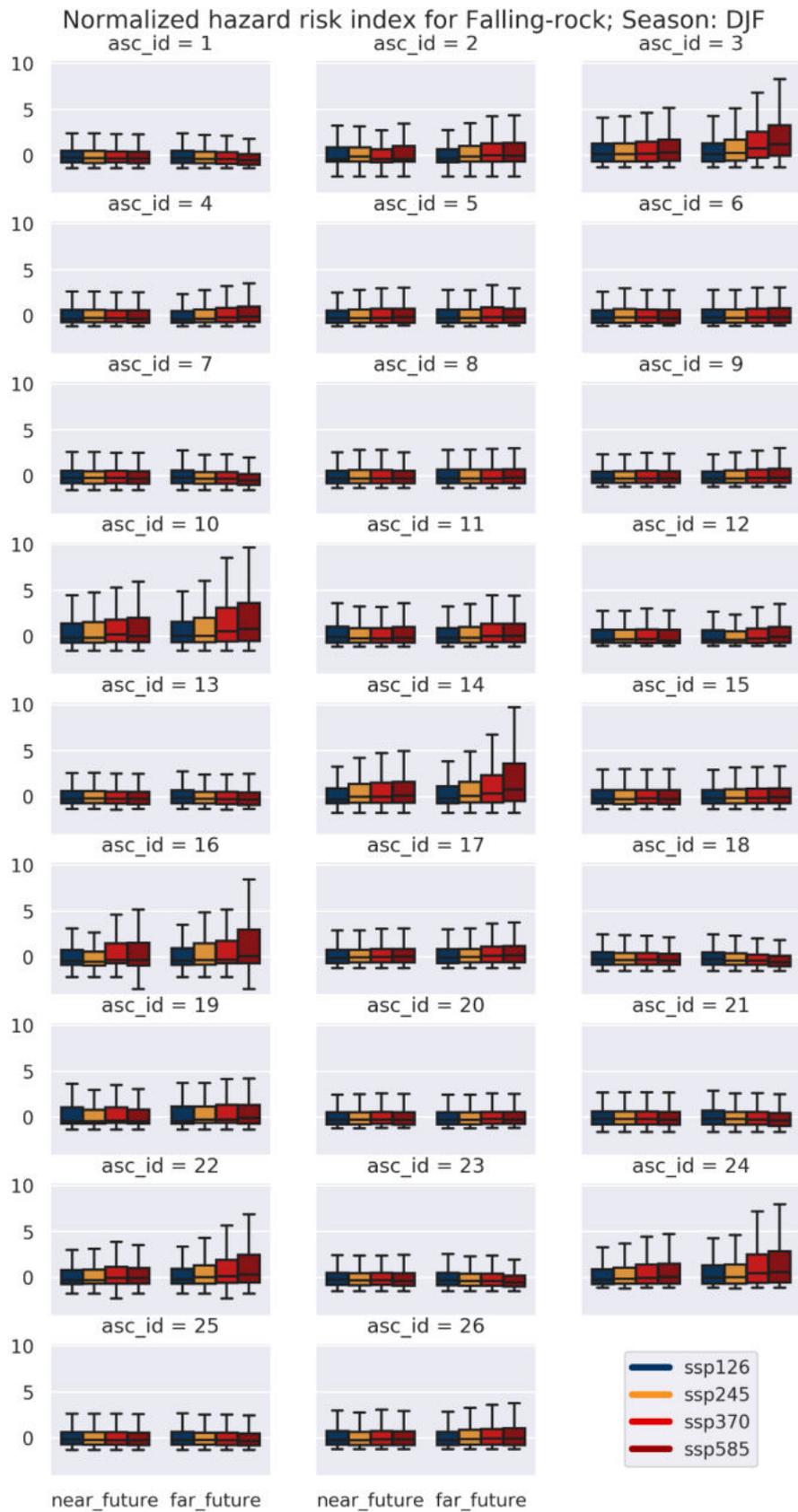


Abbildung 66: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten hazard risk index für Falling-rock in der Saison DJF.

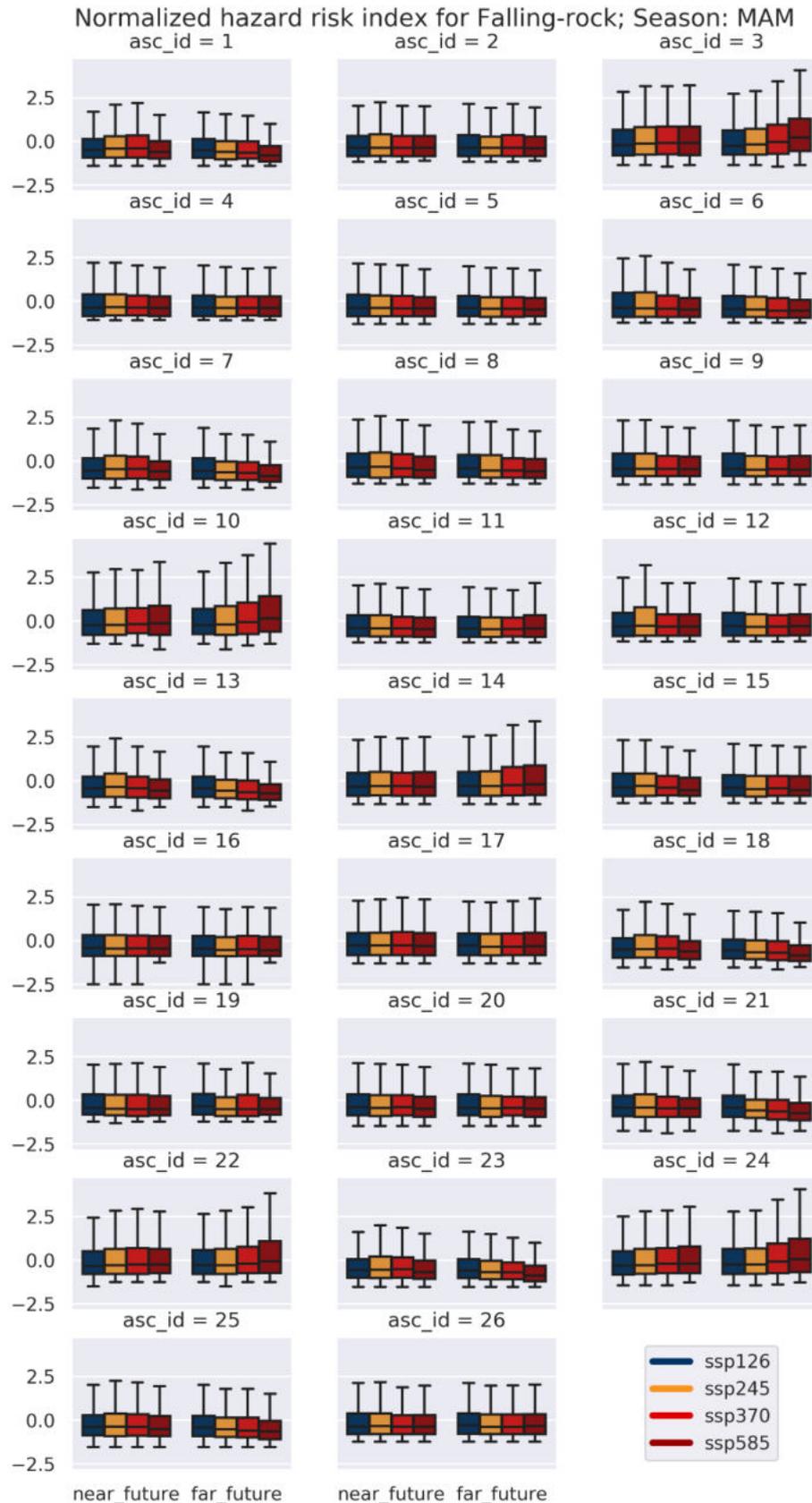


Abbildung 67: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten hazard risk index für Falling-rock in der Saison MAM.

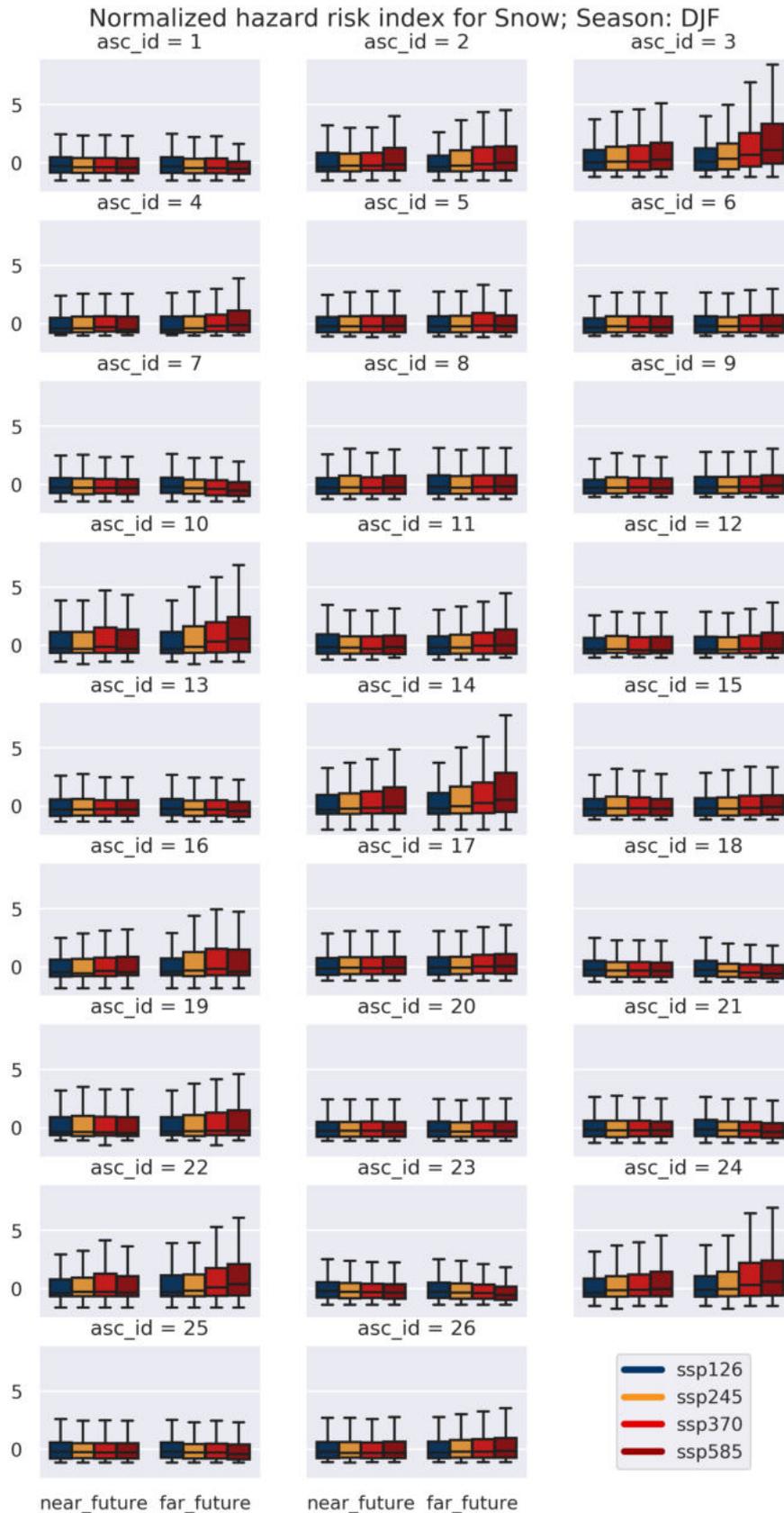


Abbildung 68: Boxplots für alle ASC-Standorte des normalisierten hazard risk index für Snow in der Saison DJF.

Für die Schadereigniskategorie *Falling-rock* sind in den Beobachtungen vor allem die Saisonen DJF und MAM relevant. Die am meisten betroffenen ASC-Standorte sind dabei Linz-Kleinmünchen und Selzthal in DJF, sowie Innsbruck, Linz-Kleinmünchen und Bludenz in MAM. Für die Saison DJF ergibt sich, wie in Abbildung 66 zu sehen ist, eine Art räumliche Zweiteilung. Zum einen weisen ASC-Standorte eine deutliche Zunahme des Gefahrenpotentials je nach Szenario auf (ASC-Standorte: Graz, Villach, Leoben, Selzthal, Spittal, Klagenfurt), zum anderen zeigen die restlichen Regionen jedoch keine substantielle Änderung auf. Von den beiden am meisten betroffenen Regionen in DJF fällt der ASC-Standort Selzthal folglich in die Gruppe des zunehmenden Gefahrenpotentials. Die restlichen Regionen dieser Gruppe weisen laut Beobachtungsdaten wenig bis kaum verzeichnete Schadereignisse auf. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass die für *Falling-rock* notwendigen sonstigen Bedingungen kaum erfüllt sind, und/oder dass dies durch die begrenzte Anzahl an Beobachtungen nicht vollständig repräsentiert ist. Davon abgesehen stellt das Gefahrenpotential, welches durch den *hazard risk index* abgebildet wird, die meteorologische und klimatologische Komponente dar und beinhaltet keinerlei geomorphologische, oder sonstige Komponenten. Für die zweite vielfach betroffene Region – Linz-Kleinmünchen – liegt praktisch keinerlei Änderung des Gefahrenpotentials vor. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Saison MAM, welche in Abbildung 67 zu sehen ist. Die aus den Beobachtungen her stark betroffenen Regionen weisen für alle Szenarien keine substantielle Änderung auf. Die einzigen Regionen mit einem erhöhten Gefahrenpotential sind dabei erneut jene aus der Saison DJF, mit Ausnahme von Selzthal. Somit weisen die ASC-Standorte Graz, Villach, Leoben, Spittal und Klagenfurt in beiden Saisonen eine Zunahme des Gefahrenpotentials auf, welche mit den Szenarien  $SSP126 < SSP245 < SSP370 < SSP585$  größer wird. Bis auf den ASC-Standort Leoben liegen für alle dieser Regionen auch beobachtete Schadereignisse vor, was darauf hindeutet, dass jedenfalls grundsätzliche Voraussetzungen für das Eintreten von *Falling-rock*-Ereignissen gegeben sind. Obwohl die absoluten Zahlen gering erscheinen, was sehr wahrscheinlich an der insgesamt geringen Anzahl an beobachteten *Falling-rock*-Ereignissen liegt, sollte das erhöhte Gefahrenpotential nicht ignoriert werden.

Für die Schadkategorie *Snow* liegen der Großteil der Beobachtungen naturgemäß in der Wintersaison. Es sind zwar beobachtete Einträge in anderen Monaten in den gebirgigeren Regionen eingetragen, aufgrund der geringen Anzahl und der damit verbundenen Unsicherheit wird jedoch nur der Winter analysiert. Dazu ist der *hazard risk index* in Abbildung 68 zu sehen. Die in den Beobachtungen am meisten betroffenen Gebiete sind dabei die ASC-Standorte

Innsbruck, Graz, Villach, Wörgl und St. Johann im Pongau. Dabei lassen sich die Entwicklungen erneut in Gruppen einteilen. Für *Snow* sind dies drei Unterscheidungen: keine substanzielle Änderung, eine geringe Zunahme und eine starke Zunahme des Gefahrenpotentials. Die am meisten betroffenen Gebiete fallen dabei in die letzten beiden Kategorien. Die ASC-Standorte Innsbruck, Wörgl und St. Johann im Pongau weisen eine geringe Zunahme, die ASC-Standorte Graz und Villach eine starke Zunahme des Gefahrenpotentials auf. Diese Zunahmen des Gefahrenpotentials müssen jedoch erneut mit anderweitigen Bedingungen relativiert werden. In diesem Fall zeigt der Klimaindikator Frost Days (FD, Abbildung 49) eine deutliche Abnahme an Tagen, an welchen die Minimumtemperatur unter dem Gefrierpunkt bleibt. Damit kombiniert lässt sich aussagen, dass obwohl bestimmte schadensinduzierende Wettermuster potentiell häufiger werden, die Bedingungen für *Snow* Schadereignisse abnehmen. Praktisch könnte sich dies dadurch zeigen, dass Niederschlag dann anstatt von Schnee in Form von flüssigem Regen fällt und dadurch bedingt kein *Snow*-Schadereignis zustande kommt, auch wenn ein schadensinduzierendes Wettermuster vorliegt.

Einen detaillierteren Einfluss bezüglich potentieller Extremereignisse ergibt sich, indem hohe Perzentile betrachtet werden. Hierfür werden erneut die Kombinationen aus Kategorie und Saison verwendet, die eingangs bereits erwähnt worden sind. Danach werden die berechneten *hazard isk indices* nach Szenario, Zeitperiode und ASC-Standort gruppiert und darauf basierend das 90ste und 95ste Perzentil bestimmt. Das Resultat daraus ist für das jeweilige Szenario, die Zeitperiode und den ASC-Standort eine Zahl (das Perzentil). Gruppiert dargestellt ist die Verteilung dieser Perzentile in Abbildung 69 und Abbildung 70, für das 90er und 95er Perzentil respektive, zu sehen. Der Aufbau der Subplots ist wie in den Abbildungen davor, aber mit der Ausnahme, dass die Werte für das *historical* Experiment zur besseren Vergleichbarkeit der Unterschiede dargestellt sind. Dies liegen jedoch knapp beieinander um den Wert des jeweiligen Perzentils der Standardnormalverteilung, da die Normalisierung auf Basis der ASC-Standorte durchgeführt wurde. Dies zeigt grundsätzlich nur die Robustheit der Anzahl an potentiellen Events über alle ASC-Standorte auf. Die beiden von Niederschlags-Prädiktoren getriebenen Kategorien *Flooding* und *Mudslide* weisen für die Saison JJA praktisch selbiges Verhalten auf. In der Zeitperiode *near\_future* sticht nur das Szenario SSP585 mit einem deutlich höheren Gefahrenpotential hervor. In der Period *far\_future* betrifft dies dann auch SSP370 und SSP245. Für *Mudslide* und die Saison SON ergibt sich praktisch keine Zunahme des Gefahrenpotentials. Lediglich einzelne Regionen unter SSP585 in

*far\_future* trennen sich substantiell von dem historischen Niveau. *Snow* zeigt, wie bereits erwähnt, eine geringe Zunahme in allen Szenarien, jedoch ist hier im Vergleich eindeutig zu sehen, dass unter allen Szenarien die Unsicherheit groß ist und der Mittelwert selbst sich nicht stark verändert (horizontale Linie innerhalb der Box). Unter Beachtung des für diese Kategorie relevanten Klimaindikatoren – FD (Frost Days) – wird diese Zunahme relativiert. Wie bereits erwähnt, beschreibt die Zunahme des Gefahrenpotentials die Frequenz anhand der CIs, welche in dem Fall von *Snow* die Niederschlagsmenge sowie die Temperaturabnahme darstellen. In letzterem ist jedoch nicht die absolute Temperatur enthalten und genau dieser Umstand verursacht die scheinbare Diskrepanz zwischen der Entwicklung des Klimaindikatoren FD und des *hazard isk index* für *Snow*. Damit ist die Zunahme des Gefahrenpotentials für *Snow* relativiert, was bedeutet, dass mit keiner substantiellen Zunahme zu rechnen ist. Für die Kategorie *Wind-storm* zeigt die Extremwertanalyse über alle ASC-Standorte ein sehr ähnliches Bild zu jenen der jeweiligen ASC-Standorte. Ein auffälliger Unterschied ergibt sich zwischen den beiden gezeigten Saisonen JJA und DJF. Erstere weist räumlich größere Unterschiede innerhalb der einzelnen Szenarien auf, wodurch sich diese auch überlappen und dabei die Unterschiede zwischen den Szenarien mehr verwaschen. Dagegen sind die extremen Perzentile in den ASC-Standorten in der Saison DJF für die jeweiligen Szenarien räumlich annähernd komplett homogen, wodurch die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien stärker hervortreten. Auch bei diesen Extremwerten ist wieder von dem Einfluss der erhöhten Persistenz in den Szenarien auszugehen, wodurch die Frequenz abnehmen könnte. Für die Kategorie *Falling-rock* liegt ein deutliches zweigeteiltes Bild vor. Die historischen Werte in der Saison MAM liegen in etwa auf Höhe der Mittelwerte der anderen Szenarien. Dies bedeutet für MAM eine räumliche Zweiteilung der Extremwerte, die in allen Szenarien und in beiden Zeitperioden zu finden ist, wobei die Verteilung in *far\_future* in beiden Richtungen breiter wird. Für die Saison DJF ist im Gegensatz ersichtlich, dass die historischen Extremwerte am unteren Ende der Verteilungen der Szenarien liegen und damit eine Zunahme der hohen Perzentile gegeben ist. Die Streubreite ist dabei in den Szenarien relativ breit, es zeigt sich jedoch vor allem in *far\_future* ein deutlicher Unterschied zwischen den nur geringen Zunahmen von SSP126 und SSP245 und den stärkeren Zunahmen von SSP370 und SSP585.

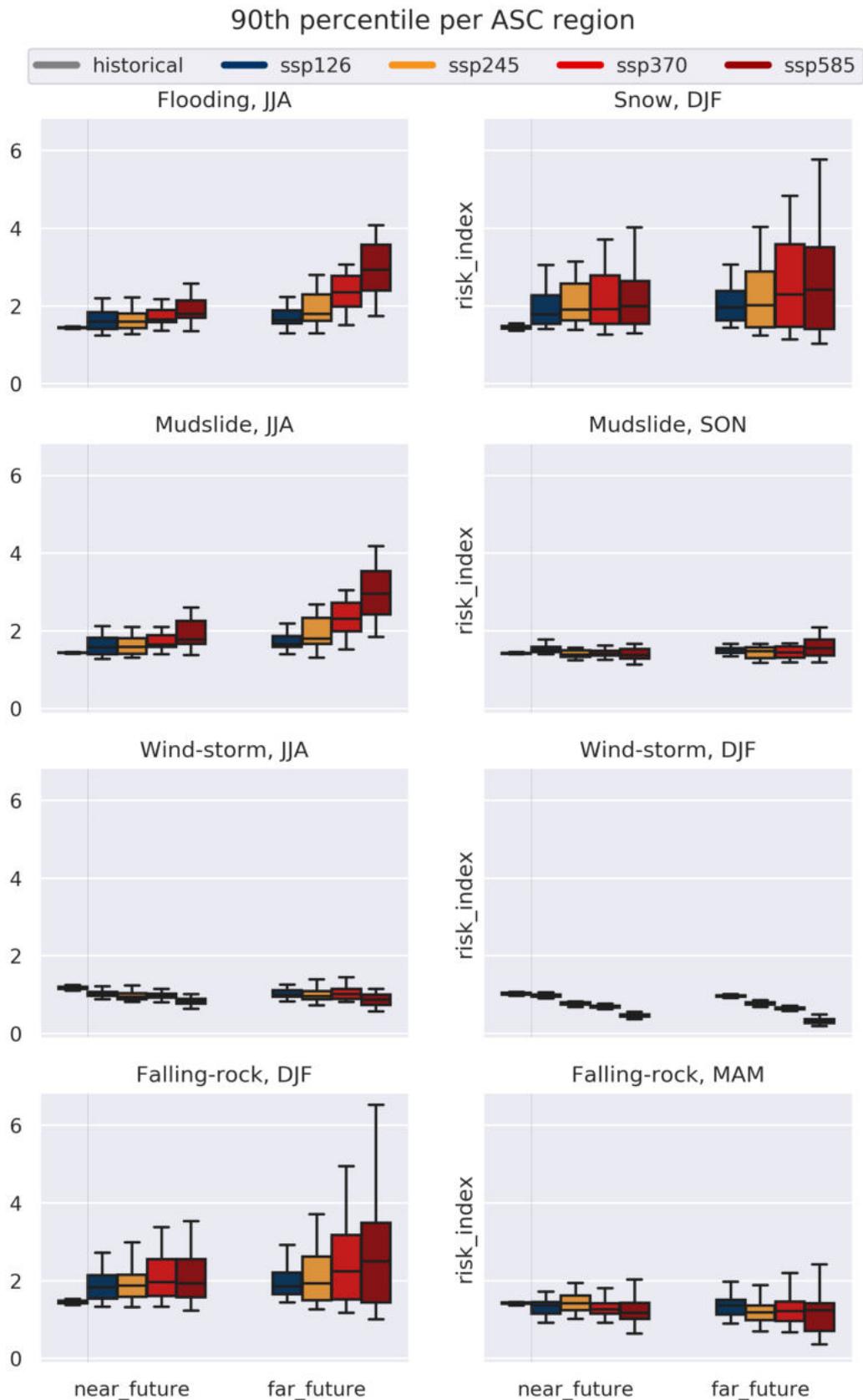


Abbildung 69: Boxplots für das 90er Perzentil des *hazard risk index* je ASC-Standorten. Beschreibung im Haupttext.

### 95th percentile per ASC region

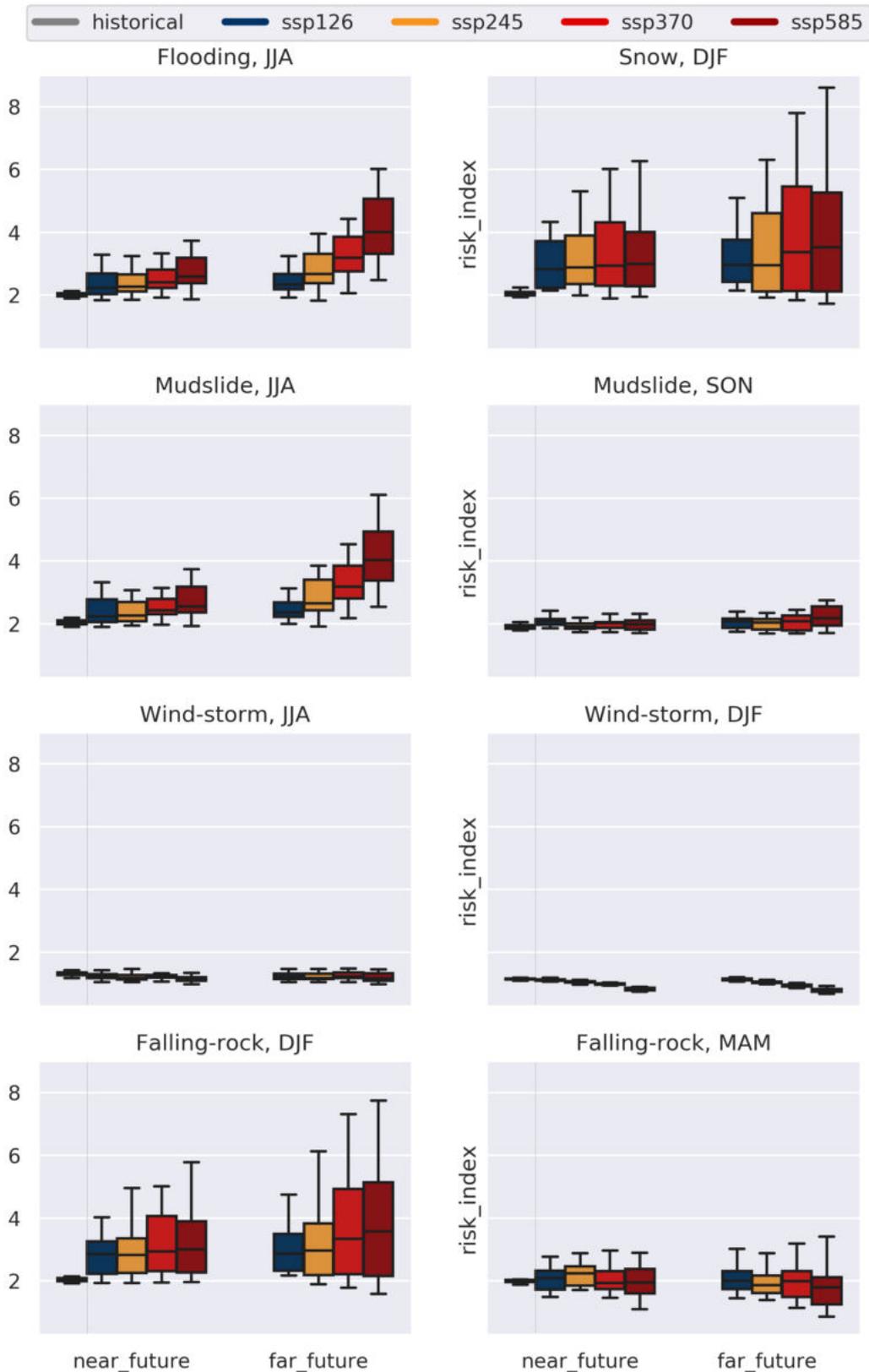


Abbildung 70: Boxplots für das 95er Perzentil des *hazard risk index* je ASC-Standort. Beschreibung im Haupttext.

Diese hohen Perzentile, oder Extremwerte der *hazard risk indices* können für eine grobe Abschätzung des Gefahrenpotentials verwendet werden. Um dies nun räumlich auf Basis von ASC-Standorten darzustellen, wird die Änderung des 95sten Perzentils verglichen mit den historischen Daten berechnet. Für *Flooding* ist dies in Abbildung 71 zu sehen. Die Änderung stellt dabei die relative Änderung im Vergleich zum 95sten Perzentil der historischen Periode dar. Damit ist der potentielle Impact unter den verschiedenen Szenarien in Extremfällen klar ersichtlich, wonach unter einer Entwicklung dem Szenario SSP126 keine signifikante Änderung zu erwarten wäre, unter dem Szenario SSP585 jedoch fast in allen Regionen mit einem erhöhten Gefahrenpotential der Extremereignisse zu rechnen ist.

Für *Mudslide* sieht in der Saison JJA sieht das Bild ähnlich aus (wie bereits in den bisherigen Analysen erwähnt), weswegen dieses nicht dargestellt ist. Anders sieht die räumliche Verteilung für die Entwicklung für *Mudslide* in der Saison SON aus, welche in Abbildung 72 dargestellt ist. Hier liegt im Allgemeinen keine bis nur geringe (Zunahme) Änderung vor. Abbildung 73 zeigt die Änderung für *Wind-storm* in der Saison JJA. Hier ist ebenfalls großflächig keine signifikante Änderung zu sehen. Wie aus den anderen Analysen bereits zu sehen war, ist für die Saison DJF ebenfalls großflächig keine bis nur eine geringe Änderung (Abnahme) zu sehen (Plot für diese Saison nicht gezeigt). Für *Falling-rock* sind die Änderungen in Abbildung 74 und Abbildung 75, für die Saison DJF und MAM respektive, zu sehen. Erstere zeigt da im vollständigen Alpenraum erhöhte Gefahrenpotential für Extremereignisse auf, welches vor allem unter den Szenarien SSP370 und SSP585 vorzufinden ist. Für die Saison MAM hingegen gibt es weiträumig keine bis nur eine geringe Änderung des *hazard risk index*.

Change of 95th percentile of hazard risk index for Flooding; Season: JJA

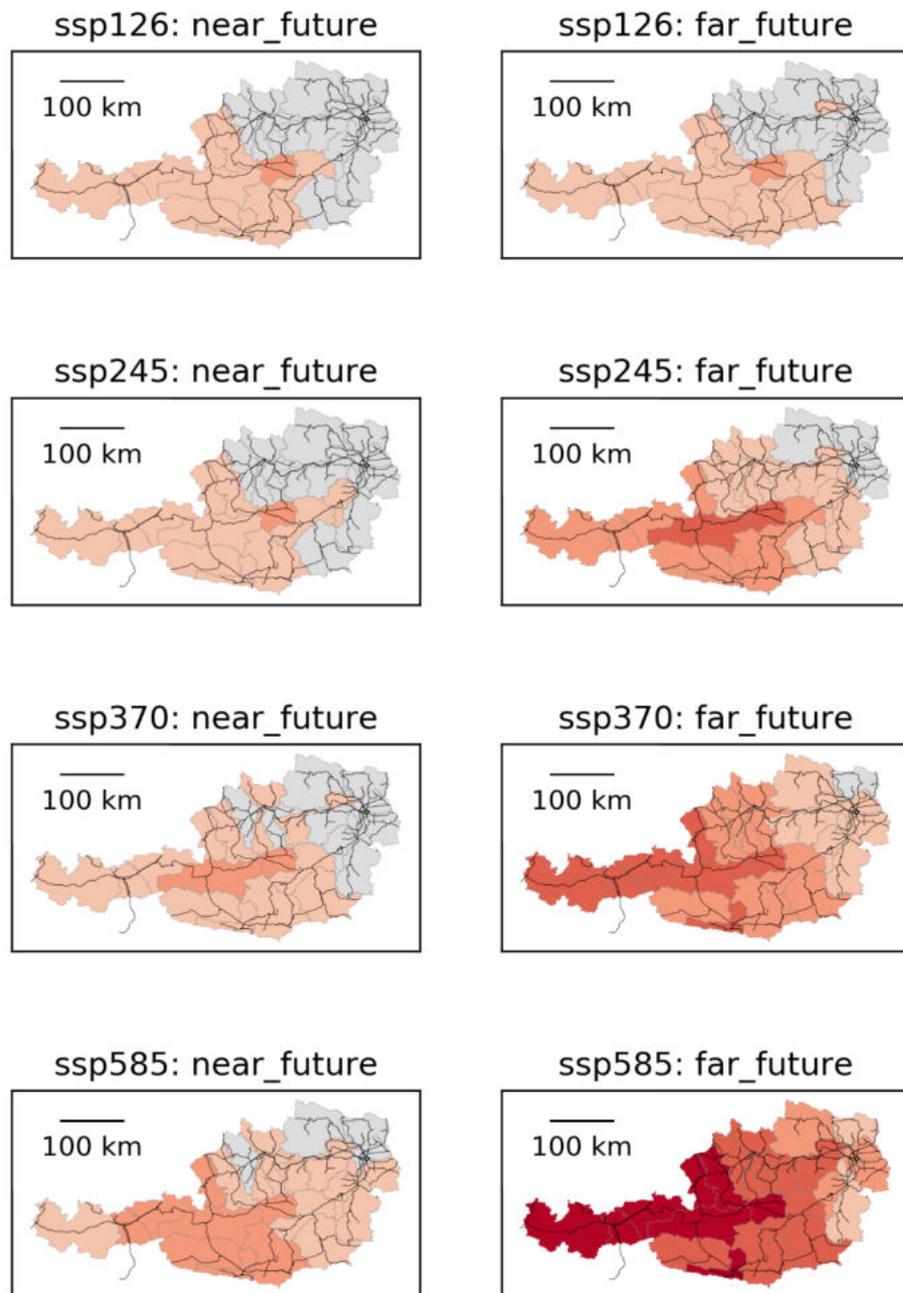
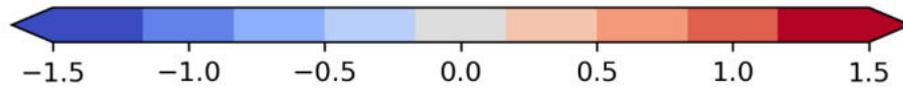


Abbildung 71: Relative Änderung des 95sten Perzentils des hazard risk index je ASC-Standort verglichen mit der historischen Periode für Flooding in der Saison JJA.

Change of 95th percentile of hazard risk index for Mudslide; Season: SON

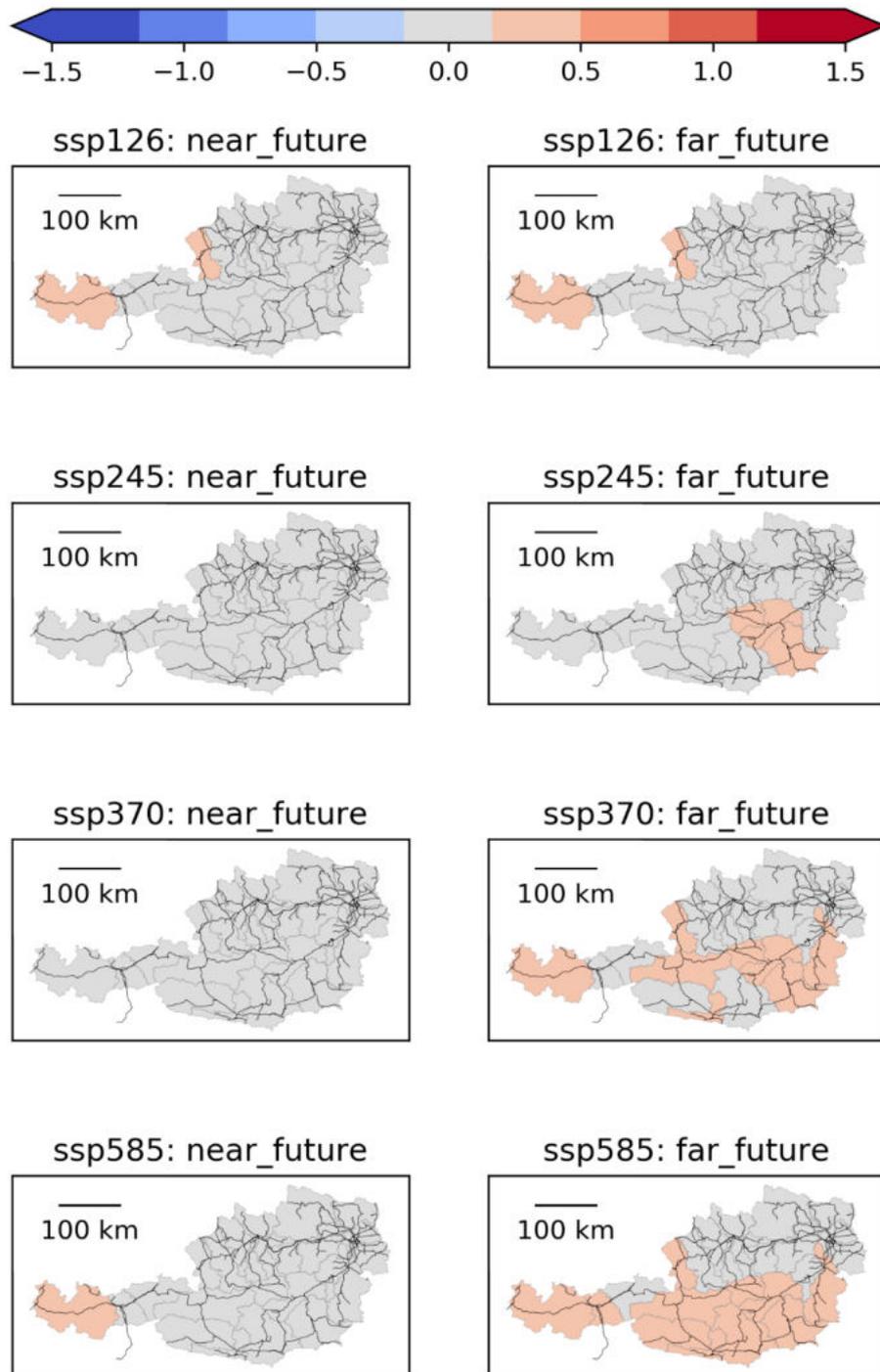


Abbildung 72: Relative Änderung des 95sten Perzentils des hazard risk index je ASC-Standort verglichen mit der historischen Periode für Mudslide in der Saison SON.

Change of 95th percentile of hazard risk index for Wind-storm; Season: JJA

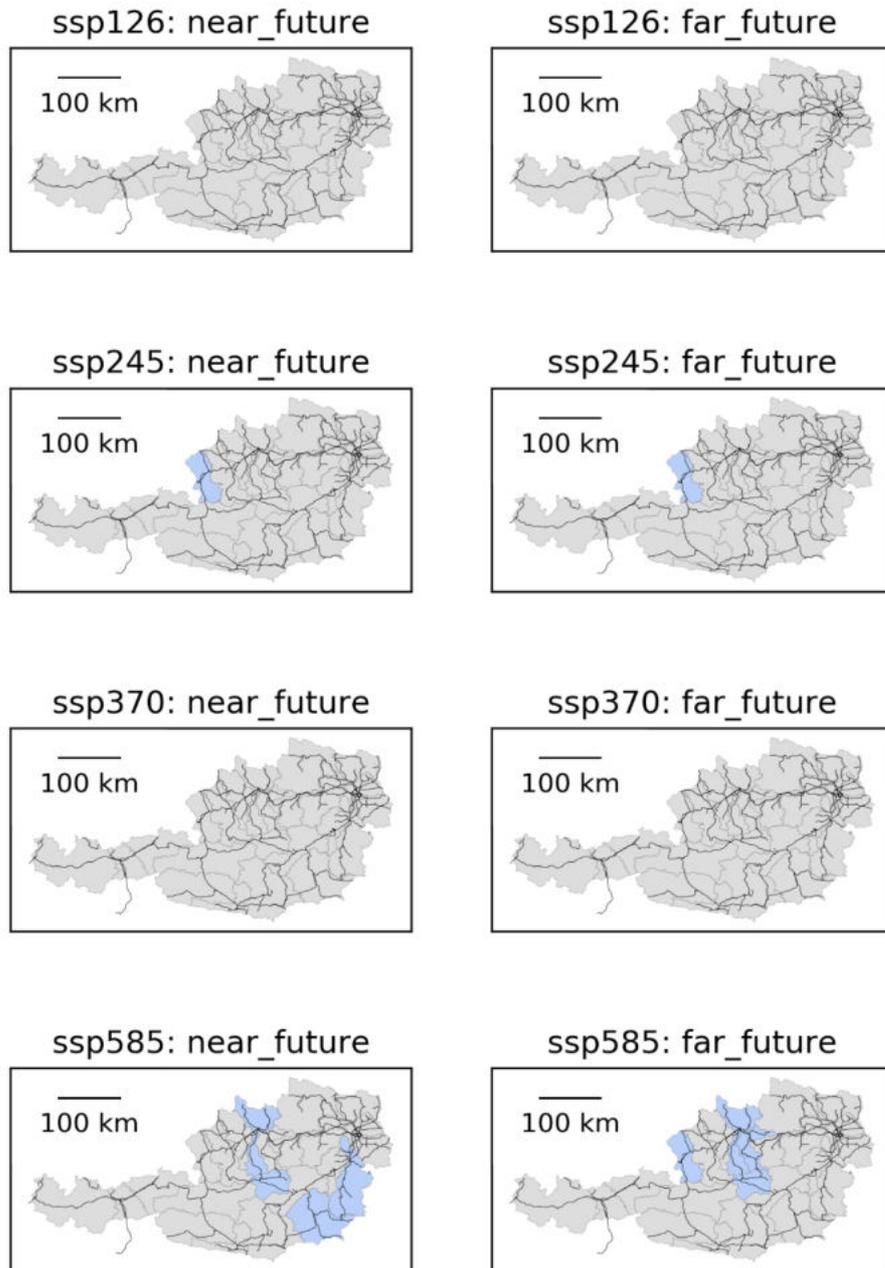
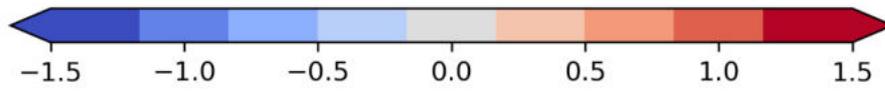


Abbildung 73: Relative Änderung des 95sten Perzentils des hazard risk index je ASC-Standort verglichen mit der historischen Periode für Wind-storm in der Saison JJA.

Change of 95th percentile of hazard risk index for Falling-rock; Season: DJF

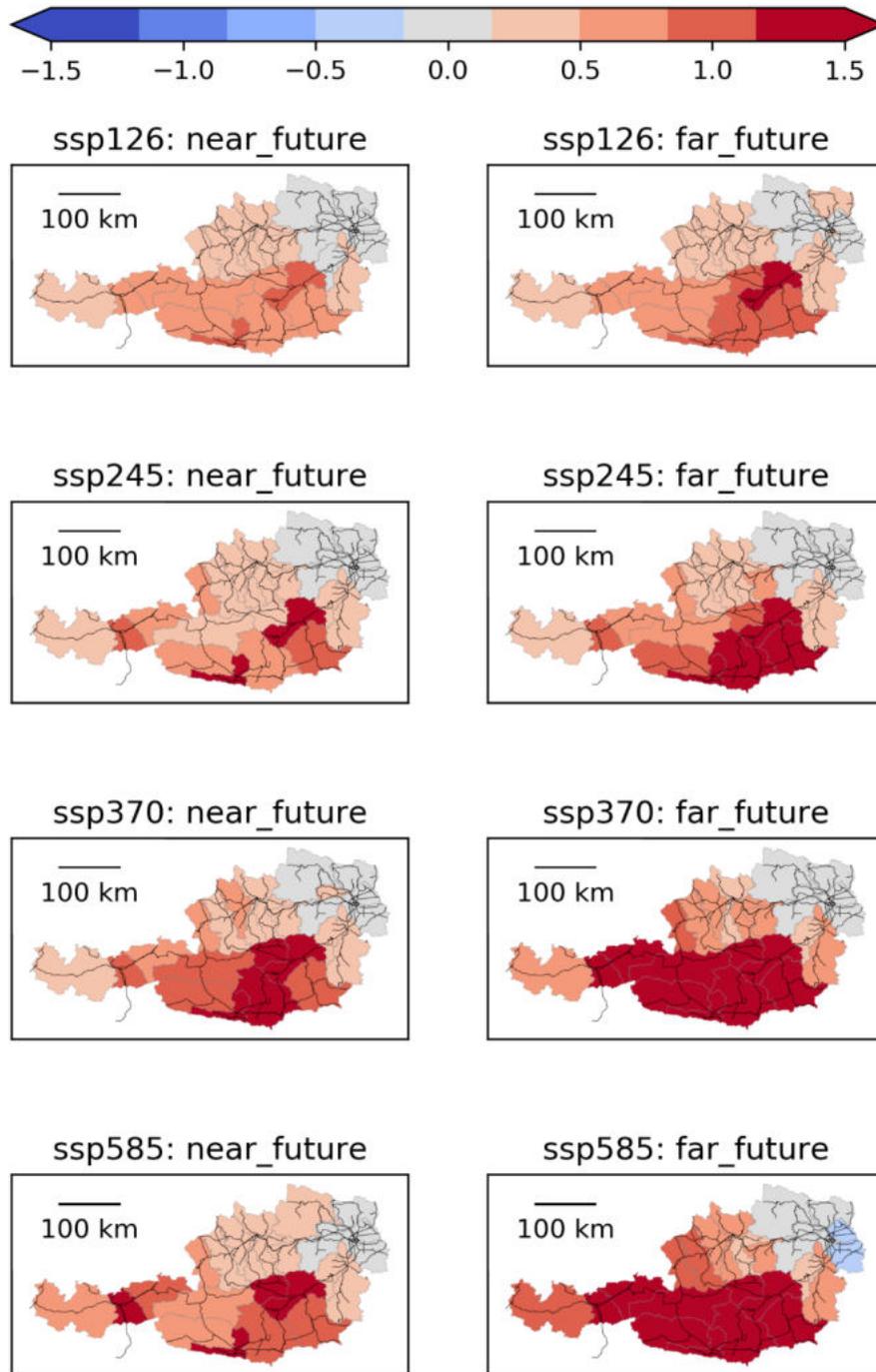


Abbildung 74: Relative Änderung des 95sten Perzentils des hazard risk index je ASC-Standort verglichen mit der historischen Periode für Falling-rock in der Saison DJF.

Change of 95th percentile of hazard risk index for Falling-rock; Season: MAM

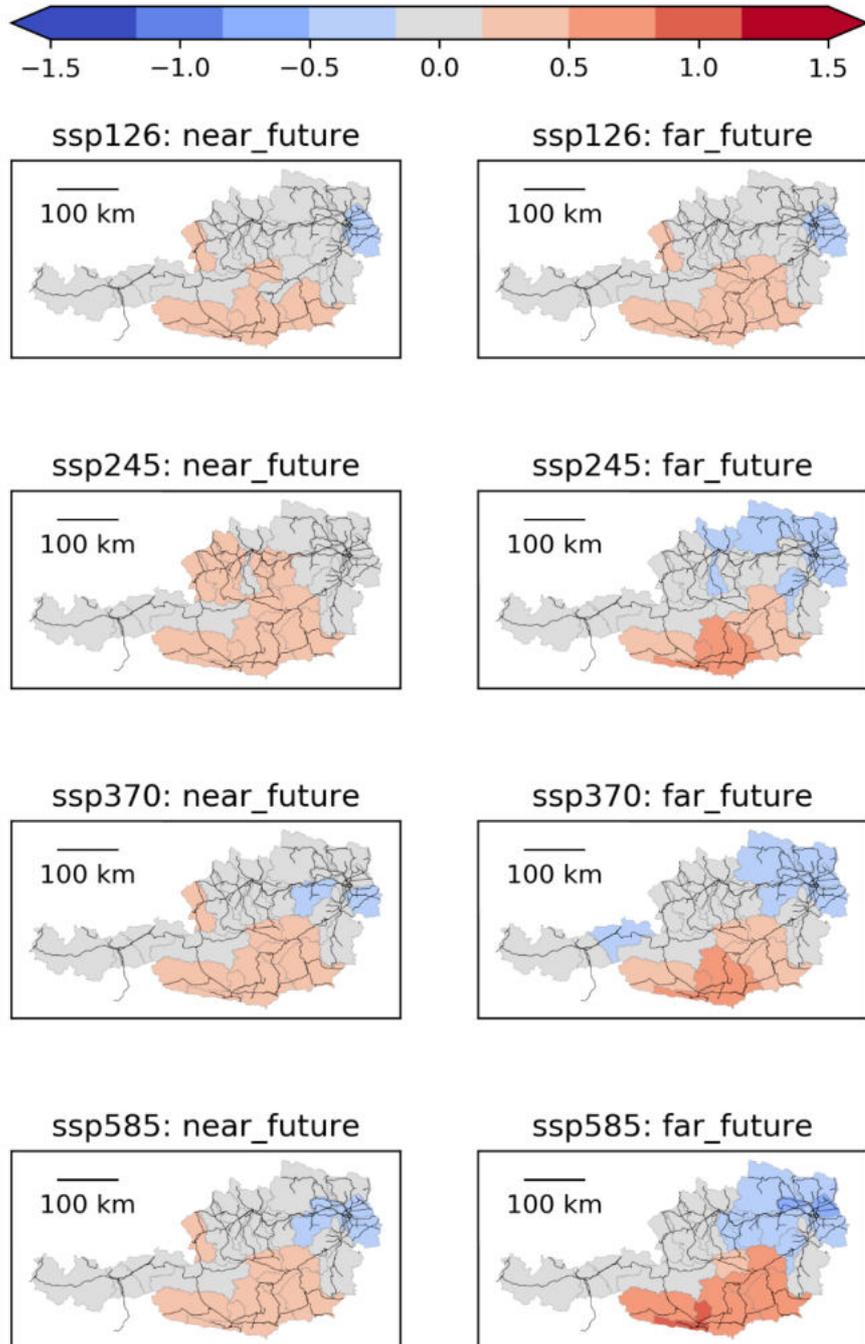


Abbildung 75: Relative Änderung des 95sten Perzentils des hazard risk index je ASC-Standort verglichen mit der historischen Periode für Falling-rock in der Saison MAM.

## 6 KLIMAHÜLLEN UND BAUMARTENENTWICKLUNG IN DEN ASC-STANDORTEN

In etwa ein Drittel der Waldfläche Österreichs leistet einen erheblichen Beitrag zur Abwehr oder Abminderung von Naturgefahren. Laut Waldentwicklungsplan wird diesen Wäldern eine erhöhte oder hohe Schutzfunktion zugesprochen (Mannsberger, 2017). Um diese Schutzwirkung tatsächlich entfalten zu können, muss es sich um vitale, resiliente Bestände und Bestandsstrukturen handeln. Es liegt nahe, dass dies am ehesten auf potentiell natürlichen Standorten der jeweiligen Art der Fall ist. Demnach herrscht ein kausaler Zusammenhang zwischen einem natürlichen Standort und der Ökosystemdienstleistung bzw. der Erfüllung von Schutzfunktionen. Zusätzlich zur Schutzwirkung führt das Vorhandensein von standortangepasster Vegetation auch zur Bereitstellung von natürlichen Lebensräumen. Dass die Auswirkungen des Klimawandels Veränderungen in den heimischen Wäldern hervorrufen werden, ist mittlerweile allgemeiner Konsens. Klimawandelaspekte im Schutzwald lassen sich in "Auswirkungen auf den Wald" und "Auswirkung auf die Schutzleistung des Waldes" unterteilen (Fürst et al., 2017), wobei ersteren veränderte Standortbedingungen und daraus resultierende Änderungen in der Baumartenzusammensetzung zugeordnet werden. Frühere Studien zur Klimawandelanpassung (z.B. Anpassungsmaßnahmen der ÖBB-Infrastruktur AG an den Klimawandel – KLIWA) konzentrierten sich auf allgemein formulierte Empfehlungen und Anpassungsvorschläge. Deren Gültigkeit besteht weiterhin. Im Rahmen des Projekts clim\_ect wurde das Hauptaugenmerk auf die regionalisierte Vegetationsanpassung auf Artniveau in detaillierter Auflösung gelegt. Dem zu Grunde liegt die Tatsache, dass Vegetation durch ihre Ökosystemdienstleistungen Schutzfunktionen zur Verfügung stellt und somit deutlich zur Reduzierung des Schadenspotentials von Naturgefahrenereignissen beitragen kann. Im Rahmen von clim\_ect wurde auf Basis langjähriger Datenreihen, einer Geocodierungen von beobachteten Schadereignissen mit hoher Lagegenauigkeit und kleinräumigen Klimawandelprognosen auf regionaler Ebene gearbeitet. Dies ermöglichte die Formulierung konkreter Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Vegetation zur Förderung von Schutzfunktionen und der Sicherung von Schutzwäldern durch die Auswahl klimafitter Arten. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrad unterscheiden sich die Ergebnisse von jenen früherer Studien zur Anpassung an den Klimawandel (z.B. KLIWA-Studie). Durch die Definition von Zielvegetationstypen soll die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen auch in Zukunft möglich sein.

## 6.1 Grundlagen und Vorgehensweise

Die Berücksichtigung der klimawandelbedingten Veränderungen des Artenspektrums auf regionaler Ebene ist entscheidend für die Festlegung von klimawandelangepassten Maßnahmen. Indem die gegenwärtigen Schutzwälder auf ihre Klimafitheit überprüft werden und bestehende Schutzwaldarten durch Arten mit positiver Klimawandelprognose ersetzt werden, können Schutzfunktionen dauerhaft gesichert werden. Weiters können auch Arten, die bis dato in Schutzwäldern nur selten bis gar nicht vorkommen, aber positive Prognosen haben und zukünftig Schutzfunktionen übernehmen können, gezielt eingebracht werden (Bsp. Elsbeere). Als Folgewirkung ermöglichen diese Maßnahmen eine dem Klimawandel angepasste und erhöhte Sicherheit der ÖBB-Infrastruktur AG.

Der hier präsentierte Maßnahmenkatalog besteht aus vier Teilbereichen (siehe Abbildung 76). Die Grundlage bildet eine Vegetationsdatenbank, in der die Attribute und Eigenschaften von 92 Gehölzarten gesammelt wurden. Für 43 Arten wurden sogenannte Klimahüllen berechnet, die eine Prognose bezüglich der Klimawandelresilienz der einzelnen Arten ermöglichen. Aus den Ergebnissen von Vegetationsdatenbank und Klimahüllen werden unter Berücksichtigung der Prognose für die einzelnen Naturgefahrenprozesse dezidierte Maßnahmen abgeleitet. Die Zielsetzung war es, Maßnahmen zu entwickeln, die den Klimawandel und seine Auswirkungen berücksichtigen und gleichzeitig dazu beitragen die Ökosystemdienstleistungen im Allgemeinen und mit Blick auf die Schutzwirkung hinsichtlich Naturgefahrenprozesse im Speziellen, zu optimieren.

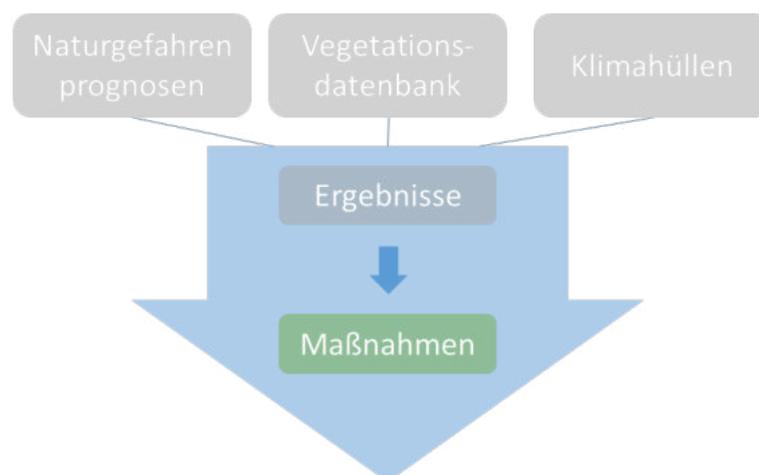


Abbildung 76: Schematische Darstellung: Entwicklung des Maßnahmenkataloges.

In den nächsten Kapiteln werden Prognosen für die klimawandelbedingten Veränderungen von aktuell im ÖBB-Forstoperat erfassten Arten vorgestellt. Die Überprüfung der Klimawandelangepasstheit der einzelnen Arten kann auf Grundlage der berechneten Klimahüllen erfolgen. Die Ergebnisse werden in zwei Darstellungen präsentiert. Zuerst ist die Verfügbarkeit von potentiell natürlichen Standorten in den jeweiligen ASC-Standorten in einer Tabelle zusammengefasst. In einer zweiten Tabelle wird die Entwicklung der Verfügbarkeit dieser Standorte visualisiert. Anschließend werden regionalisierte Zielvegetationstypen beschrieben, die speziell an die Anforderungen im Naturgefahrenmanagement angepasst wurden.

### 6.1.1 Vegetationsdatenbank

Aufgrund der heterogenen Landschaft gibt es auf den bahngleitenden Flächen in Österreich sehr unterschiedliche Standortbedingungen für die Vegetation. Das Artenspektrum der Gehölzvegetation ist dementsprechend vielfältig. Die unten angeführten Quellen bilden die Datengrundlage für die Erstellung einer Bahn-Vegetationsdatenbank. Die Auswahl der berücksichtigten Arten basiert auf dem ÖBB-Forstoperat, das für die ÖBB- Bahnwaldflächen österreichweit erstellt wurde. Ergänzend wurden Arten hinzugefügt, deren Ökosystemdienstleistung, Schutzfunktion oder Resilienz hinsichtlich Klimaphänomenen und Klimawandelauswirkungen von Relevanz sein könnten. Insgesamt umfasst die Vegetationsdatenbank eine Sammlung von 92 Gehölzarten. Folgende Quellen wurden für die Kategorisierung der Arten herangezogen:

- [1] Schiechtl, Hugo Meinhard, und Roland Stern. Handbuch Für Naturnahen Wasserbau: Eine Anleitung Für Ingenieurbiologische Bauweisen; 13 Tabellen. 1994.
- [2] Schiechtl, Hugo Meinhard, und Roland Stern. Handbuch Für Naturnahen Erdbau: Eine Anleitung Für Ingenieurbiologische Bauweisen. 1992.
- [3] San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A., European Atlas of Forest Tree Species. 2016. <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/european-atlas/> (letzter Zugriff 11.02.2021 09:00)
- [4] Hasenauer, H., und Wendl J., and Klopff M. Waldbau: Skriptum zur VU 913.102. 2011.
- [5] Enzyklopädie Der Holzgewächse, 2014. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527678518> (letzter Zugriff 11.02.2021 09:00)
- [6] Leder, Bertram und von Wolff-Metternich Caroline. Kurzportrait Libanonzeder (*Cedrus libani*). 2018. <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/kurzportrait-libanonzeder> (letzter Zugriff 11.02.2021 09:00)

- [7] Forster, M., Falk, W., Reger, B., 2019. Praxishilfe Klima – Boden – Baumartenwahl. Hrsg. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).
- [8] Florineth, F., 2012. *Pflanzen statt Beton: Sichern und Gestalten mit Pflanzen* [2. Aufl.].
- [9] Eigene Beurteilung der Arbeitsgruppe Ingenieurbioogie, Institut für Ingenieurbioogie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien.

Die in der Literatur bereitgestellten Informationen wurden in tabellarischer Form zusammengefasst und kategorisiert. Es wurden Merkmale definiert und entsprechend der Datengrundlage Kategorien vergeben, die in weiterer Folge die Grundlage für Abfragen bilden. Für detailliertere Informationen zu den Merkmalen ist die Information in Textform vorhanden und wurde als Attribut in die Datenbank aufgenommen. Die Definition der Kategorien ist wie folgt: x ... gemäß Literatur zutreffend, (x) ... gemäß Literatur eingeschränkt zutreffend, - ... gemäß Literatur nichtzutreffend, ND ... in Literatur nicht definiert. Die Struktur der Datenbank ist in Tabelle 13 vermerkt.

Standorteigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhenstufe</li> <li>• Bodeneigenschaften</li> <li>• Wasserverhältnisse</li> <li>• Lichtverhältnisse</li> </ul>
Morphologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wuchshöhe</li> <li>• Wurzelsystem</li> <li>• Habitus: Baum/Strauch</li> <li>• Neigung zu Mehrstämmigkeit</li> </ul>
Austriebvermögen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockausschlagfähigkeit</li> <li>• Steckholzfähigkeit</li> <li>• Sproßwurzelfähigkeit</li> <li>• etc.</li> </ul>
Klimaresistenzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dürresistenz</li> <li>• Überflutungsresistenz</li> <li>• Spätfrostresistenz</li> </ul>
Naturgefahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steinschlagresistenz</li> <li>• Erosionsschutz (Festigung Oberboden)</li> <li>• Stabilisierung (Rutschungen)</li> <li>• Erosionsschutz bei Lawinenereignissen</li> <li>• Brandtoleranz</li> <li>• Brandgefahr</li> <li>• Schneebruchresistenz</li> <li>• Sturmresistenz</li> </ul>
Wildschäden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposition</li> <li>• Toleranz</li> </ul>
Bienenweide	
Brandflächenaufforstung	

Tabelle 13: Merkmale der Vegetationsdatenbank.

## 6.1.2 Klimahüllen

Klimawandelprognosen wurden für 43 Gehölzarten der Vegetationsdatenbank und somit für etwa die Hälfte der in der Vegetationsdatenbank erfassten Gehölze erstellt. Der Grund für diese Reduktion ist die uneinheitliche Verfügbarkeit von Verbreitungsdaten für die in der Datenbank erfassten Arten. Die Erstellung der Klimawandelprognose wurde mittels Klimahüllen durchgeführt und räumlich auf die einzelnen Anlagen Service Center (ASC) bezogen.

### Input Daten:

- **Verbreitungsgebiet CHO Tree Atlas**  
Quelle: Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J., 2017. Chorological maps for the main European woody species. Data in Brief 12, 662-666. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007>  
Daten: Verbreitungspolygone CHO  
Verwendung: Definition aktuelles Verbreitungsgebiet von Gehölzen
  
- **Klimadaten**
  - **WORLDCLIM**  
Quelle: Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 37 (12): 4302-4315.  
Daten: bioclim01: Jahresdurchschnittstemperatur, bioclim12: Jahresniederschlag  
Verwendung: Berechnung Verbreitungsgebiet Vegetation aktuell
  
  - **SPARTACUS**  
Quelle: ZAMG  
DATEN: Tn, RR im Zeitraum 1961 - 2020  
Verwendung: Berechnung der aktuellen Klimaparameter der ASCs
  
  - **AP5 downscaled**  
Quelle: ZAMG  
Daten: Tn, RR für den Prognosezeitraum 2036 -2100  
Verwendung: Berechnung der zukünftigen Klimaparameter der ASCs
  
- **EU DEM**  
Quelle:  
Daten: DEM Raster Auflösung: 20m  
Verwendung: Bereinigung der Vegetationsverbreitung über die Höhenstufe

### Berechnung der Klimaparameter der aktuellen Vegetationsverbreitungsgebiete

Die Verbreitungsgebiete (CHO) der einzelnen Daten wurden in einen Punktraster mit 200m Abstand umgewandelt. Räumlich wurden die Verbreitungsgebiete der Vegetation auf Europa reduziert. Die Begrenzungen sind in Abbildung 77 dargestellt. Im ArcMap wurde der Punktwolke der entsprechende Wert der Jahresdurchschnittstemperatur (Input = bioclim01), des Jahresniederschlages (Input = bioclim12) und der Seehöhe (Input = DEM) zugeschrieben (siehe Abbildung 78). Die Punktwolke wurde gemäß der höhenmäßigen Verbreitungsgrenzen der jeweiligen Art bereinigt. In weiterer Folge wurde, wie in Abbildung 79 dargestellt, mit Hilfe des ci2d Tools in R eine empirische zweidimensionale Häufigkeitsverteilung des Datensatzes berechnet. Die Berechnungsparameter waren wie folgt festgelegt: nbins = 20, factor = 1.0. Als Methode wurde "hist2d" basierend auf "gplots" verwendet. Für die weitere Verwendung der Verbreitungsgebiete wurden die Konfidenzregion 0.95 herangezogen.

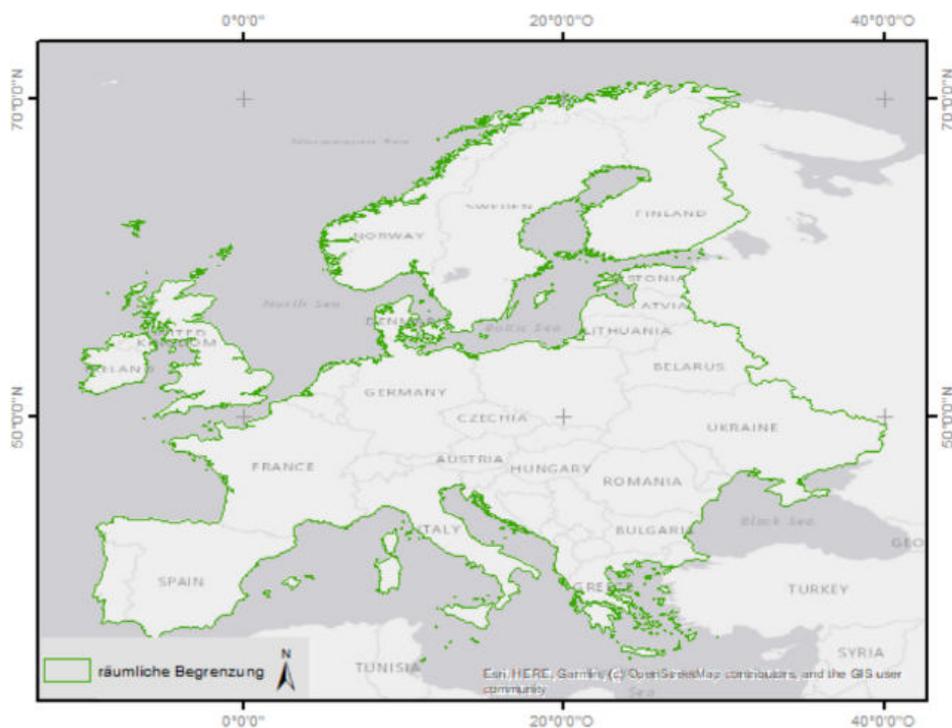


Abbildung 77: Räumliche Begrenzung der Verbreitungsdaten auf Europa.

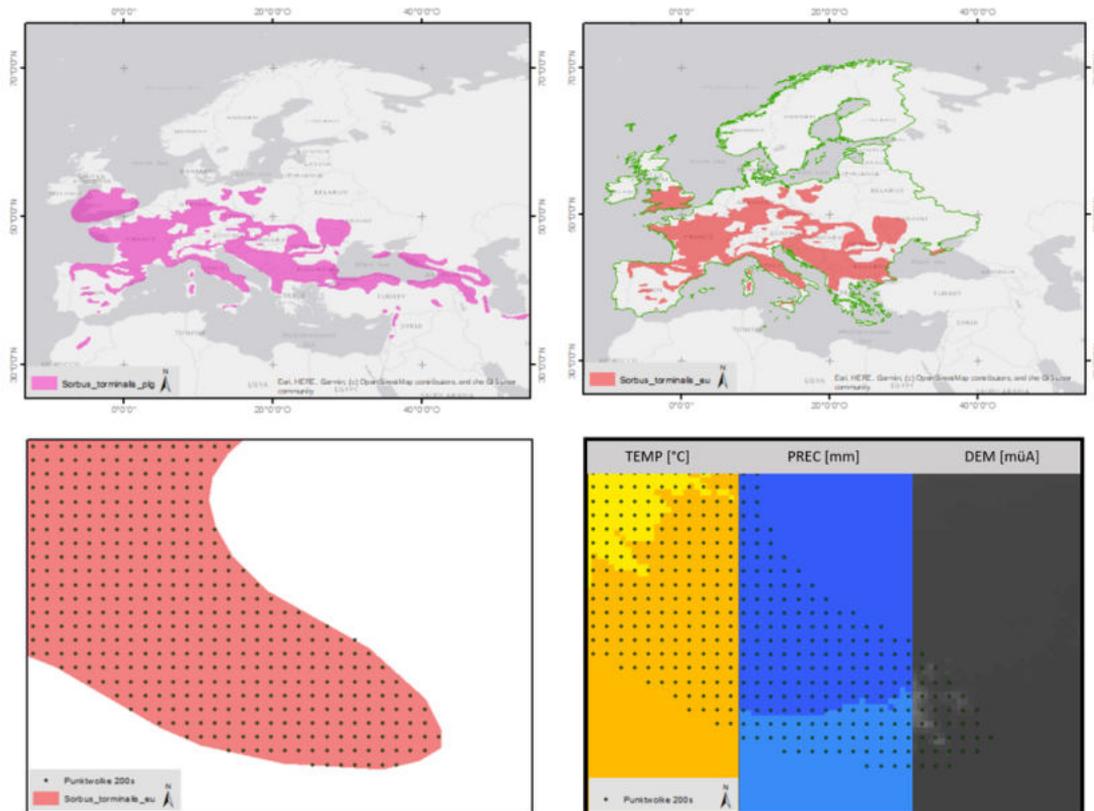


Abbildung 78: I: Verbreitungspolygon. II: Räumlich begrenztes Verbreitungspolygon. III: Erstellung Punktraster aus Verbreitungspolygon. IV: Extraktion von Jahresdurchschnittstemperatur, Jahresniederschlag und Höhe gemäß der Verbreitungspunktwolke.

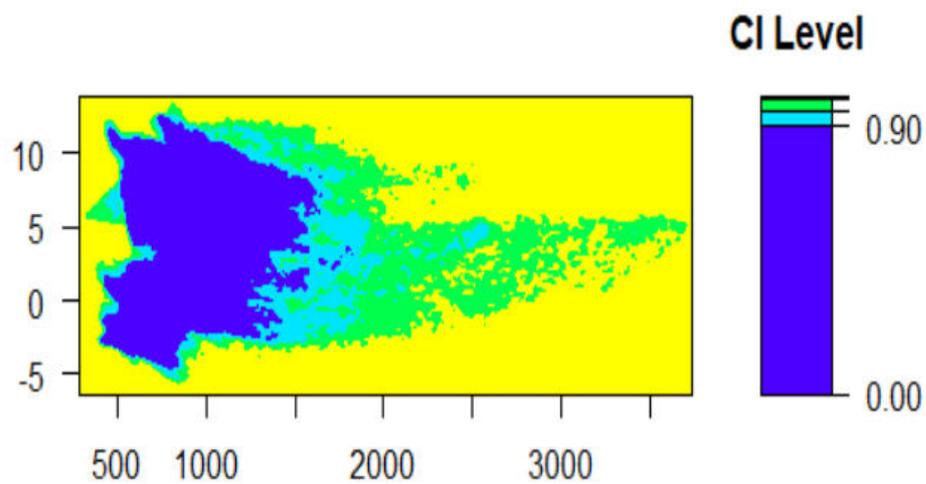


Abbildung 79: 2D Häufigkeitsverteilung der Punktwolke mit unterschiedlichen Konfidenzintervallen.

### **Klimaparameter der Beobachtungsgebiete**

Die Klimadaten der Beobachtungsgebiete (ASCs) basieren einerseits auf den Spartacusdaten der Jahre 1961-2020 sowie auf den modellierten, downgescalten Daten des Projektpartners ZAMG/CIT (prognostizierte zukünftige Klimadaten basierend auf Modellberechnungen). Verwendet wurden die prognostizierten jährlichen Durchschnittswerte für die Temperatur und den Niederschlag. Als Beobachtungszeiträume wurden die Perioden 2036-2065 und 2071-2100 festgelegt. Für die Berechnung sowie die grafische Auswertung wurden vier Szenarien entsprechend den sozioökonomischen Pfaden berücksichtigt. Für zwei Szenarien (ds245 und ds585) wurden Empfehlungen für Maßnahmen ausgearbeitet. Szenario ds585 geht von stärkeren klimawandelbedingten Veränderungen aus, was in Bezug auf die Schutzfunktion der Vegetation das höchste Risiko darstellt. Das Szenario ds245 ist aus heutiger Sicht das realistischste Szenario.

### **Grafische Darstellung in Form von Klimahüllen**

Für die Berechnung der Klimahüllen dienten als Eingangsdaten die Klimaparameter der Verbreitungs- und der Beobachtungsgebiete. Die Parameter der Vegetationsverbreitungsgebiete wurden höhenmäßig gemäß den natürlichen Höhengrenzen der jeweiligen Art korrigiert. Es wurde jeweils eine Klimahülle pro ASC, Beobachtungszeitraum und Art erstellt. Exemplarisch ist in Abbildung 80 das natürliche Verbreitungsgebiet für die Fichte in der Region St. Johann im Pongau als grüne Fläche dargestellt. Die Klimawerte der ASC-Standorte sind in Form von Punktwolken und entsprechend der jeweiligen Szenarien farblich unterschiedlich dargestellt. Eine Überschneidung von Punktwolke und Verbreitungspolygon zeigt die potentiell natürlichen Standorte. Außerhalb des Verbreitungsgebietes liegende Punkte bedeuten das Fehlen von potentiell natürlichen Standorten.

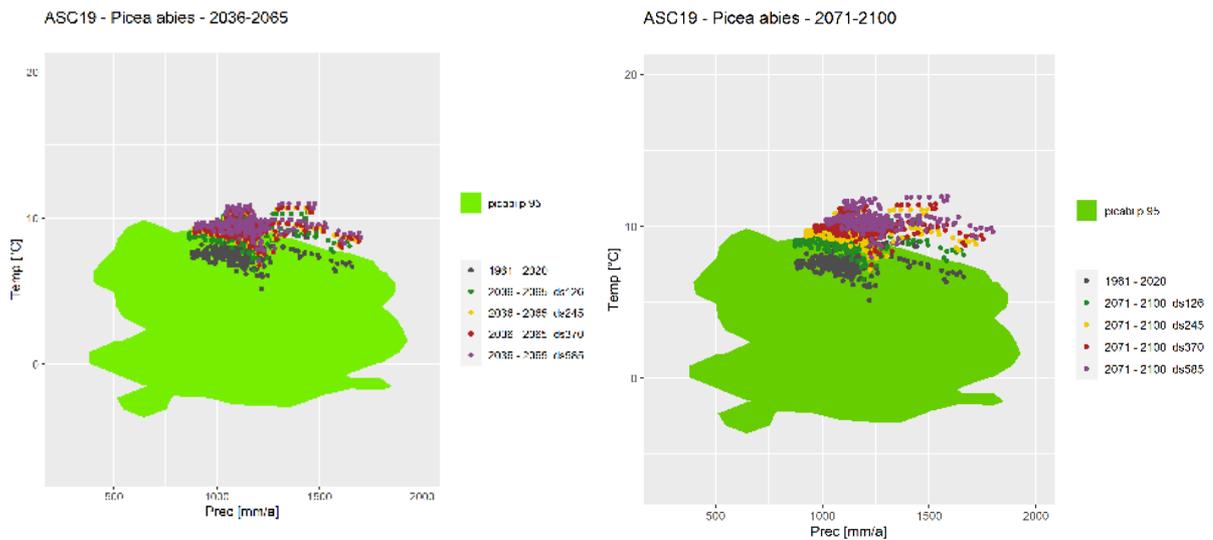


Abbildung 80: Klimahüllen für die Fichte ASC19 St.Johann im Pongau.

### Quantifizierung von potentiellen Vegetationsstandorten und deren Veränderungen im Zuge des Klimawandels

In weiterer Folge wurden die erstellten Klimahüllen zur Quantifizierung von potentiellen natürlichen Vegetationsstandorten und deren Veränderungen im Zuge des Klimawandels analysiert. Getrennt für alle Beobachtungsgebiete wurden für jede Art, alle Szenarien und Betrachtungszeiträume der Prozentsatz jener Gitterpunkte, der gemäß ihres Jahresniederschlages und ihrer Jahresdurchschnittstemperatur innerhalb bzw. außerhalb des berechneten potentiell natürlichen Verbreitungsgebiets liegt, berechnet. Die Ergebnisse der Veränderungen der potentiell natürlichen Standorte wurden in fünf Kategorien unterteilt (siehe Abbildung 81) Für die Darstellung der Entwicklung der Standorte wurden drei (siehe Abbildung 82) Kategorien gebildet.

0,05	0,00	keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet
0,35	0,05	mehrheitlich keine Standorte im Beobachtungsgebiet
0,65	0,35	teilweise potentielle Standorte im Beobachtungsgebiet
0,95	0,65	Beobachtungsgebiet ist mehrheitlich potentieller Standort
1,00	0,95	gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort

Abbildung 81: Potentiell natürliche Standorte in den ASCs bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961-2020.

-0,05	-1,00	Abnahme der Standorte im Beobachtungsgebiet bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961 - 2020
0,05	-0,05	Änderung der Standorte kleiner +/- 5% im Beobachtungsgebiet bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961 - 2020
1,00	0,05	Zunahme der Standorte im Beobachtungsgebiet bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961 - 2020

Abbildung 82: Klassifizierung der Entwicklung der Standorte in den ASCs bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961-2020.

## 6.2 Ergebnisse

Die Grundlage der vorgestellten Ergebnisse ist die Vegetationsdatenbank, in der unterschiedlichste Merkmale der betrachteten Gehölze zusammengefasst wurden. Ergänzt wurden die Informationen der Vegetationsdatenbank um Standortprognosen bei unterschiedlichen Klimawandelszenarien. Für die Standortbeschreibung wurden die zwei Klimavariablen Jahresniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur herangezogen. Die Definition der potentiell natürlichen Standorte bezieht sich auf die Berechnung von Klimahüllen und basiert auf der Verschneidung von aktuellen Verbreitungs- und Klimadaten. Zusätzlich wurden Höhengrenzen der einzelnen Arten für die Lokalisierung der tatsächlichen Verbreitungsgebiete berücksichtigt. Es ist festzuhalten, dass diese Prognose lediglich eine Annäherung darstellt. Für die Ausweisung der tatsächlichen zukünftigen Standorte ist, insbesondere bei der Betrachtung von einzelnen Hängen oder Schlägen, zusätzlich zu Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlag eine Vielzahl weiterer Standorteigenschaften von Relevanz. Dennoch ermöglicht die Prognose basierend auf diesen beiden Klimavariablen eine Abschätzung über die regionalen Entwicklungstendenzen einzelner Arten und ermöglicht es einerseits Handlungsoptionen und andererseits potentielle Gefahren im Allgemeinen und im Speziellen für die Schutzwaldbewirtschaftung aufzuzeigen. Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass einzelne Individuen zwar auch außerhalb ihrer natürlichen Verbreitungsgebiete vorkommen können, sie ihre Schutzfunktion allerdings nur unter, in Bezug auf den Standort und sonstiger beeinflussenden Faktoren, guten Bedingungen zur Gänze entfalten können. Gemäß den unter 6.2 beschriebenen Skalen wurde eine Auswertung hinsichtlich der potentiellen natürlichen Standorte sowie deren Veränderung gemacht. Die Ergebnisse sind unter 6.3.1 und 6.3.2 in tabellarischer Form dargestellt und werden im Zuge des Maßnahmenkataloges für die explizite Auswahl von Arten in definierten Regionen herangezogen.

### 6.2.1 Potentiell natürliche Standorte von Gehölzen

Tabelle 14: Potentiell natürliche Standorte von Gehölzen in den einzelnen ASCs.

#### Potentiellen natürlichen Standorte in den ASCs

0,05	0,00	keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet
0,35	0,05	mehrheitlich keine Standorte im Beobachtungsgebiet
0,65	0,35	teilweise potentielle Standorte im Beobachtungsgebiet
0,95	0,65	Beobachtungsgebiet ist mehrheitlich potentieller Standort
1,00	0,95	gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort

ART	PATH-WAY	PERIODE	Standorte																											
			ASC1	ASC2	ASC3	ASC4	ASC5	ASC6	ASC7	ASC8	ASC9	ASC10	ASC11	ASC12	ASC13	ASC14	ASC15	ASC16	ASC17	ASC18	ASC19	ASC20	ASC21	ASC22	ASC23	ASC24	ASC25	ASC26		
<i>Abies alba</i> Weißtanne	ds245	1961-2020	0,5	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,0	1,0	0,8	0,7	1,0	0,0	1,0	0,2	0,7	
		2036-2065	0,2	1,0	0,9	0,6	0,9	0,8	0,0	0,6	0,8	0,8	0,5	0,3	0,6	1,0	0,9	0,8	0,6	0,0	0,9	0,6	0,1	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,5
	ds585	2036-2065	0,2	0,9	0,7	0,4	0,8	0,7	0,0	0,6	0,8	0,8	0,3	0,2	0,4	1,0	0,9	0,7	0,5	0,0	0,8	0,6	0,1	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,5
		2071-2100	0,0	0,6	0,1	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	0,0	0,2	0,1	0,9	0,1	0,3	0,2	0,0	0,4	0,5	0,0	1,0	0,0	0,8	0,0	0,3	0,0	0,3
<i>Acer campestre</i> Feldahorn	ds245	1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2036-2065	1,0	0,9	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,4	1,0	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,4	0,2	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
<i>Acer platanoides</i> Spitzahorn	ds245	1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	0,9	0,8	0,5	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2036-2065	1,0	0,9	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
	ds585	2036-2065	1,0	0,9	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,4	0,2	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2071-2100	0,9	0,9	1,0	0,1	1,0	0,7	1,0	0,5	0,7	0,8	0,0	0,2	0,8	1,0	1,0	0,3	0,3	1,0	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,4
<i>Acer pseudoplatan</i> Bergahorn	ds245	1961-2020	1,0	0,9	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,4	0,2	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
<i>Alnus glutinosa</i> Schwarzerle	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,4	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
<i>Alnus incana</i> Grauerle	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
		2036-2065	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,2	0,9	0,9	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	0,8	0,7	0,6	
	ds585	2036-2065	0,3	1,0	1,0	0,7	1,0	0,9	0,2	0,6	0,8	0,9	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,3	0,9	1,0	0,7	1,0	0,2	1,0	0,7	0,6	0,6	
		2071-2100	0,4	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,2	0,7	0,9	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,2	1,0	1,0	0,8	1,0	0,2	1,0	0,7	0,6	0,6	
<i>Alnus viridis</i> Grünerle	ds245	1961-2020	0,2	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,0	1,0	0,5	0,7		
		2036-2065	0,0	0,6	0,1	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,8	0,1	0,8	0,1	0,0	0,8	0,6	0,0	0,9	0,0	0,7	0,0	0,4	0,4	
	ds585	2036-2065	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,7	0,1	0,0	0,7	0,5	0,0	0,7	0,0	0,5	0,0	0,3	0,3	
		2071-2100	0,0	0,6	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,7	0,1	0,0	0,7	0,6	0,0	0,7	0,0	0,5	0,0	0,3	0,1	

ART	PATH-WAY	PERIODE	Regionen																									
			ASC1	ASC2	ASC3	ASC4	ASC5	ASC6	ASC7	ASC8	ASC9	ASC10	ASC11	ASC12	ASC13	ASC14	ASC15	ASC16	ASC17	ASC18	ASC19	ASC20	ASC21	ASC22	ASC23	ASC24	ASC25	ASC26
			Meidling	Innsbruck	Graz	Attnang	Gloggnitz	Amstetten	Wien ZVBF	Linz Kleinmünchen	Linz Hbf	Villach	Wörgl	Salzburg	St. Pölten	Leoben	Wels	Seitzthal	Wr. Neustadt	Floridsdorf	St. Johann i. P.	Sigmundsherberg	Tulln	Spittal	Bruck/Leitha	Klagenfurt	Mistelbach	Bludenz
Betula pendula Sandbirke	ds245	1961-2020	0.5	1.0	0.9	0.7	1.0	1.0	0.8	0.7	0.8	0.5	0.7	0.3	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.6
		2036-2065	0.6	0.6	0.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.6	0.1	0.0	0.7	0.6	0.0	0.6	0.0	0.5	0.0	0.3
		2071-2100	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.4	0.1	0.0	0.4	0.6	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.1
		ds585	2036-2065	0.0	0.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.5	0.1	0.0	0.5	0.6	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0
		2071-2100	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.1	
Betula pubescens Moorbirke	ds245	1961-2020	0.2	1.0	0.5	0.7	1.0	1.0	0.7	0.9	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.6
		2036-2065	0.0	0.5	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7	0.0	0.8	0.1	0.0	0.8	0.6	0.0	0.5	0.0	0.3	0.0	0.3
		2071-2100	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.7	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.2
		ds585	2036-2065	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.6	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0
		2071-2100	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	
Carpinus betulus Hainbuche	ds245	1961-2020	1.0	0.8	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.7	0.9	0.9	0.7	0.4	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.4
		2036-2065	1.0	0.9	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	0.9	0.5	0.3	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.4
		2071-2100	1.0	0.9	1.0	0.5	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	0.8	0.4	0.2	1.0	1.0	0.9	0.5	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.4
		ds585	2036-2065	1.0	0.9	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	0.9	0.5	0.3	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.8	1.0	0.6	0.7	0.9	0.3	0.2	0.9	1.0	0.8	0.3	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	
Castanea sativa Edelkastanie	ds245	1961-2020	1.0	0.3	0.8	0.3	0.0	0.8	1.0	0.6	0.4	0.6	0.5	0.4	0.5	0.0	0.5	0.0	0.6	1.0	0.0	0.3	0.9	0.2	1.0	0.1	1.0	0.4
		2036-2065	1.0	0.6	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	0.6	1.0	0.6	1.0	1.0	0.7	0.5	1.0	0.6	1.0	0.8	1.0	0.6
		2071-2100	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	0.7	1.0	0.8	1.0	0.7
		ds585	2036-2065	1.0	0.6	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	0.7	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	0.7	1.0	0.8	1.0
		2071-2100	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.8
Cedrus libani Libanon-zeder	ds245	1961-2020	0.9	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0	0.8	1.0	0.0	0.9	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.1
		2036-2065	0.8	0.1	0.2	0.0	0.4	0.2	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	0.7	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.2	1.0	0.1
		2071-2100	0.5	0.1	0.3	0.0	0.4	0.2	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	0.6	1.0	0.0	1.0	0.9	0.0	0.8	0.2	1.0	0.1
		ds585	2036-2065	0.7	0.1	0.3	0.0	0.4	0.2	1.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	0.6	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.9	0.2	1.0
		2071-2100	0.0	0.3	0.8	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	1.0	0.7	0.2	0.1	0.4	0.7	0.1
Corylus avellana Hasel	ds245	1961-2020	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9
		2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.7	0.9	1.0	0.8	0.4	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
		ds585	2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.7	0.9	1.0	0.9	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0	0.7	0.8	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	0.9	0.7	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
Cornus mas Kornel-kirsche	ds245	1961-2020	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.8	0.6	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.5
		2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.7	0.8	1.0	0.8	0.4	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.6
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0	0.6	0.8	1.0	0.7	0.3	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.5
		ds585	2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0	0.6	0.8	1.0	0.7	0.4	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.3	1.0	1.0	0.9	0.5	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	
Cornus sanguinea Blutroter Hartriegel	ds245	1961-2020	1.0	0.8	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.5
		2036-2065	1.0	0.9	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.6	0.8	0.9	0.7	0.3	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.5
		2071-2100	1.0	0.9	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	0.9	0.6	0.3	1.0	1.0	0.9	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4
		ds585	2036-2065	1.0	0.9	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	0.9	0.7	0.3	1.0	1.0	0.9	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.4	0.2	0.9	1.0	0.8	0.4	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	
Euonymus europaeus Pfaffenhütchen	ds245	1961-2020	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.6
		2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.7	0.9	1.0	0.7	0.3	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.5
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	0.9	0.7	0.3	1.0	1.0	0.9	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
		ds585	2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	0.9	1.0	0.6	0.8	1.0	0.7	0.3	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.4	0.2	0.9	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	
Fagus sylvatica Rotbuche	ds245	1961-2020	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7
		2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.6	0.8	1.0	0.7	0.3	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6
		2071-2100	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.3	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
		ds585	2036-2065	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	1.0	0.6	0.8	1.0	0.7	0.3													

ART	PATH-WAY	PERIODE	Standorte																										
			ASC1	ASC2	ASC3	ASC4	ASC5	ASC6	ASC7	ASC8	ASC9	ASC10	ASC11	ASC12	ASC13	ASC14	ASC15	ASC16	ASC17	ASC18	ASC19	ASC20	ASC21	ASC22	ASC23	ASC24	ASC25	ASC26	
Frangula alnus Faulbaum	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,7
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,4	1,0	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
Fraxinus excelsior Gemeine Esche	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
Fraxinus ornus Manna Esche	ds245	1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,8	0,5	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,8	0,4	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
Larix decidua Europäische Lärche	ds245	1961-2020	0,2	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,6	0,0	1,0	0,6	0,1	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,7
		2036-2065	0,0	0,6	0,1	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9	0,1	0,9	0,1	0,0	0,8	0,5	0,0	0,8	0,0	0,7	0,0	0,4
	ds585	2036-2065	0,0	0,5	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,7	0,1	0,0	0,6	0,5	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	0,3	
		2071-2100	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	0,2	
Picea abies Fichte	ds245	1961-2020	0,0	0,7	0,1	0,7	0,8	0,2	0,0	0,2	0,5	0,6	0,7	0,3	0,3	0,9	0,4	1,0	0,2	0,0	1,0	0,6	0,0	1,0	0,0	0,9	0,0	0,5	
		2036-2065	0,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	0,6	0,5	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	0,2	
	ds585	2036-2065	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,2
		2071-2100	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	
Pinus cembra Zirbe	ds245	1961-2020	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	
		2036-2065	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Pinus nigra Schwarzkiefer	ds245	1961-2020	0,2	0,9	1,0	0,9	0,7	0,9	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,0	1,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,0	0,0	0,9		
		2036-2065	0,1	0,9	0,4	0,7	0,6	0,6	0,0	0,5	0,7	1,0	0,9	0,6	0,3	0,9	0,8	1,0	0,2	0,0	1,0	0,4	0,0	1,0	0,0	0,9	0,0	0,7	
	ds585	2036-2065	0,1	0,9	0,4	0,7	0,6	0,7	0,0	0,4	0,7	1,0	0,9	0,6	0,3	0,9	0,8	0,9	0,2	0,0	1,0	0,4	0,0	1,0	0,0	0,9	0,0	0,7	
		2071-2100	0,2	0,6	0,1	0,6	0,6	0,6	0,0	0,4	0,6	1,0	0,7	0,3	0,4	0,5	0,9	0,6	0,2	0,0	0,8	0,4	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0	0,4	
Pinus sylvestris Weißkiefer	ds245	1961-2020	0,8	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	0,6	0,9	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	0,6		
		2036-2065	0,2	0,9	0,8	0,4	0,8	0,7	0,0	0,6	0,7	0,3	0,1	0,2	0,5	1,0	0,8	0,7	0,5	0,0	0,8	0,6	0,1	1,0	0,0	1,0	0,0	0,5	
	ds585	2036-2065	0,1	0,8	0,6	0,2	0,8	0,4	0,0	0,5	0,6	0,1	0,0	0,2	0,3	1,0	0,6	0,6	0,4	0,0	0,7	0,6	0,1	0,9	0,0	1,0	0,0	0,4	
		2071-2100	0,2	0,8	0,6	0,3	0,8	0,5	0,0	0,5	0,7	0,2	0,0	0,2	0,3	1,0	0,7	0,6	0,4	0,0	0,8	0,6	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,4	
Populus alba Silberpappel	ds245	1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	0,9	0,6	0,4	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,4	
		2036-2065	1,0	0,9	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,3	
	ds585	2036-2065	1,0	0,9	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,4	0,2	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,4	
		2071-2100	1,0	0,9	1,0	0,3	1,0	0,8	1,0	0,6	0,7	0,9	0,3	0,2	0,9	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	
Populus nigra Schwarzpappel	ds245	1961-2020	1,0	0,9	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,4	1,0	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,4	0,2	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	

ART	PATH-WAY	PERIODE	Regionen																										
			ASC1 Meidling	ASC2 Innsbruck	ASC3 Graz	ASC4 Attnang	ASC5 Gloggnitz	ASC6 Amstetten	ASC7 Wien ZVBF	ASC8 Linz Kleinmünchen	ASC9 Linz Hbf	ASC10 Villach	ASC11 Wörgl	ASC12 Salzburg	ASC13 St. Pölten	ASC14 Leoben	ASC15 Wels	ASC16 Seitzthal	ASC17 Wr. Neustadt	ASC18 Floridsdorf	ASC19 St. Johann i. P.	ASC20 Sigmundsherberg	ASC21 Tulln	ASC22 Spittal	ASC23 Bruck/Leitha	ASC24 Klagenfurt	ASC25 Mistelbach	ASC26 Bludenz	
Populus tremula Zitterpappel	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
Prunus avium Vogelkirsche	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,4	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
Prunus padus Trauben- kirsche	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2036-2065	0,7	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,6	
	ds585	2036-2065	0,3	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	0,3	0,6	0,8	1,0	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	0,6	0,9	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	0,5	
		2071-2100	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	0,6	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,4	1,0	1,0	0,6	
Prunus spinosa Schlehdorn	ds245	1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,5	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
Quercus petraea Trauben- eiche	ds245	1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,7	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
Quercus robur Stieleiche	ds245	1961-2020	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,4	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
Salix alba Silberweide	ds245	1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	0,9	0,8	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,5	0,2	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	
Salix caprea Salweide	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,2	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	
Sambucus nigra Schwarzer Holunder	ds245	1961-2020	1,0	0,9	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,8	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	
Sorbus aria Echte Mehlbeere	ds245	1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	
		2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,8	0,4	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	

ART	PATH-WAY	PERIODE	Regionen																										
			ASC1 Meidling	ASC2 Innsbruck	ASC3 Graz	ASC4 Attnang	ASC5 Gloggnitz	ASC6 Amstetten	ASC7 Wien ZVBF	ASC8 Linz Kleinmünchen	ASC9 Linz Hbf	ASC10 Villach	ASC11 Wörgl	ASC12 Salzburg	ASC13 St. Pölten	ASC14 Leoben	ASC15 Wels	ASC16 Seitzthal	ASC17 Wr. Neustadt	ASC18 Floridsdorf	ASC19 St. Johann i. P.	ASC20 Sigmundsherberg	ASC21 Tulln	ASC22 Spittal	ASC23 Bruck/Leitha	ASC24 Klagenfurt	ASC25 Mistelbach	ASC26 Bludenz	
<i>Sorbus aucuparia</i>		1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
	ds245	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,8	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
<i>Sorbus torminalis</i>		1961-2020	1,0	0,7	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,5
	ds245	2036-2065	1,0	0,9	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,7	0,4	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
		2071-2100	1,0	0,9	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
	ds585	2036-2065	1,0	0,9	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
<i>Taxus baccata</i>		1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
	ds245	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
		2071-2100	0,9	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	0,8	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5
<i>Tilia cordata</i>		1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
	ds245	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,9	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,6	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,4	1,0	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,4	0,2	0,9	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
<i>Tilia platyphyllos</i>		1961-2020	1,0	0,8	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	0,9	0,8	0,4	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
	ds245	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,4	0,2	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,9	0,5	0,3	1,0	1,0	0,9	0,6	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,4	1,0	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,4	0,2	0,9	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4
<i>Ulmus glabra</i>		1961-2020	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	ds245	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		2071-2100	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,7	0,9	1,0	0,8	0,3	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
	ds585	2036-2065	1,0	1,0	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7
		2071-2100	0,8	1,0	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	1,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,9	0,7	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,7
<i>Ulmus minor</i>		1961-2020	1,0	0,7	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,4	0,3	0,3	1,0	1,0	0,9	0,2	1,0	1,0	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3
	ds245	2036-2065	1,0	0,8	1,0	0,6	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,8	0,4	0,3	1,0	1,0	0,9	0,3	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3
		2071-2100	1,0	0,8	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,8	0,3	0,2	1,0	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3
	ds585	2036-2065	1,0	0,8	1,0	0,5	1,0	0,9	1,0	0,6	0,8	0,8	0,4	0,2	1,0	1,0	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3
		2071-2100	1,0	0,8	1,0	0,3	1,0	0,8	1,0	0,6	0,7	0,9	0,2	0,2	0,9	1,0	0,8	0,2	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3

## 6.2.2 Entwicklung von potentiell natürlichen Standorten von Gehölzen

Tabelle 15: Entwicklung der potentiell natürlichen Standorte von Gehölzen in den einzelnen ASCs.

### Entwicklung der Standorte in den ASCs bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961 - 2020

ART	PATH-WAY	PERIODE	ASCs																											
			ASC1	ASC2	ASC3	ASC4	ASC5	ASC6	ASC7	ASC8	ASC9	ASC10	ASC11	ASC12	ASC13	ASC14	ASC15	ASC16	ASC17	ASC18	ASC19	ASC20	ASC21	ASC22	ASC23	ASC24	ASC25	ASC26		
			-0,05	-1,00	Abnahme der Standorte im Beobachtungsgebiet bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961 - 2020																									
			0,05	-0,05	Änderung der Standorte kleiner +/- 5% im Beobachtungsgebiet bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961 - 2020																									
			1,00	0,05	Zunahme der Standorte im Beobachtungsgebiet bezogen auf den Vergleichszeitraum 1961 - 2020																									
			Meidling	Innsbruck	Graz	Attnang	Gloggnitz	Arnstetten	Wien ZVBF	Linz Kleinmünchen	Linz Hbf	Villach	Wörgl	Salzburg	St. Pölten	Leoben	Wels	Selzthal	Wr. Neustadt	Flordisdorf	St.Johann i. P.	Sigmundsherberg	Tulln	Spittal	Bruck/Leitha	Klagenfurt	Mistelbach	Bludenz		
Abies alba	ds245	2036-2065	-0,4	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	0,0	-0,3	-0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,4	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	0,0	-0,1	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	-0,4	-0,1	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	0,0	-0,3	-0,2	-0,2	-0,7	-0,6	-0,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,5	0,0	-0,2	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Weiß-tanne	ds585	2036-2065	-0,4	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	0,0	-0,3	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,3	0,0	-0,1	-0,3	-0,5	0,0	-0,1	-0,3	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	-0,5	-0,4	-0,9	-0,7	-0,4	-1,0	0,0	-0,9	-0,6	-0,4	-1,0	-0,7	-0,9	-0,1	-0,8	-0,7	-0,8	0,0	-0,6	-0,3	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,4
Acer campestre	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Feldahorn	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,4	-0,4	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acer platanoides	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Spitzahorn	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	-0,1	-0,1	0,0	-0,6	0,0	-0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	-0,7	-0,3	-0,2	0,0	-0,5	-0,4	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
Acer pseudoplatan	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Bergahorn	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,4	-0,4	-0,1	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alnus glutinosa	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schwarzerle	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,6	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Alnus incana	ds245	2036-2065	-0,4	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,8	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	-0,7	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,8	-0,4	-0,2	-0,1	-0,3	-0,7	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,7	-0,1	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grauerle	ds585	2036-2065	-0,6	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,8	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,8	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	-1,0	-0,2	-0,5	-0,8	-0,1	-1,0	-1,0	-1,0	-0,6	-0,5	-0,8	-0,9	-0,7	0,0	1,0	-0,5	-0,6	-1,0	-0,2	-0,4	-1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alnus viridis	ds245	2036-2065	-0,2	-0,4	-0,9	-0,8	-0,4	-1,0	0,0	-0,9	-0,6	-0,8	-0,9	-0,6	-0,8	-0,2	-0,8	-0,2	-0,7	0,0	-0,2	-0,4	-0,8	-0,1	0,0	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	
		2071-2100	-0,2	-0,5	-0,9	-0,8	-0,5	-1,0	0,0	-0,9	-0,7	-0,9	-1,0	-0,8	-0,9	-0,3	-1,0	-0,3	-0,7	0,0	-0,3	-0,4	-0,9	-0,3	0,0	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	
Grünerle	ds585	2036-2065	-0,2	-0,4	-0,9	-0,7	-0,5	-1,0	0,0	-0,9	-0,7	-0,9	-1,0	-0,7	-0,9	-0,3	-1,0	-0,3	-0,7	0,0	-0,3	-0,4	-0,8	-0,2	0,0	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	
		2071-2100	-0,2	-0,6	-0,9	-0,8	-0,9	-1,0	0,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-0,8	-1,0	-0,7	-1,0	-0,9	-0,8	0,0	-0,8	-0,8	-0,9	-0,6	0,0	-0,8	-0,5	-0,3	-0,3	
Betula pendula	ds245	2036-2065	-0,5	-0,4	-0,9	-0,7	-0,5	-1,0	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,7	-0,3	-1,0	-0,1	-0,9	-0,3	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0	-0,4	-0,7	-0,5	-1,0	-0,3	-0,3	
		2071-2100	-0,5	-0,4	-0,9	-0,7	-0,7	-1,0	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,7	-0,3	-1,0	-0,2	-0,9	-0,4	-0,9	-0,8	-0,5	-0,4	-1,0	-0,5	-0,7	-0,6	-1,0	-0,4	-0,4	
Sandbirke	ds585	2036-2065	-0,5	-0,4	-0,9	-0,7	-0,8	-1,0	-0,8	-0,7	-0,3	-0,5	-0,7	-0,3	-1,0	-0,2	-0,9	-0,4	-0,9	-0,8	-0,4	-0,4	-1,0	-0,3	-0,7	-0,6	-1,0	-0,4	-0,4	
		2071-2100	-0,5	-0,6	-0,9	-0,7	-1,0	-1,0	-0,8	-0,7	-0,8	-0,5	-0,7	-0,3	-1,0	-0,6	-0,9	-0,8	-1,0	-0,8	-0,9	-0,6	-1,0	-0,6	-0,7	-0,8	-1,0	-0,4	-0,5	
Betula pubescens	ds245	2036-2065	-0,2	-0,5	-0,4	-0,7	-0,7	-1,0	-0,7	-0,9	-0,6	-1,0	-0,7	-0,9	-1,0	-0,3	-1,0	-0,2	-0,6	-0,8	-0,2	-0,3	-0,9	-0,5	-0,5	-0,7	-1,0	-0,3	-0,3	
		2071-2100	-0,2	-0,5	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-0,7	-0,9	-0,8	-1,0	-0,8	-0,9	-1,0	-0,6	-1,0	-0,3	-0,7	-0,8	-0,4	-0,4	-0,9	-0,6	-0,5	-0,8	-1,0	-0,4	-0,4	
Moorbirke	ds585	2036-2065	-0,2	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-1,0	-0,7	-0,9	-0,8	-1,0	-0,8	-0,9	-1,0	-0,3	-1,0	-0,3	-0,7	-0,8	-0,3	-0,4	-0,9	-0,6	-0,5	-0,8	-1,0	-0,4	-0,4	
		2071-2100	-0,2	-0,6	-0,5	-0,7	-1,0	-1,0	-0,7	-0,9	-0,9	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-0,9	-1,0	-0,9	-0,7	-0,8	-0,9	-0,8	-0,9	-0,7	-0,5	-0,9	-1,0	-0,4	-0,5	
Carpinus betulus	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Hainbuche	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,1	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	

ART	PATH-WAY	PERIODE	Meidling	Innsbruck	Graz	Attnang	Gloggnitz	Amstetten	Wien ZVBF	Linz Kleinmünchen	Linz Hbf	Villach	Wörgl	Salzburg	St. Pölten	Leoben	Wels	Selzthal	Wr. Neustadt	Flordsdorf	St. Johann i. P.	Sigmundsherberg	Tulln	Spittal	Bruck/Leitha	Klagenfurt	Mistelbach	Bludenz
			ASC1	ASC2	ASC3	ASC4	ASC5	ASC6	ASC7	ASC8	ASC9	ASC10	ASC11	ASC12	ASC13	ASC14	ASC15	ASC16	ASC17	ASC18	ASC19	ASC20	ASC21	ASC22	ASC23	ASC24	ASC25	ASC26
<i>Castanea sativa</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,2	0,6	0,9	0,2	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,0	0,7	0,1	0,1	0,4	0,0	0,6	0,0	0,2
		2071-2100	0,0	0,3	0,2	0,6	1,0	0,2	0,0	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,8	0,5	0,8	0,4	0,0	0,9	0,3	0,1	0,5	0,0	0,7	0,0	0,3
Edelkastanie	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,2	0,6	0,9	0,2	0,0	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,8	0,5	0,7	0,4	0,0	0,9	0,2	0,1	0,5	0,0	0,7	0,0	0,3
		2071-2100	0,0	0,4	0,2	0,5	1,0	0,2	0,0	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	1,0	0,5	0,9	0,4	0,0	0,9	0,6	0,1	0,6	0,0	0,8	0,0	0,4
<i>Cedrus libani</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
		2071-2100	-0,4	0,1	0,3	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,3	0,2	0,0	0,0
Libanon-zeder	ds585	2036-2065	-0,2	0,1	0,3	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,0	0,0
		2071-2100	-0,9	0,2	0,8	0,0	-0,1	-0,1	-0,9	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,5	0,0	0,0	-0,2	-0,8	0,0	0,1	-0,2	0,2	-0,9	0,4	-0,1
<i>Corylus avellana</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Hasel	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	-0,5	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
<i>Cornus mas</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Kornel-kirsche	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cornus sanguinea</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,6	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Blutroter Hartriegel	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,5	-0,7	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
<i>Euonymus europaeus</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
Pfaffen-hütchen	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,1	0,0	-0,1	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,4	0,0	-0,2	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,5	-0,8	-0,1	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
<i>Fagus sylvatica</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Rotbuche	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,3	-0,5	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2
<i>Frangula alnus</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Faulbaum	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,3	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Fraxinus excelsior</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,7	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2
Gemeine Esche	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,4	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
<i>Fraxinus ornus</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,5	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Manna Esche	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Larix decidua</i>	ds245	2036-2065	-0,2	0,4	0,9	0,6	-0,3	-0,9	0,0	-1,0	-0,6	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,1	-0,9	-0,1	-0,5	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,1
		2071-2100	-0,2	0,5	0,9	0,8	-0,5	-0,9	0,0	-1,0	-0,7	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,2	-1,0	-0,3	-0,5	0,0	-0,4	-0,1	-0,1	-0,4	0,0	-0,6	0,0	-0,4
Europäische Lärche	ds585	2036-2065	-0,2	0,4	0,9	0,8	-0,4	-0,9	0,0	-1,0	-0,7	-0,9	-0,9	-1,0	-0,9	-0,2	-1,0	-0,2	-0,5	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	0,0	-0,5	0,0	-0,3
		2071-2100	-0,2	0,6	1,0	0,8	-0,8	-0,9	0,0	-1,0	-0,9	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,6	-1,0	-0,9	-0,6	0,0	-0,9	-0,3	-0,1	-0,6	0,0	-0,8	0,0	-0,5
<i>Picea abies</i>	ds245	2036-2065	0,0	-0,3	-0,1	-0,7	-0,6	-0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-0,3	-0,3	-0,8	-0,4	-0,7	-0,2	0,0	-0,4	-0,1	0,0	-0,6	0,0	-0,7	0,0	-0,3
		2071-2100	0,0	-0,3	-0,1	-0,7	-0,7	-0,2	0,0	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	-0,3	-0,8	-0,4	-0,7	-0,2	0,0	-0,8	-0,2	0,0	-0,7	0,0	-0,8	0,0	-0,4
Fichte	ds585	2036-2065	0,0	-0,3	-0,1	-0,7	-0,7	-0,2	0,0	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	-0,3	-0,8	-0,4	-0,6	-0,2	0,0	-0,7	-0,2	0,0	-0,7	0,0	-0,8	0,0	-0,4
		2071-2100	0,0	-0,4	-0,1	-0,7	-0,8	-0,2	0,0	-0,2	-0,5</																	

ART	PATH-WAY	PERIODE	Meidling	Innsbruck	Graz	Attnang	Gloggnitz	Amstetten	Wien ZVBF	Linz Kleinmünchen	Linz Hbf	Villach	Wörgl	Salzburg	St. Pölten	Leoben	Wels	Selzthal	Wr. Neustadt	Floridsdorf	St. Johann i. P.	Sigmundsherberg	Tulln	Spittal	Bruck/Leitha	Klagenfurt	Mistelbach	Bludenz	
			ASC1	ASC2	ASC3	ASC4	ASC5	ASC6	ASC7	ASC8	ASC9	ASC10	ASC11	ASC12	ASC13	ASC14	ASC15	ASC16	ASC17	ASC18	ASC19	ASC20	ASC21	ASC22	ASC23	ASC24	ASC25	ASC26	
Pinus cembra	ds245	2036-2065	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	
		2071-2100	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
Zirbe	ds585	2036-2065	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
Pinus nigra	ds245	2036-2065	-0,1	-0,1	0,6	0,2	-0,1	-0,2	0,0	-0,5	-0,3	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	-0,1	-0,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2
		2071-2100	-0,1	-0,1	0,6	0,2	-0,1	-0,2	0,0	-0,6	-0,3	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2
Schwarzkiefer	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,7	0,2	-0,1	-0,2	0,0	-0,5	-0,3	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,3	0,0	-0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2
		2071-2100	0,0	0,3	0,9	0,3	-0,1	-0,3	0,0	-0,6	-0,4	0,0	-0,3	0,7	0,3	0,5	0,1	-0,4	-0,4	0,0	-0,2	0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,6	0,0	-0,5
Pinus sylvestris	ds245	2036-2065	0,6	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,6	0,3	-0,2	-0,6	0,7	0,4	0,8	0,0	0,2	0,2	0,5	0,6	0,1	-0,4	-0,9	0,0	-0,6	0,0	0,9	0,0	-0,1
		2071-2100	-0,7	-0,2	0,4	0,5	0,2	0,6	0,6	-0,4	-0,3	-0,8	-0,8	-0,4	-0,7	0,0	-0,3	0,4	0,6	0,6	0,2	0,4	0,9	0,0	-0,6	0,0	0,9	0,0	-0,1
Weißkiefer	ds585	2036-2065	0,6	0,2	0,4	0,5	0,2	0,5	0,6	0,3	-0,2	-0,7	0,8	0,4	0,7	0,0	0,3	0,3	0,6	0,6	0,2	0,4	-1,0	0,0	-0,6	0,0	0,9	0,0	-0,1
		2071-2100	-0,8	0,4	0,9	0,7	0,6	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-0,6	-1,0	-0,2	1,0	0,8	0,9	-0,6	-0,7	-0,5	-1,0	-0,1	-0,6	0,3	0,9	0,0	-0,8
Populus alba	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Silberpappel	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,1	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Populus nigra	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Schwarzpappel	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,4	-0,4	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Populus tremula	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,1	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2
Zitterpappel	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,4	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2
Prunus avium	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Vogelkirsche	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2
Prunus padus	ds245	2036-2065	-0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3
		2071-2100	-0,7	0,0	0,0	0,2	0,0	-0,1	-0,8	-0,4	-0,2	0,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,1	0,7	0,1	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3
Traubekirsche	ds585	2036-2065	-0,6	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,4	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,7	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3
		2071-2100	-1,0	0,2	0,5	-0,6	-0,1	-0,8	-1,0	-0,7	-0,4	0,0	-0,8	-0,8	-0,6	0,0	0,3	0,5	-0,6	-1,0	-0,3	-0,2	-0,9	0,0	-1,0	0,0	0,6	0,0	-0,8
Prunus spinosa	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,4	-0,2	0,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schlehdorn	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,4	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quercus petraea	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Traubeneiche	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,4	-0,7	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quercus robur	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Stieleiche	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Salix alba	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1
Silberweide	ds585	2036-2065																											

ART	PATH-WAY	PERIODE	Meidling	Innsbruck	Graz	Attnang	Gloggnitz	Amstetten	Wien ZVBF	Linz Kleinmünchen	Linz Hbf	Villach	Wörgl	Salzburg	St. Pölten	Leoben	Wels	Selzthal	Wr. Neustadt	Flordisdorf	St. Johann i. P.	Sigmundsherberg	Tulln	Spittal	Bruck/Leitha	Klagenfurt	Mistelbach	Bludenz
			ASC1	ASC2	ASC3	ASC4	ASC5	ASC6	ASC7	ASC8	ASC9	ASC10	ASC11	ASC12	ASC13	ASC14	ASC15	ASC16	ASC17	ASC18	ASC19	ASC20	ASC21	ASC22	ASC23	ASC24	ASC25	ASC26
<i>Salix caprea</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Salweide	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,1	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>Sambucus nigra</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schwarzer Holunder	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,4	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Sorbus aria</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Echte Mehlbeere	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Sorbus aucuparia</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eberesche	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Sorbus torminalis</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
Elsbeere	ds585	2036-2065	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,6	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
<i>Taxus baccata</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gemeine Eibe	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	-0,1	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
<i>Tilia cordata</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,5	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Winterlinde	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,3	-0,5	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,4	-0,5	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,5	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Tilia platyphyllos</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sommerlinde	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,1	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Ulmus glabra</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,2	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bergulme	ds585	2036-2065	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	-0,2	0,0	0,0	-0,4	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
<i>Ulmus minor</i>	ds245	2036-2065	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Feldulme	ds585	2036-2065	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
		2071-2100	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0

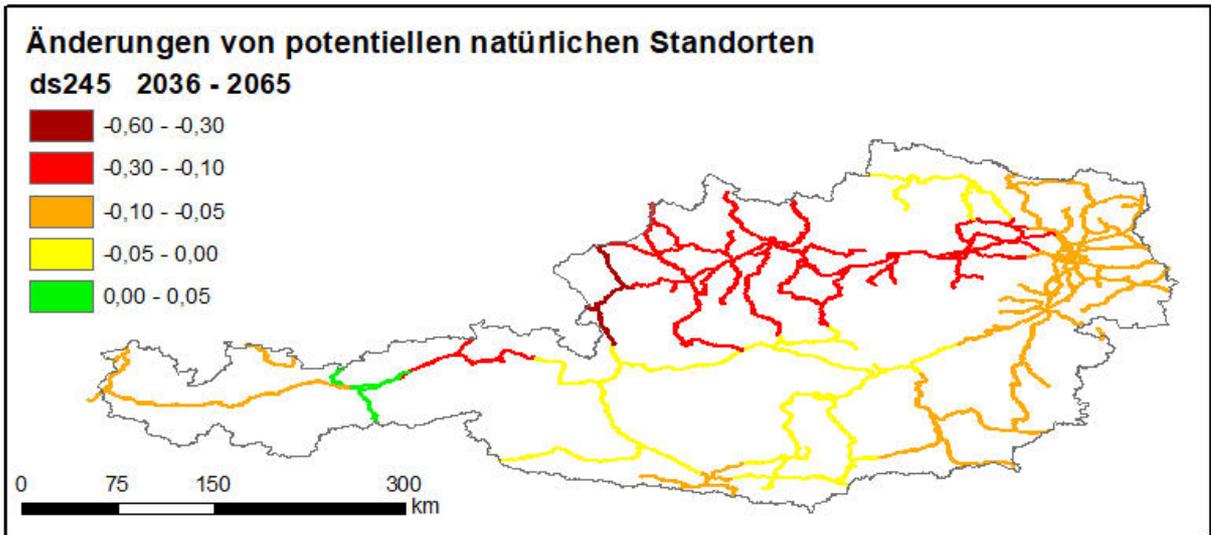


Abbildung 83: Änderungen von potentiell natürlichen Standorten ds245 2036-2065.

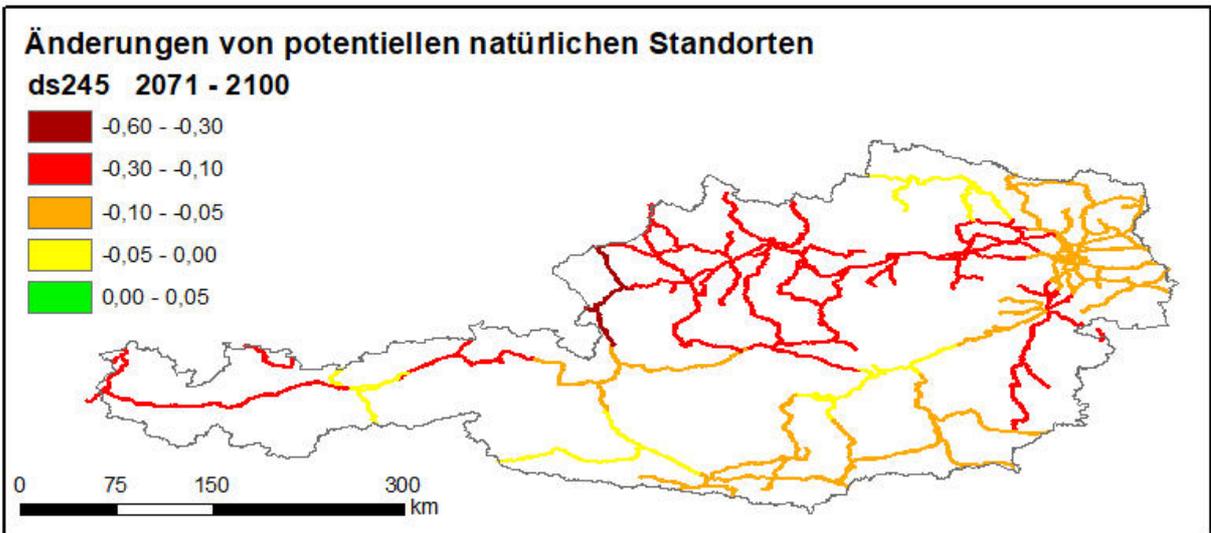


Abbildung 84: Änderung von potentiell natürlichen Standorten ds245 2071-2100.

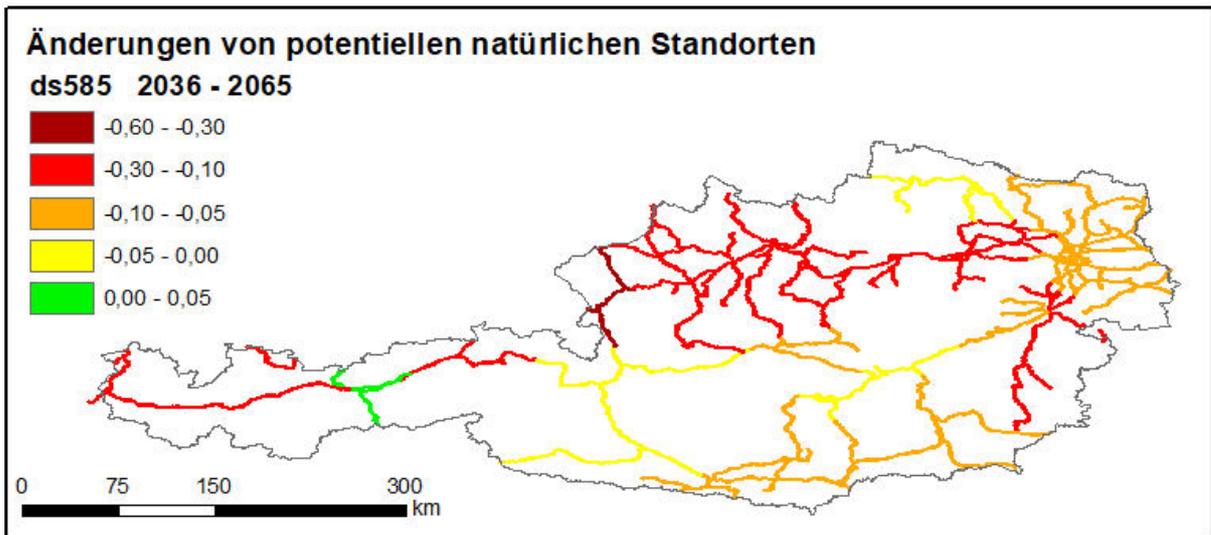


Abbildung 85: Änderungen von potentiell natürlichen Standorten ds585 2036-2065.

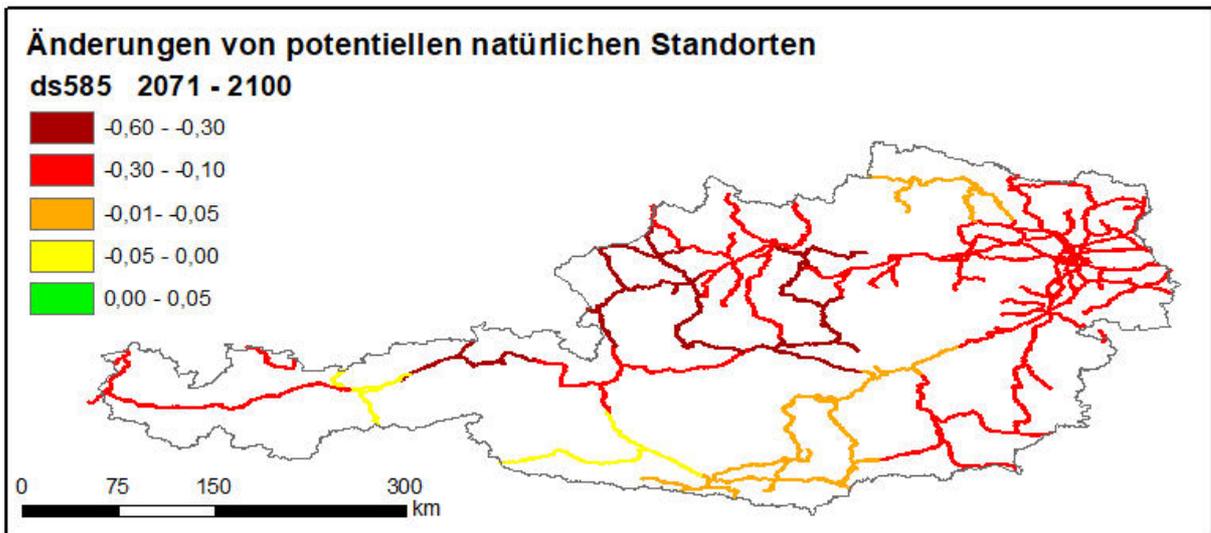


Abbildung 86: Änderungen von potentiell natürlichen Standorten ds585 2036-2065.

Es folgt eine beschreibende Prognose für die im ÖBB-Forstoperat als Hauptbaumarten erfassten und mittels Klimahüllen untersuchten Arten. Die betrachteten Zeiträume betreffen die Jahre 2036-2065 (Periode I) sowie 2071-2100 (Periode II). Der Vergleichszeitraum in der Vergangenheit umfasst die Jahre 1961-2020. Zur Beschreibung der Klimawandeltrends einzelner Arten wurden zwei Pfade (ds245 und ds585) verwendet, die auf Modellen für sozioökonomische Entwicklungen beruhen. Die Auswahl der Szenarien wurde derart getroffen, dass mit dem Pfad ds245 ein realistisches, noch erreichbares Klimaszenario Verwendung finden sollte. Das zweite Szenario (ds585) geht von einem stärkeren Temperaturanstieg aus und wurde ausgewählt, um potenziell größere Auswirkungen in der

Maßnahmenplanung berücksichtigen zu können. Das beobachtete bzw. modellierte Gebiet entspricht einem 2 km breiten Korridor entlang des ÖBB-Schiennetzes und ist gemäß der Zuordnung zu den ASCs unterteilt.

Für eine erste Abschätzung der Handlungsdringlichkeit können die Vorkommen der aktuellen Hauptbaumarten gemäß ÖBB-Forstoperat mit den Klimawandelprognosen dieser Arten verglichen werden. Die aktuellen Vorkommen im 100 m Korridor entlang des ÖBB-Schiennetzes sind in Abbildung 87 dargestellt. Es ist besonderes Augenmerk auf die Entwicklung von der Fichte (*Picea abies*) zu legen, da sie zumindest in der 100 m Zone entlang des Schiennetzes gemäß des ÖBB-Forstoperates die am häufigsten vorkommende Baumart ist und laut Prognosen ein Rückgang der zukünftigen potenziellen Standorte zu erwarten ist. In der Verbreitungshäufigkeit folgen der Fichte einige Laubbaumarten, welche mit Ausnahme von Sand-Birke (*Betula pendula*), Moor-Birke (*Betula pubescens*) und Grün-Erle (*Alnus viridis*) regional unterschiedliche Klimaprognosen aufweisen. Bezüglich der Handlungsdringlichkeit müssen diese Arten separat und regional einzeln betrachtet werden.

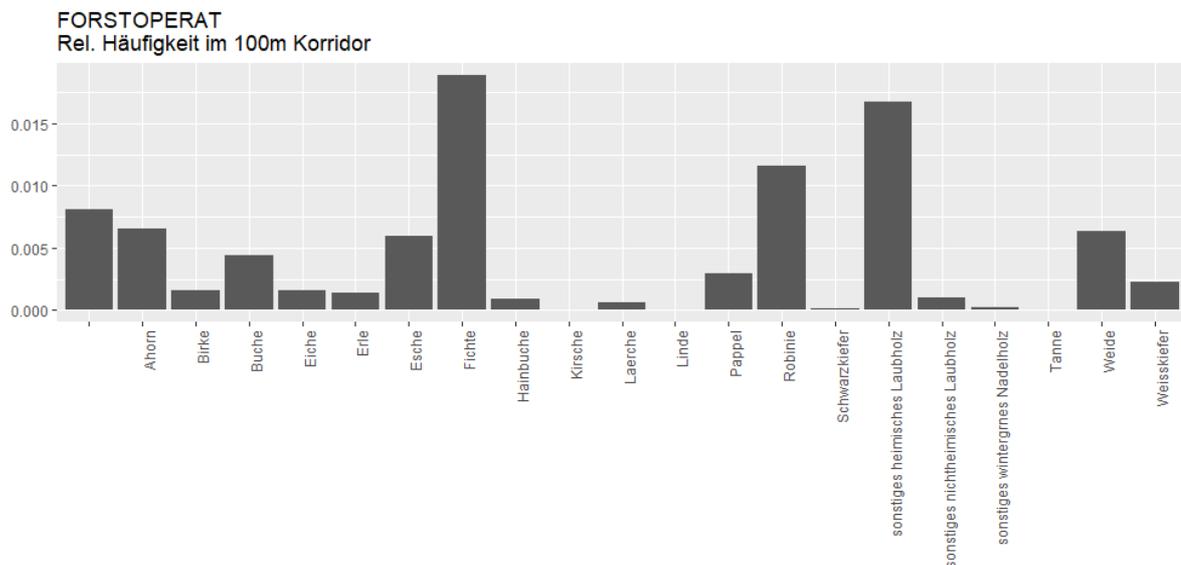


Abbildung 87: Aktuelles Vorkommen der Hauptbaumarten laut Forstoperat im 100 m Korridor entlang des ÖBB-Schiennetzes

## Laubholz

Gemäß den Berechnungen schneiden Laubholzarten in den Prognosen allgemein besser ab als Nadelhölzer. Die Tendenzen weisen allerdings große regionale Unterschiede auf. Über alle Beobachtungsgebiete hinweg erzielt die Edelkastanie (*Castanea sativa*) große Zuwächse an potentiell natürlichen Standorten, weshalb zukünftig von einer weiteren Verbreitung

ausgegangen werden kann. Einer Vielzahl von Laubhölzern werden trotz prognostizierter Rückgänge zukünftig ähnlich hohe Standorthäufigkeiten wie der Edelkastanie zugeschrieben. Deutlichere regionale Zuwächse in ihrem potentiellen natürlichen Verbreitungsgebiet können auch die Feld-Ulme (*Ulmus minor*), Elsbeere (*Sorbus torminalis*), Silber-Pappel (*Populus alba*) und Manna-Esche (*Fraxinus ornus*) verzeichnen. Demgegenüber stehen Sand-Birke (bzw. Hänge-Birke, *Betula pendula*), Moor-Birke (*Betula pubescens*) und Grün-Erle (*Alnus alnobetula*), denen eine starke Abnahme bis hin zu einem mehrheitlichen Verschwinden von potentiellen natürlichen Standorten über alle Beobachtungsgebiete hinweg prognostiziert wird. Regional betrachtet fällt auf, dass die ASC-Standorte Innsbruck und Spittal tendenziell Zuwächse an potentiell natürlichen Laubholzstandorten zu verzeichnen haben, während die ASC-Standorte Attnang, Linz Kleinmünchen, Linz Hbf, Wörgl und Salzburg über eine Vielzahl von Laubholzarten hinweg eher Abnahmen in der Standorthäufigkeit prognostiziert werden.

### **Nadelholz**

Nadelholzarten zeigen innerhalb der untersuchten Perioden und Szenarien im allgemeinen höhere Verluste der potentiellen natürlichen Standorte als Laubholzarten. Sofern in der Vergangenheit potentielle natürliche Standorte innerhalb der Beobachtungsgebiete vorhanden waren, zeigen diese abnehmende bis stark rückläufige Entwicklungen. Einzige Ausnahme ist die Schwarzkiefer (*Pinus nigra*), der im ASC-Standort Sigmundsherberg eine Zunahme von potentiellen natürlichen Standorten prognostiziert wird. Schwarzkiefer und Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) werden innerhalb der Nadelhölzer die geringeren Rückgänge prognostiziert. Für die Standorte der Europäischen Lärche (*Larix decidua*) und vor allem der Fichte zeigt sich eine negativere Tendenz. Für die Fichte werden zukünftig nur in einigen wenigen ASC-Standorte geringe Häufigkeiten von potentiellen natürlichen Standorten erwartet. Die Zirbe (*Pinus cembra*) verzeichnet keine bemerkenswerten Veränderungen in der Standortverteilung in den ASC-Standorten. Allerdings gab es auch im Vergleichszeitraum im untersuchten Korridor entlang des ÖBB-Schienennetzes kaum potentielle Standorte. Der Eibe (*Taxus baccata*) werden lokal zwar geringe Abnahmen prognostiziert, sie kann aber ihre Häufigkeit an potentiellen natürlichen Standorten weitgehend auf hohem Niveau halten.

### **Ahorn**

Feldahorn (*Acer campestre*), Spitzahorn (*Acer platanoides*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) zeichnen sowohl im Vergleichszeitraum 1961-2020 als auch in den Zukunftsszenarien ähnliche Bilder der potentiellen Standorte. Wenngleich die aktuelle

Ausgangslage, die von „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ bis „Beobachtungsgebiet ist mehrheitlich potentieller Standort“ reicht, sehr gut ist, kommt es vor allem in den ASC-Standorten Attnang, Amstetten, Linz Kleinmünchen, Linz Hbf, Wörgl, Salzburg, Selzthal und St. Johann im Pongau zu einem deutlichen Rückgang an potentiellen Standorten. Für den ASC-Standort Wörgl wird für 2071-2100 bei Pfad ds585 ein komplettes Verschwinden von potentiellen Standorten für den Spitzahorn prognostiziert. Im ASC-Standort Bludenz zeigt die Vergangenheit eine potentielle Standortverfügbarkeit für alle drei Ahorn-Arten von max. 53 % auf. Es werden jedoch kleinere zukünftige Änderungen vorhergesagt. Dem gegenüber steht die Prognose einer Zunahme der potentiellen Standorte im ASC-Standort Innsbruck für alle drei Arten in beiden Perioden und Szenarien.

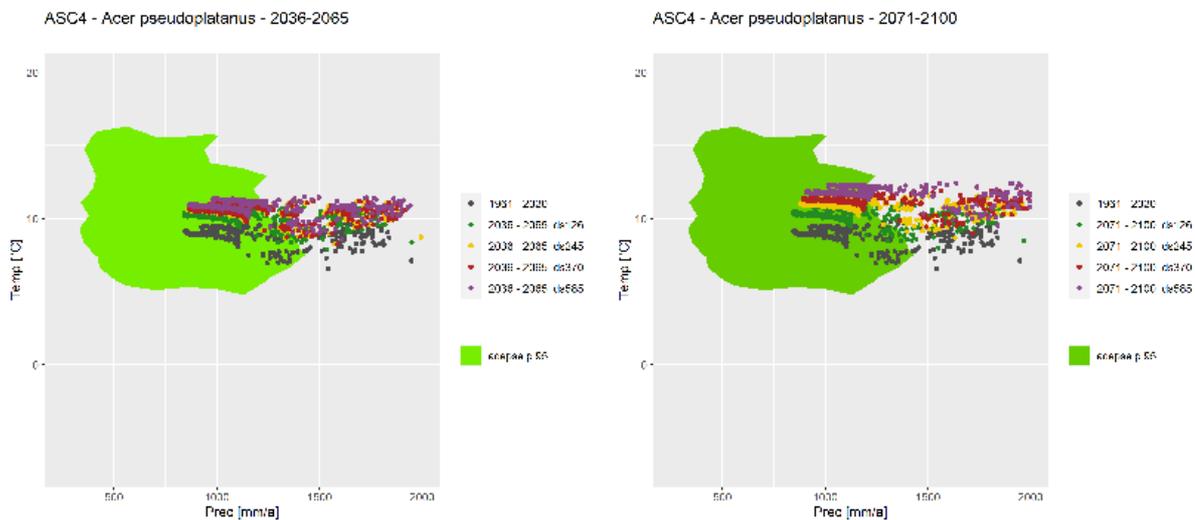


Abbildung 88: Klimahüllen Bergahorn - ASC 4 Attnang: li. 2036 – 2065, re. 2071 – 2100.

## Birke

Während in der Vergangenheit mit wenigen Ausnahmen alle ASC-Standorte mehrheitlich potentielle Standorte für Sand-Birke und Moor-Birke waren, zeigen sich über die untersuchten Zeiträume und in beiden betrachteten Pfaden über alle ASC-Standorte deutliche Abnahmen der potentiellen Standorte. Bereits im Zeitraum 2036-2065 wird bei Szenario ds245 für die Sand-Birke knapp mehr als die Hälfte und für die Moor-Birke knapp weniger als die Hälfte der ASC-Standorte die Klasse „keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ zugewiesen. In der Prognose für Periode II und Pfad ds585 hingegen schneidet die Moorbirke leicht schlechter ab als die Sandbirke. Es ist zu erwarten, dass die Anzahl der potentiellen Birken-Standorte im Zuge des Klimawandels in den Beobachtungsgebieten massiv zurückgehen wird.

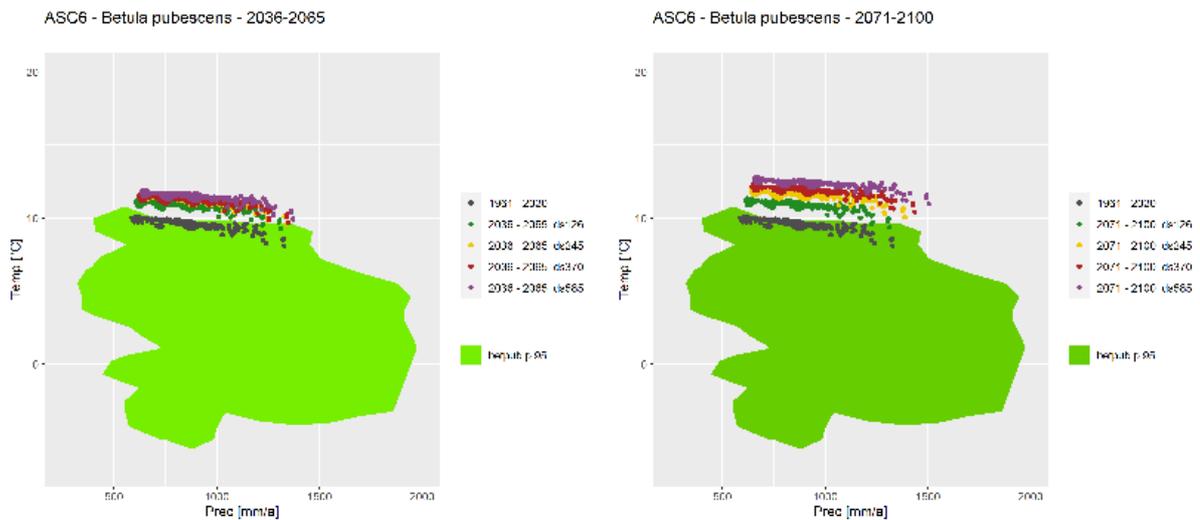


Abbildung 89: Klimahüllen Moorbirke - ASC 6 Amstetten: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Buche

Von einer guten Ausgangslage in der Vergangenheit (alle ASC-Standorte sind zumindest mehrheitlich potentieller Standort), wird der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) eine gute Prognose ausgestellt. Sie weist mehrheitlich eine gleichbleibende Anzahl an Standorten auf. In acht ASC-Standorten kommt es über beide Perioden und Pfade zu leichten Abnahmen. Als einzige ASC-Standorte mit der Prognose „mehrheitlich keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ sticht der ASC-Standort Salzburg heraus. Die Gegenüberstellung des Zeitraums 1961-2020 (72 % Verfügbarkeit von potentiellen Standorten in diesem Abschnitt) mit dem Zeitraum 2071-2100, in dem nur noch 29 % (ds245) bzw. 26 % (ds585) prognostiziert werden, verdeutlicht die starke Veränderung in diesem Beobachtungsgebiet. Eine ähnlich hohe Abnahme von potentiellen Standorten für Periode II und Pfad ds585 wird nur im ASC-Standort Selzthal erreicht, wobei in diesem Abschnitt die Ausgangssituation in der Vergangenheit, mit 91 % potentielle Standorte für die Rotbuche, eine andere ist.



Abbildung 90: Klimahüllen Rotbuche - ASC 5 Gloggnitz: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Eiche

Allgemein weisen Traubeneiche (*Quercus petraea*) und Stieleiche (*Quercus robur*) in der Vergangenheit weite potentielle Verbreitungsgebiete auf. Auch die Prognose für die Zukunft fällt für beide Arten weitgehend positiv aus, obwohl es zu geringen Rückgängen der potentiellen Standorte kommt. Abnahmen treten unabhängig von Betrachtungszeitraum und Pfad für die ASC-Standorte Attnang, Linz Kleinmünchen, Linz Hbf, Wörgl und Salzburg auf, wobei der mit Abstand stärkste Rückgang der potentiellen Standorte mit bis zu 74 % dem ASC-Standort Salzburg prognostiziert wird. Der ASC-Standort Wels zeigt nur für die nahe Zukunft (2036-2065) im Szenario ds245 keine Abnahme von Standorten. Vereinzelt treten auch in anderen ASCs für den Zeitraum 2071-2100 Verschlechterungen hinsichtlich der Standorte auf. Im Gegensatz dazu werden für die Traubeneiche in dem ASC-Standort Innsbruck Zunahmen prognostiziert, für die Stieleiche jedoch nur noch für Periode I.

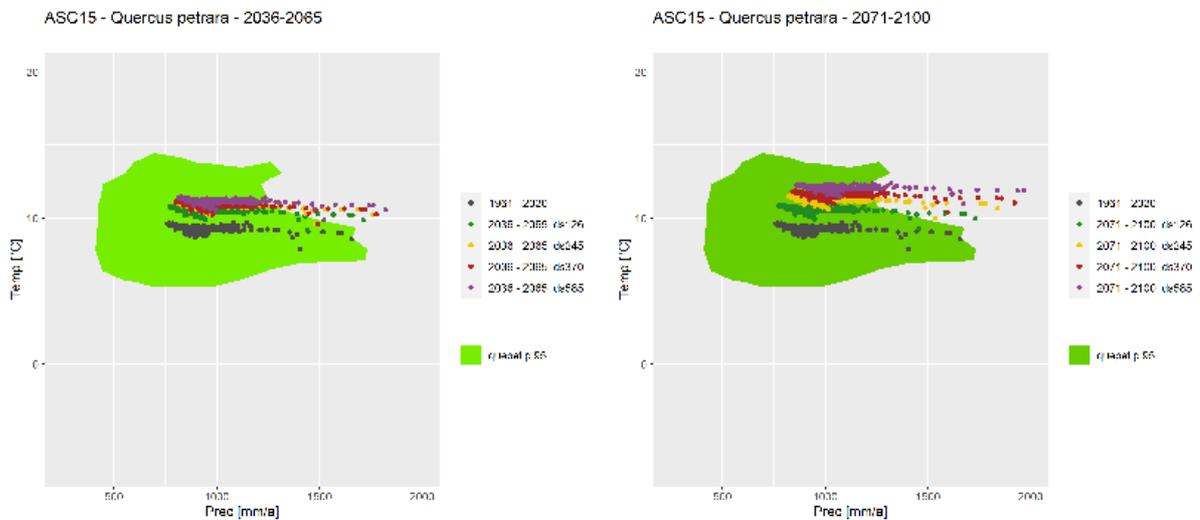


Abbildung 91: Klimahüllen Traubeneiche - ASC 15 Wels:li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Erle

Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*) und Grau-Erle (*Alnus incana*) weisen im Zeitraum 1961-2020 bis auf wenige Ausnahmen in allen ASC-Standorten das gesamte Beobachtungsgebiet als potentiellen Standort auf. Für die Schwarz-Erle werden kleinere Rückgänge in den Standorten prognostiziert. Diese betreffen vor allem die ASC-Standorte Attnang, Linz Kleinmünchen, Linz Hbf, Wörgl, Salzburg und Wels. Für die restlichen ASCs bleiben die potentiellen Standorte auf einem hohen Niveau. Bei ähnlicher Ausgangslage werden für die Grau-Erle jedoch mehrheitlich Abnahmen der potentiellen Standorte prognostiziert. Lediglich den ASC-Standorte Leoben, Spittal und Klagenfurt wird der Erhalt der Klasse „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ auch in Zukunft zugeschrieben. Acht Beobachtungsgebiete verlieren in Periode II bei Pfad ds585 alle potentiellen Standorte. Die größten Einbußen an potentiellen natürlichen Standorten hat jedoch die Grün-Erle zu verzeichnen. Über alle betrachteten Gebiete, Zeiträume und Szenarien kommt es zu Abnahmen. In den ASC-Standorten Wien ZVBF, Floridsdorf und Bruck/Leitha gab es im Vergleichszeitraum 1961-2020 keine potentiellen Standorte und es werden auch zukünftig keine Veränderungen erwartet. In Summe wird der Grün-Erle in 17 ASC-Standorten die Klasse „keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ ausgestellt.

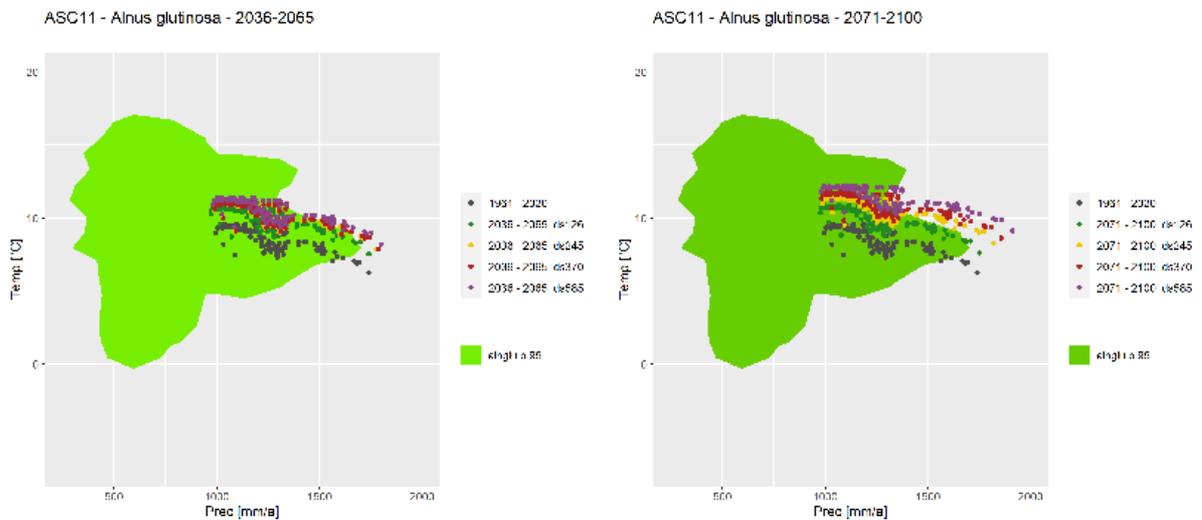


Abbildung 92: Klimahüllen Schwarz-Erle - ASC 11 Wörgl: li. 2036 – 2065, re. 2071 – 2100

## Esche

Sowohl Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*) als auch Manna-Esche (*Fraxinus ornus*) haben eine weite Verbreitung von potentiellen natürlichen Standorten entlang des Schienennetzes. Diese wird laut Prognose auch mehrheitlich erhalten bleiben. Rückgänge der potentiellen Standorte sind in den ASC-Standorten Attnang, Wörgl, Salzburg sowie, betreffend die Gemeine Esche, in den ASC-Standorte Wels und Bludenz zu erwarten. Abgesehen vom ASC-Standort Salzburg sind jedoch weiterhin alle Gebiete der Klasse „teilweise potentielle Standorte im Beobachtungsgebiet“ zugeordnet. Der Mehrheit der ASC-Standorte wird „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ prognostiziert. Für die Manna-Esche dürfte sich in den ASC-Standorten Meidling und Spittal sowie teilweise in Bludenz die Verfügbarkeit von potentiellen Standorten sogar verbessern.

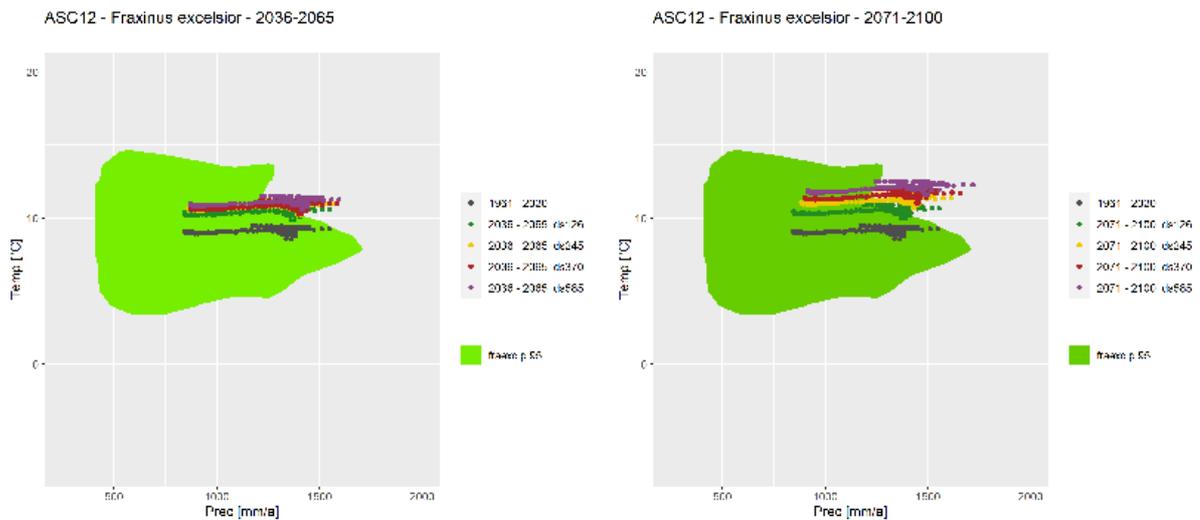


Abbildung 93: Klimahüllen Esche - ASC 12 Salzburg: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Hainbuche

Die Hainbuche (*Carpinus betulus*) zeigt tendenziell eine gute Ausgangslage im Zeitraum 1961-2020, größtenteils mit den Klassifizierungen „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ und „Beobachtungsgebiet ist mehrheitlich potentieller Standort“. Bei Betrachtung der Vergangenheit bilden hier die ASC-Standorte Bludenz, der bei den Prognosen jedoch keine Abnahme von Standorten verzeichnet, und Salzburg die Ausreißer. Der ASC-Standort Salzburg weist in den Zukunftsprognosen abhängig von Periode und Szenario nur noch 22-27 % Verfügbarkeit von potentiellen Standorten auf. Im Betrachtungszeitraum 2071-2100 wird die Klasse „mehrheitlich keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ bei Szenario ds585 den ASC-Standorten Attnang, Wörgl und Selzthal zugeteilt. Den ASC-Standorten Innsbruck und Spittal werden unabhängig von Pfad oder Beobachtungszeitraum leichte Zunahmen an potentiellen Standorten prognostiziert.

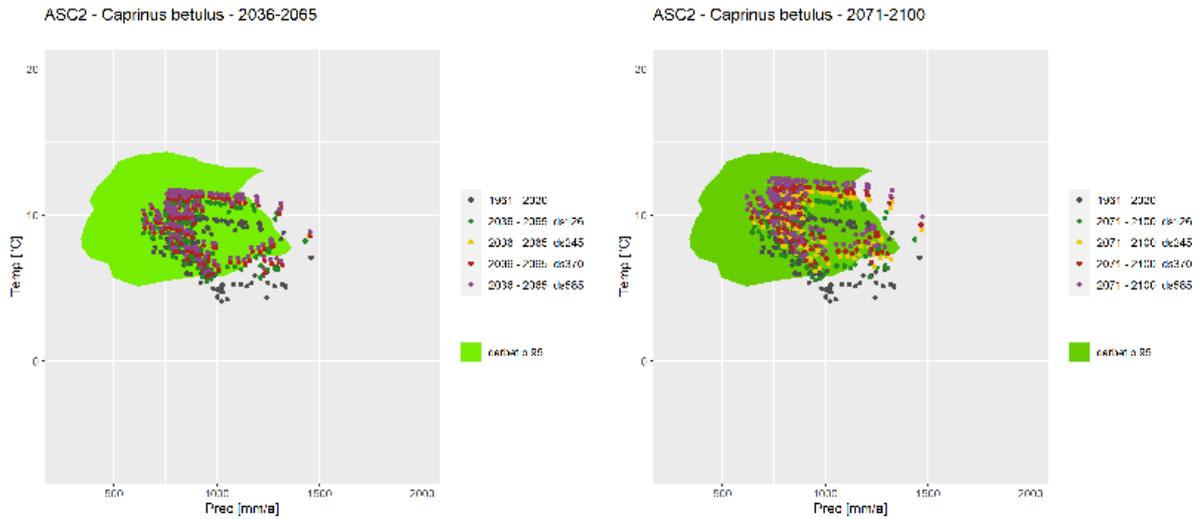


Abbildung 94: Klimahüllen Hainbuche - ASC 2 Innsbruck: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

### Kirsche

Das aktuelle potentielle Verbreitungsgebiet der Vogel-Kirsche (*Prunus avium*) ist weitreichend, alle ASC-Standorte weisen mehr als 91 % Verfügbarkeit von potentiellen Standorten auf. Mehrheitlich wird dieses Bild auch in Zukunft erhalten bleiben. Abgesehen vom ASC-Standort Salzburg, wo mit Standorteinbußen von mehr als 60 % zu rechnen ist, können für die übrigen von Abnahmen betroffenen ASC-Standorte die Rückgänge von potentiellen Standorten als moderat bezeichnet werden. Die Mehrheit der Beobachtungsgebiete ist von Standortabnahmen nicht betroffen.



Abbildung 95: Klimahüllen Vogel-Kirsche - ASC 20 Sigmundsherberg: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Weide

Für die untersuchten Weiden-Arten, Silber-Weide (*Salix alba*) und Sal-Weide (*Salix caprea*), zeigt sich ein ähnliches Bild. Beide Arten zeigen relativ weit verbreitete potentielle natürliche Standorte, wobei die Sal-Weide tendenziell etwas höhere Verfügbarkeiten vorweist. Dies gilt sowohl für den Vergleichszeitraum als auch für die zukünftigen Szenarien. Die prognostizierten Veränderungen verhalten sich ähnlich: für die ASC-Standorte Attnang, Amstetten, Linz Kleinmünchen, Linz Hbf, Wörgl, Salzburg und Selzthal werden die größten Abnahmen an potentiellen Standorten prognostiziert. Der ASC-Standort Salzburg wird bei Betrachtung der Silber-Weide für alle betrachteten Perioden und Pfade die Klasse „mehrheitlich keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ zugewiesen. Dem gegenüber steht eine Zunahme von potentiellen Standorten sowohl für die Silber-Weide als auch für die Sal-Weide im ASC-Standort Innsbruck über beide Szenarien und Zeiträume. Vereinzelt treten weitere Zunahmen in der Periode 2071-2100 bei Pfad ds585 auf.

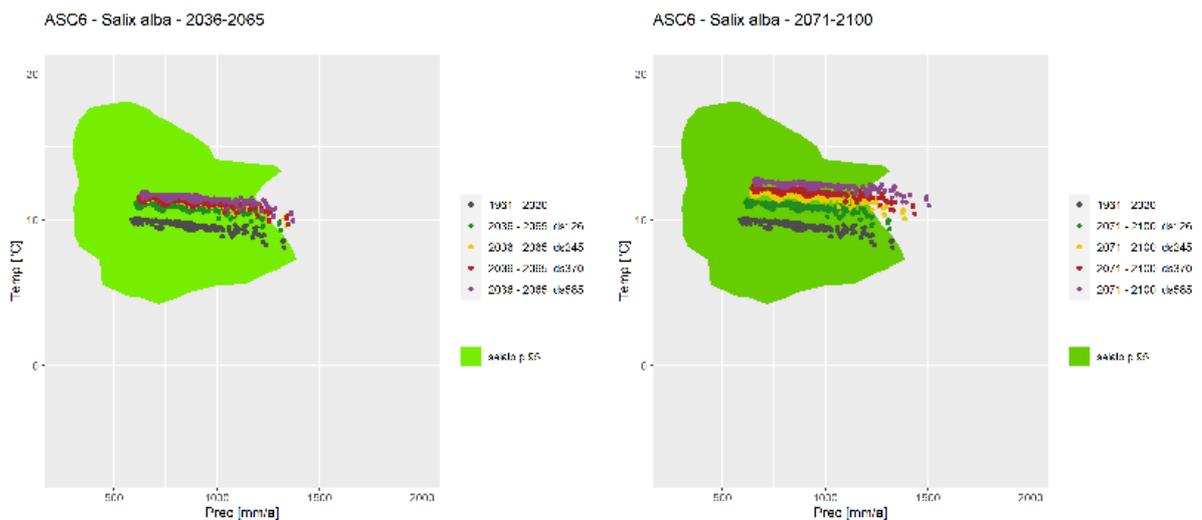


Abbildung 96: Klimahüllen Silber-Weide - ASC 6 Amstetten: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Fichte

Die Fichte zeichnet bereits im Vergleichszeitraum 1961-2020 ein gemischtes Bild. Einerseits gibt es einige ASC-Standorte, die zur Gänze in die Klasse „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ fallen und andererseits gibt es mehrere Gebiete, die der Klasse „keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ zugeordnet sind. Über alle ASC-Standorte hinweg sind mit fortschreitender Zeit bei beiden Szenarien ausgeprägt Rückgänge der potentiellen natürlichen Standorte deutlich ersichtlich. Von der Abnahme sind lediglich jene ASC-Standorte ausgenommen, die bereits in der Vergangenheit keine potentiellen natürlichen

Standorte vorzuweisen hatten. Demnach lautet die Prognose für Periode II unter Betrachtung des Szenarios ds245 für 17 von 26 ASC-Standorten die „keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ und für Pfad ds585 steigt die Anzahl auf 23. Der ASC-Standort Selzthal zeigt bei Gegenüberstellung des Vergleichszeitraumes mit dem Pfad ds585 in der Periode II eine komplette Abnahme der potentiell natürlichen Standorte von der Klasse „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ hin zu „keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“. Massive Standortsreduktionen für die Fichte werden auch für die ASC-Standorte Attnang, Gloggnitz, Wörgl, Leoben, St. Johann im Pongau, Spittal und Klagenfurt prognostiziert.



Abbildung 97: Klimahüllen Fichte - ASC 4 Attnang: li. 2036 – 2065, re. 2071 – 2100

## Lärche

Weist die Europäische Lärche im Vergleichszeitraum noch in 13 ASC-Standorten die Klasse „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ auf, ist diese Klasse bereits in Periode I zur Gänze verschwunden. Über alle ASC-Standorte hinweg werden deutliche Rückgänge in der Anzahl der potentiellen natürlichen Standorte prognostiziert. Während für Pfad ds245 im Zeitraum 2071-2100 die ASC-Standorte Leoben und Selzthal noch der Klasse „Beobachtungsgebiet ist mehrheitlich potentieller Standort“ zugeordnet werden können, wird für Szenario ds585 als beste Bewertung nur die Klasse „teilweise potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ vergeben. Gemäß der Prognose werden sich die potentiell natürlichen Standorte der Europäischen Lärche stark reduzieren.



Abbildung 98: Klimahüllen Europäische Lärche - ASC 14 Leonem: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

### Schwarzkiefer

Die Schwarzkiefer zeigt in der Vergangenheit gemischte Verhältnisse der potentiell natürlichen Standorte in den Beobachtungsgebieten. Die Mehrheit der ASC-Standorte fällt in die Klassen „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ und „Beobachtungsgebiet ist mehrheitlich potentieller Standort“. Demgegenüber stehen sechs Beobachtungsgebiete, die im Zeitraum 1961-2020 keine potentiellen natürlichen Standorte aufweisen. Die allgemeine Prognose für Schwarzkiefernstandorte ist abnehmend. Der Grad der Reduktion variiert stark zwischen den einzelnen ASC-Standorten und reicht von geringen Abnahmen bis zu Rückgängen um 92%. Im ASC-Standort Sigmundsherberg wird der Schwarzkiefer eine zukünftig eine Zunahme der potentiell natürlichen Standorte prognostiziert.

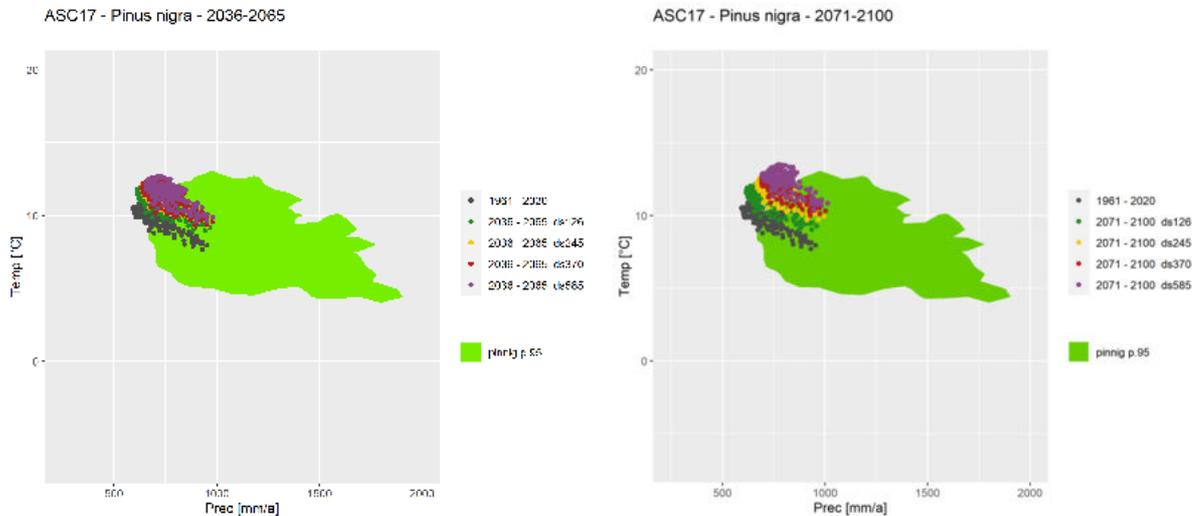


Abbildung 99: Klimahüllen Schwarzkiefer - ASC 17 Wr.Neustadt: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Tanne

Ausgehend von weitreichenden potentiell natürlichen Standorten im Vergleichszeitraum wird der Weiß-Tanne (*Abies alba*) bis auf wenige Ausnahmen zukünftig eine deutliche Standortabnahme prognostiziert. Während in der Vergangenheit die Hälfte der ASC-Standorte zur Gänze potentielle Standorte waren, sind es im Zeitraum 2071-2100 nur noch drei ASC-Standorte bei Pfad ds245 bzw. ein ASC-Standort bei Betrachtung von Szenario ds585. Die größten Verschiebungen im potentiell natürlichen Verbreitungsgebiet der Weiß-Tanne, nämlich von der Klasse „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ zu „keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“, treten bei Betrachtung von Periode II und Pfad ds585 in den ASC-Standorten Amstetten und Wörgl auf. Der Rückgang von potentiell natürlichen Standorten spiegelt sich mit Reduktionen von teilweise über 85 % auch in den anderen Beobachtungsgebieten wider. Etwas andere Trends zeigen die ASC-Standorte Leoben, Spittal sowie Klagenfurt. Diesen wird unter Betrachtung von Pfad ds245 in beiden Perioden der Erhalt der Klasse „gesamtes Beobachtungsgebiet ist potentieller Standort“ prognostiziert. Im Betrachtungszeitraum 2071-2100 wird lediglich noch dem ASC-Standort Spittal diese Klasse zugeschrieben. In den ASC-Standorten Leoben und Klagenfurt nehmen die potentiellen Standorte leicht ab, scheinen sich jedoch auf relativ hohem Niveau zu stabilisieren.

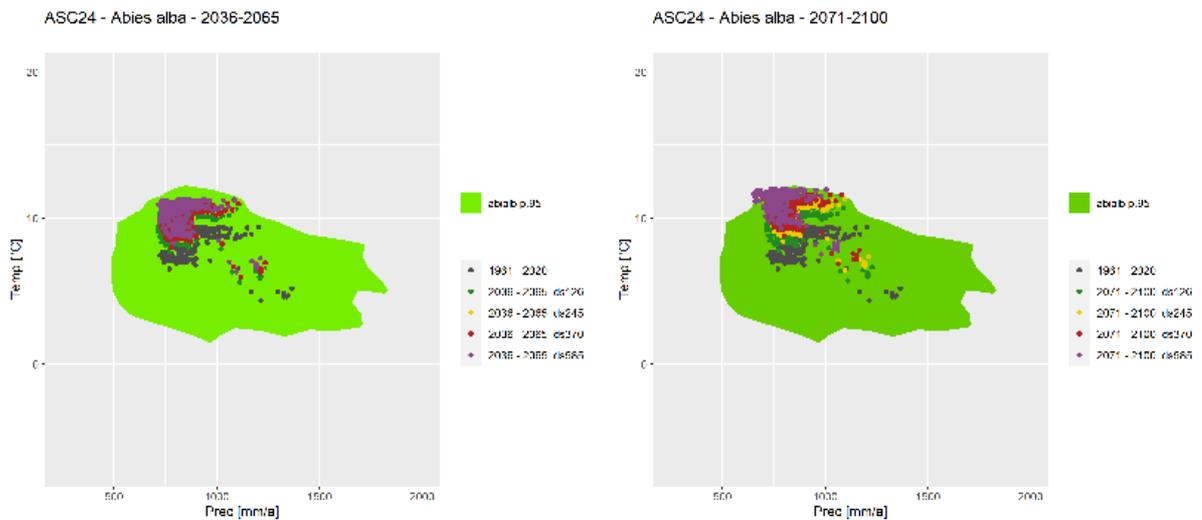


Abbildung 100: Klimahüllen Tanne - ASC 24 Klagenfurt: li. 2036 – 2065, re. 2071 - 2100

## Weißkiefer

Während die Weißkiefer (Waldkiefer) in der Vergangenheit über eine große Verbreitung der potentiell natürlichen Standorte innerhalb der ASC-Standorte verfügte, zeichnet sich für die Zukunft ein deutlicher, zum Teil ausgeprägter Rückgang ab. Die Standortsreduktion umfasst mit Ausnahme der ASC-Standorte Leoben, Spittal und Klagenfurt alle Beobachtungsgebiete sowie beide Perioden und Szenarien. Den drei genannten ASC-Standorten wird für den Pfad ds245 über beide Perioden und für Szenario ds585 im Zeitraum 2071-2100 der Erhalt ihrer potentiell natürlichen Standorte prognostiziert. In Periode II und unter Betrachtung des Pfades ds585 treten jedoch auch hier Rückgänge auf. Dabei stehen die ASC-Standorte Wien ZVBF, Floridsdorf, Bruck/Leitha und Mistelbach heraus, denen für die Zukunft eine Einstufung in die Klasse „keine potentiellen Standorte im Beobachtungsgebiet“ prognostiziert wird. Die Abnahme der potentiell natürlichen Standorte für die Waldkiefer ist allerdings auch in den übrigen Beobachtungsgebieten nicht zu vernachlässigen, wo oft mit Rückgängen von mehr als 60 % zu rechnen ist.

## 7 MASSNAHMENKATALOG UND ANPASSUNGSVORSCHLÄGE

Die im Rahmen von clim\_ect entwickelten und im Folgenden vorgeschlagenen Maßnahmen bauen auf der HDC-Risikoeinschätzung für die betrachteten Ereigniskategorien entlang der ASC-Teilstrecken/an den Standorten (welche im Projekt clim\_ect Verwendung fanden) auf. Die Basis stellen die *risk factors* der Hazard Development Corridors (HDCs) sowie die Klimahüllen und die darauf beruhenden Empfehlungen künftig geeigneter Baumarten dar. Es werden primär passive Maßnahmen (=Schutz nicht direkt am Bahnkörper) denn aktive Maßnahmen (=Schutz direkt am Bahnkörper) vorgestellt.

Die Risikoeinschätzung ist eine zentrale Grundlage für ein integrales Risikomanagement der ÖBB: Eine vergleichbare, standardisierte Risikoeinschätzung für die einzelnen ASC-Standorte ermöglicht die Identifikation der ASC-Teilstrecken entlang derer der erforderliche Handlungsbedarf (bspw. Umsetzung von baulichen, technischen, forstlichen oder ingenieurbioologischen Maßnahmen) und damit die Wirkung der Maßnahmen (Risikoreduktion) am größten ist.

Eine evidenzbasierte Risikoeinschätzung ermöglicht eine effektive Einschätzung des zukünftigen Handlungsbedarfes: beispielsweise, wo zusätzliche Wetterstationen auf Basis der Risikoeinschätzung, wo gezielte ingenieurbioologische Maßnahmen oder wo weitere Hochwasserpegelmessstellen erforderlich sind. Basierend auf den Kernergebnissen des Projektes clim\_ect, das sind

- die georeferenzierten, historischen Schadensereignisse 1990 bis 2019,
- die Klimahüllen und die darauf beruhenden Empfehlungen künftig geeigneter Baumarten und
- die risk factors aus den Hazard Development Corridors (HDCs, siehe Abbildung 101),

werden strategisch-operative Maßnahmen aufgezeigt, die sich unter Miteinbeziehung weiterer, ÖBB-interner Daten sowie externer Daten (bspw. der Wildbach- und Lawinenverbauung - WLW) für die zukünftige Risikoeinschätzung und Schadereignisprävention anbieten.

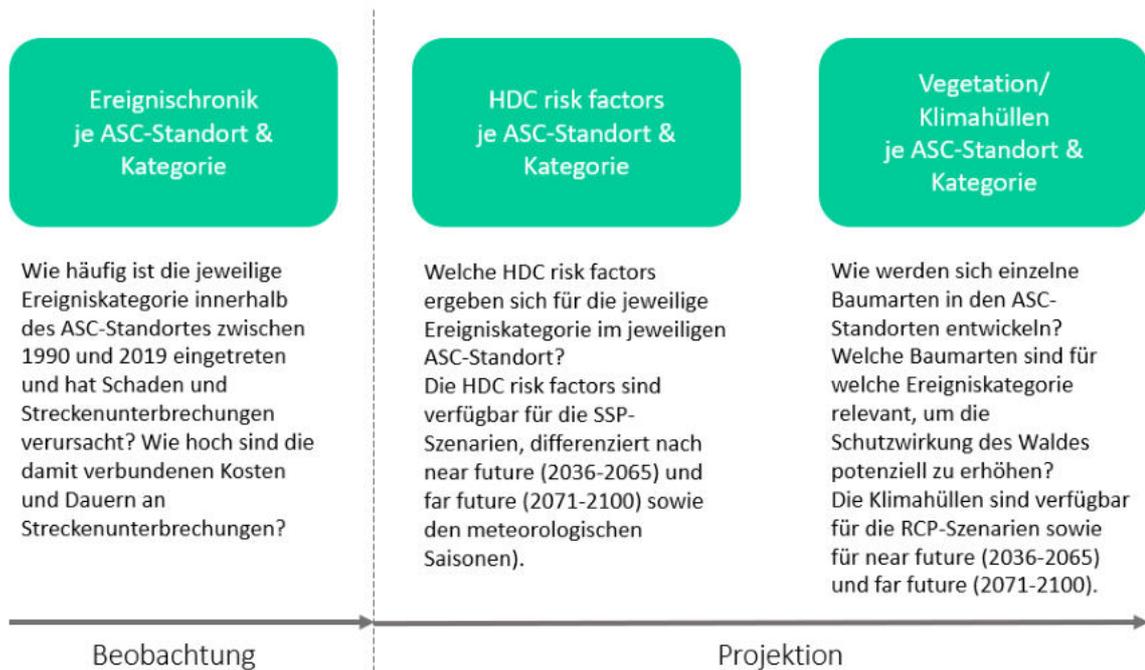


Abbildung 101: Die clim\_ect Projektergebnisse als Ausgangspunkt für die Identifikation geeigneter strategisch-operativer Maßnahmen

Ein integrales Naturgefahrenmanagement für die ÖBB-Infrastruktur AG umfasst die Organisation von Ressourcen und die Verwaltung von Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Katastrophenmanagementzyklus (Alexander, 2002):

- **Prepare:** Vorbereitung auf eine Katastrophe (Maßnahmen, die vor einer Katastrophe ergriffen werden, um eine bessere Reaktion zu gewährleisten);
- **Response:** Reaktionen auf eine Katastrophe (Maßnahmen, die unmittelbar vor, während und nach einem Ereignis ergriffen werden, um die Auswirkungen der Katastrophe zu begrenzen und eine zügige Wiederherstellung (ggfls. eine Verbesserung) des Ausgangszustandes zu realisieren);
- **Recover:** Erholung von der Katastrophe (Wiederaufbau oder ggfls. Verbesserung der Situation der betroffenen Gebiete);
- **Mitigate:** Abschwächung von Katastrophen (Verbesserung der baulichen Umwelt und des Betriebsmanagements, um die Auswirkungen von Katastrophen künftig zu verringern, ihnen zu widerstehen oder sie gar zu verhindern).

Die Analysen, Modellläufe und Resultate, die im Rahmen des Forschungsprojekts clim\_ect gewonnen wurden, dienen als wichtige Grundlage für die Entwicklung einer integrierten

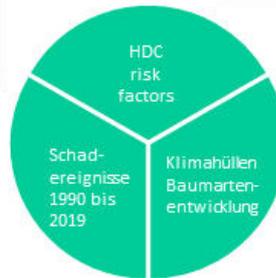
Gefahren- und Katastrophenmanagementstrategie entlang des gesamten Katastrophenmanagementzyklus. Damit liefert das Forschungsprojekt "clim\_ect" – differenziert nach Saisonen und ASC-Regionen – eine wesentliche Daten- und Informationsgrundlage für die Detektion geeigneter Anpassungsmaßnahmen, die klimawandelinduzierte Änderungen betrachteter Gefahrenpotentiale berücksichtigen. In Abbildung 102 findet sich eine Übersicht zu Maßnahmen und Anpassungsvorschlägen entlang des Katastrophenmanagementzyklus.

## MITIGATE

- **Laufendes Monitoring zum Schutzwaldmanagement:** Reduktion der Gefährdungswirkung durch geeignete Vegetation entlang des Schienennetzes auf Basis der Klimahüllen aus clim\_ect
- **Laufendes Monitoring zum technischen Anlagenmanagement:** Bewertung und Anpassung des Zustands der Infrastruktur in den identifizierten Risikogebieten (z.B. Bau weiterer unterirdischer Drainagen, Verstärkung von Dämmen etc.) (die clim\_ect HDC risk factors liefern eine empirische Grundlage für die Identifizierung "verwundbarer" Infrastruktur)
- **Laufende Erweiterung und Evaluierung des Wetter-/ Hochwasserwarndienstes, Lawinenwarndienstes, technischer Warndienstes:** Aufbau eines angepassten und dichten Sensornetzes zur Verbesserung der Vorhersage von Extremwetterereignissen
- **Laufende Richtlinienarbeit:** Aktualisierung der Regelwerke in regelmäßigen Abständen: Einbindung der Erkenntnisse der Schadereignisanalyse und der Schadereignismonitorings in die Regelwerke und inhaltliche Abstimmung mit diversen Kommissionen wie etwa der Lawinenkommission

## PREPARE

- **Ereignisdokumentation:** Etablierung einer standardisierten Ereignisdokumentation
- **Wetter-/ Hochwasserwarndienst, Lawinenwarndienst, technischer Warndienst:** Evaluierung von Frühwarnsystemen in Hinblick auf die Ausweisung von „Sonderwetterlagen“: Ausblick zu charakteristischen Verläufen auf Basis der clim\_ect-CIs
- **Naturgefahrenhinweiskarten:** Präzisierung der Risikoeinschätzung durch Verschneidung der clim\_ect-HDC risk factors mit Naturgefahrenhinweiskarten
- **Technisches Anlagenmanagement** Priorisierung vulnerabler Streckenabschnitte durch die Verschneidung der HDCs mit Naturgefahrenhinweiskarten, Streckenhierarchien, Streckeneigenschaften und Anlagendatenbank
- **Schutzwaldmanagement:** Erweiterung der Geodatenbank „ÖBB-Forstoperat“, um Schutzwirkungen des Waldes laufend dokumentieren zu können (Anforderungsprofile für Schutzwälder, Definition waldbaulicher Konzepte): Verschneidung von HDCs, Gefahrenhinweiskarten und Waldzustandsklassen



## RESPOND

- **Wetterwarnstrecken:** Umsetzung robuster Warnsysteme in Gebieten in den priorisierten Streckenabschnitten
- **Schulungen und Weiterbildung zur zielgerichteten Umsetzung von Provisorien:** In Anlehnung an die bestehenden SIG-Schulungen: Laufende Ausbildung, Schulungen und Weiterbildung zu Naturgefahren inkl. Umsetzung der Alarmpläne (etwa Einsatz von Ausrüstung, Personal und Fahrzeugen, erforderliche Kooperationen mit den Einsatzkräften vor Ort)
- **Inspektion, Beurteilung und Beobachtungen der baulich-technischen Anlagen und des Schutzwaldes:** Streckeninspektionen vor Ort zum Monitoring der baulichen Schutzwerke und waldbaulichen Schutzfunktionen, in Kooperation mit weiteren Fachinstitutionen
- **Kooperationen:** Kooperationen und Abstimmungen mit Experten/Kommissionen wie etwa der Lawinenkommission

## RECOVER

- **Analyse und Vulnerabilitätskartierung:** Bewertung von wetterbedingten Schäden an Infrastrukturen (z.B. beschädigte Freileitungen bei Sturm) sowie laufende Rückkopplung mit den Ergebnissen aus clim\_ect (HDC risk factors) und den Naturgefahrenhinweiskarten. Visualisierung von Gefahrenereignissen und deren Auswirkungen auf die Infrastruktur, Kosten und Betriebsunterbrechungen im Jahresrhythmus
- **Verbesserung des technischen Anlagenmanagements:** Verbesserung der baulich/-technischen Resilienz der Infrastruktur, wo dies erforderlich ist, auf Basis der Verschneidung der laufenden Schadereignisse mit den clim\_ect-HDCs, Naturgefahrenhinweiskarten, Streckenhierarchien und Anlagendatenbank
- **Verbesserung des Schutzwaldmanagements:** Verbesserung der waldbaulichen Resilienz der Infrastruktur, wo dies erforderlich ist, auf Basis der Verschneidung der laufenden Schadereignisse mit den clim\_ect-HDCs, Gefahrenhinweiskarten, Streckenhierarchien, Streckeneigenschaften sowie Waldzustandserhebungen (ÖBB-Forstoperat)

Abbildung 102: Maßnahmen und Anpassungsvorschläge entlang des Disaster Management Cycle.

Nr.	Maßnahmen / Empfehlungen
	(Voraussetzungen: Hazard Development Corridors und Klimahüllen des Projektes clim_ect)
1	Etablierung einer standardisierten Ereignisdokumentation (auf Basis der Erkenntnisse und Empfehlungen aus dem Projekt clim_ect)
2	Präzisierung der Risikoeinschätzung durch Verschneidung der HDC risk factors mit Naturgefahrenhinweiskarten (ggfls. Aktualisierung der Kartengrundlagen unter Einbeziehung bzw. Konsultation externer Kartendienste)
3	Priorisierung durch Verschneidung der Gefahrenkorridore mit Naturgefahrenhinweiskarten und der Streckenhierarchie: Verschneidung des ermittelten regionalen Risikos (HDC risk factors für die jeweilige Ereigniskategorie in den betrachteten ASC-Standorten) mit dem Kern- und Ergänzungsnetz sowie den Informationen aus Naturgefahrenhinweiskarten für die ASC-Standorte
4	Evaluierung von Frühwarnsystemen in Hinblick auf die Ausweisung von „Sonderwetterlagen“ → Ausblick zu charakteristischen Verläufen auf Basis der CIs
5	Erhöhung der Schutzfunktion und in Zukunft gewünschter Ökosystemdienstleistungen des Waldes: gezielte Förderung von Baumarten, die die Schutzwirkung des Waldes auf Basis der clim_ect-Projektergebnisse im Klimawandel erhöhen
6	Erweiterung der Geodatenbank „ÖBB-Forstoperat“, um Informationen zur Naturgefahrenentwicklung laufend dokumentieren zu können (Anforderungsprofile für Schutzwälder, Definition waldbaulicher Konzepte): Verschneidung von: HDCs, Gefahrenhinweiskarten, vorhandener ÖBB-Infrastruktur und Waldzustand (z.B. Verjüngungskonzept)
7	Erweiterung der Gefahrenhinweiskarten z.B. via Identifikation von Risikoflächen für Baumwurfereignisse entlang des ÖBB-Schienennetzes
8	Laufende Schulungen, Aus- und Weiterbildungen für die rasche Umsetzung von Alarmplänen im jeweiligen Ereignisfall
9	Entwicklung eines Schutzbaukatasters, laufende Inspektionen vor Ort, um gemeinsam mit den Ergebnissen aus dem Projekt clim_ect und Naturgefahrenhinweiskarten erforderliche baulich/technische Maßnahmen zur Gewährleistung des gegenwärtigen Schutzniveaus in Zukunft – unter sich ändernden Klimabedingungen – zu identifizieren
10	Normungsmaßnahmen wie z.B. laufende Aktualisierung der Regelwerke auf Basis der Erkenntnisse aus vergangenen Ereignissen sowie jenen, die in Zukunft (Klimawandel) erwartet werden können

Tabelle 16: Maßnahmenübersicht

## 7.1 Etablierung einer standardisierten Ereignisdokumentation

**Maßnahme:** Etablierung einer standardisierten Ereignisdokumentation auf Basis der Erkenntnisse und Empfehlungen aus dem Projekt clim\_ect

Im Zuge des Projektes clim\_ect wurde eine idealtypische Datenbank-Vorlage für die standardisierte Dokumentation von Schadereignissen durch Naturgefahren erstellt. Aus der Aufbereitung der Schadensereignisse von 1990 bis 2019 in eine einheitliche Ereignisdatenbank konnten Empfehlungen für die zukünftige Erfassung von Schadensereignissen entlang des Streckennetzes der ÖBB-Infrastruktur AG abgeleitet und eine entsprechende Datenbankvorlage entwickelt werden. In Tabelle 8 findet sich die empfohlene Struktur für die Erfassung von Schadensereignissen, die innerhalb der Excel-Vorlage realisiert wurde. Diese Excel-Vorlage ermöglicht eine automatisierte Georeferenzierung der Schadereignisse auf Basis der Angabe der Streckenkilometer innerhalb derer sie eingetreten sind. Die Hauptvorteile der beschriebenen Struktur für die Erfassung zukünftiger Schadensereignisse werden in den folgenden zwei Punkten gesehen:

- Standardisierte Erfassung aller Attribute
- Unmittelbar in GIS integrierbare Ereignisdatenbank (Zuordnung der XY-Koordinaten für das Schadereignis über das ÖBB-Kilometrierungssystem)

Der Aufbau der idealen Schadereignisdatenbank ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Kategorie	Attribut (Spalte)	Zelleneigenschaften & Format
<b>1_Allgemeine Informationen zum Ereignis</b> (in ÖBB-Dokumentation bereits vorhanden)	Ereignis_ID	Für den Anwender gesperrtes Feld; Fortlaufende Nummerierung in Abhängigkeit von Datumseintragung
	Datum	Nur Datumseingabe möglich [TT.MM.JJJJ]
	Unfall_Sch	Eingabe durch Anwender
<b>2_Ereignisursache</b> (Validierung und evidenzbasierte Neukategorisierung im Zuge des Projektes clim_ect)	Ereignisursache_ID	Für den Anwender gesperrtes Feld; ID-Vergabe in Abhängigkeit von ausgewähltem Ereignisursache-Text
	Ereignisursache_Text	Auswahl der Ereignisursache über Dropdown-Menü
<b>3_Ereignisart</b> (noch ausständiger Standardisierungsbedarf; Vorschlag im Zuge des Projektes clim_ect erarbeitet)	Ereignisart_ID	Für den Anwender gesperrtes Feld; ID-Vergabe in Abhängigkeit von ausgewähltem Ereignisart_Text und Ereignisart_Ergaenzung_Text
	Ereignisart_Text	Auswahl der Ereignisart über Dropdown-Menü
	Ereignisart_Ergaenzung_Text	Auswahl der Ereignisart_Ergaenzung über Dropdown-Menü
<b>4_Verortung</b> (Verortung über GPS bereits geübte Praxis; ergänzend dazu Vorschlag zur Verortung über ÖBB-Kilometrierungssystem im Zuge des Projektes clim_ect erarbeitet)	Streckenabschnitt (KMSYS_Code)	Auswahl des KMSYS_Code über Dropdown
	Streckenkilometer	Angabe des Streckenkilometers (nur Kilometer-Angaben aus dem ausgewählten KMSYS_Code möglich)
	X_Koordinate	Für den Anwender gesperrtes Feld; Vergabe der X_Koordinate nach Angabe des Streckenabschnittes & des Streckenkilometers
	Y_Koordinate	Für den Anwender gesperrtes Feld; Vergabe des Y_Koordinate nach Angabe des Streckenabschnittes & des Streckenkilometers
<b>5_Dauer der Streckenunterbrechung</b> (in ÖBB-Dokumentation bereits vorhanden)	Strunt	Stundenangabe von 0 bis XXX [h]
<b>6_Schadenshöhe</b> (in ÖBB-Dokumentation bereits vorhanden)	Schadenshoehe	Zahleneingabe von 0 bis XXX [€]
<b>7_Anmerkungen</b> (in ÖBB-Dokumentation bereits vorhanden)	Anmerkungen	Offenes Textfeld

Tabelle 17: Empfohlene Struktur für die künftige Schadensereignis-Erfassung

## 1\_Allgemeine Informationen zum Schadensereignis

Die allgemeinen Informationen zu Schadensereignissen umfassen die fortlaufende Vergabe einer Schadens-ID, die nach Angabe des Ereignisdatums erfolgt. Zu den allgemeinen Informationen zählt auch das weitere Identifikations-Attribut Unfall\_Sch. Durch dieses Attribut lassen sich erste Rückschlüsse auf eventuelle Mehrfachnennungen in den dokumentierten Ereignissen erkennen, die in weiterer Folge auf Eindeutigkeit überprüft und im Falle einer tatsächlichen Doppelnennung im Zuge des Projektes clim\_ect entfernt wurden.

## 2\_Ereignisursache

Im Zuge des Arbeitspaketes 4 – der Verschneidung der Schadensereignisdaten mit meteorologischen Beobachtungsdaten – wurden den dokumentierten Schadereignissen Ereigniskategorien zugeordnet. Dabei wurden die folgenden Kategorien betrachtet: *Flooding, Wind-storm, Mudslide, Falling-rock/rockfall, Heat, Icing, Avalanche, Snow, Unknown Cause*.

## 3\_Ereignisart

Die Ereignisarten gliedern sich in:

- Entgleisung
- Streifung
- Schwere Anstände
- Brände
- Zusammenstöße
- Streckenunterbrechung
- Sonstige Ereignisse

Diese Ereignisarten können das Resultat verschiedener Ereigniswirkungen (auch Ereignisart-Beschreibung genannt) sein und werden basierend auf den Ereignisdokumentationen nach dem folgenden Schema gruppiert, codiert und standardisiert:

<i>ID (clim_ect)</i>	<i>Ereignisart</i>	<i>Ereignisart Beschreibung (Ereigniswirkungen)</i>
10	Entgleisung	Entgleisung ohne weitere Spezifikation
11	Entgleisung	Entgleisung von Zügen an der Spitze (erstes Fahrzeug)
12	Entgleisung	Entgleisung von Zügen in der Mitte
13	Entgleisung	Entgleisung von NO bzw. NM-Fahrten in der Mitte
14	Entgleisung	Verschubentgleisung an der Spitze (erstes Fahrzeug)
15	Entgleisung	Verschubentgleisung in der Mitte
16	Entgleisung	Verschubentgleisung am Schluss (letztes Fahrzeug)
17	Entgleisung	Entgleisung von Zügen nach Streifung frontal oder seitwärts
18	Entgleisung	Entgleisung von Zügen nach Hineinfahren in Muren, Geröll, Lawinen
20	Streifung	Streifung ohne weitere Spezifikation
21	Streifung	Streifung über den Fahrzeugen
22	Streifung	Streifung von frontal oder seitwärts
23	Streifung	Streifung unten
24	Streifung	Hineinfahren in Muren, Geröll, Lawinen ohne Entgleisung
30	Schwere Anstände	Schwere Anstände ohne weitere Spezifikation
31	Schwere Anstände	Bremsanstände
32	Schwere Anstände	Zugtrennung
33	Schwere Anstände	Sonstige schwere Anstände bei Zug-, SKL-Fahrten und Nebenfahrten
40	Brand	Brand ohne weitere Spezifikation
41	Brand	Flurbrand
42	Brand	Brand in Güterwagen
43	Brand	Gebäudebrand
44	Brand	Sonstiger Brand im Gleisbereich

50	Zusammenstoß	Zusammenstoß ohne weitere Spezifikation
51	Zusammenstoß	ZS von Schienenfahrzeugen abseits von EK mit Tieren
52	Zusammenstoß	ZS Bus (Kleinbus)
53	Zusammenstoß	ZS von Verschubfahrten
54	Zusammenstoß	ZS LKW
60	Sonstige Ereignisart	Sonstige Ereignisart ohne weitere Spezifikation
61	Sonstige Ereignisart	Sonstige Ereignisse mit einer Schadenshöhe über 7.300 €
62	Sonstige Ereignisart	Unfälle mit körperlicher Schädigung
63	Sonstige Ereignisart	Persönlicher Unfall (auch leichte Verletzung)
64	Sonstige Ereignisart	Nicht bahnsteiggerechtes Anhalten von Zügen in Betriebsstelen (
65	Sonstige Ereignisart	Ladegutverlust
66	Sonstige Ereignisart	Unterbliebene Sicherung von Eisenbahnkreuzungen mit Gefährdung
67	Sonstige Ereignisart	Auffahren von Weichen beim Verschub
68	Sonstige Ereignisart	Streckenunterbrechung durch Sonstiges
69	Sonstige Ereignisart	Kurzschluss bei Kurzstrecke

Tabelle 18: Standardisierung der Ereignisarten basierend auf den Ereignisdokumentationen

Durch die Verschneidung von Ereignisarten mit den mit ihnen im Zusammenhang stehenden, nach Ereigniskategorien gegliederten meteorologischen Prozessen resultieren die in Tabelle 19 dargestellten Häufigkeiten.

	Entgleisung	Streifung	Schwere Anstände	Brände	Zusammenstöße	Streckenunterbrechung	Sonstige Ereignisse
Avlanche	2	13	0	0	0	60	0
Falling-rock	7	46	0	0	0	15	0
Flashflood	0	1	0	0	0	27	0
Flooding	4	4	0	0	0	145	1
Heat	0	2	0	7	0	4	0
Icing	1	10	2	0	0	1	1
Mudslide	20	42	0	1	0	104	1
Snow	161	166	0	6	0	53	1
Wind-storm	14	678	22	36	2	426	10
<b>Total</b>	<b>209</b>	<b>962</b>	<b>24</b>	<b>50</b>	<b>2</b>	<b>835</b>	<b>14</b>

Tabelle 19: Häufigkeit der dokumentierten Beobachtungen geordnet nach Ereigniskategorien und deren Auswirkungen im Zeitraum von 1990 bis 2019.

In Abbildung 29 sind die aufgetretenen Entgleisungen nach den mit ihnen im Zusammenhang stehenden Ereigniskategorien in ihrer räumlichen Verteilung entsprechend dargestellt

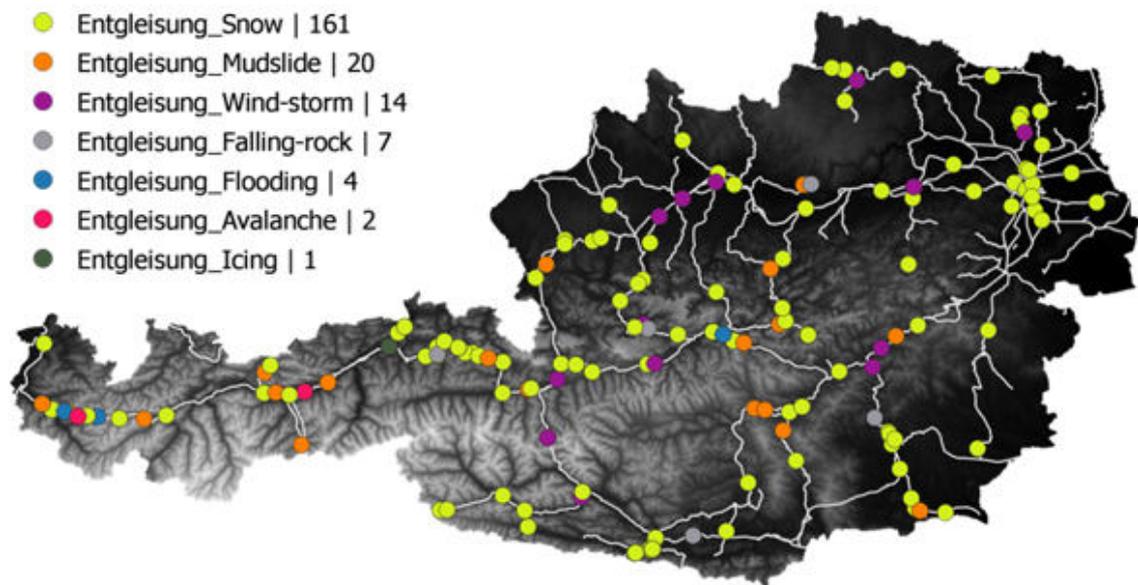


Abbildung 103: Dokumentierte Entgleisungen (insgesamt: 209 von 1990 bis 2019) aufgeschlüsselt nach den mit ihnen im Zusammenhang stehenden Ereigniskategorien.

#### **4\_Verortung**

Ergänzend zu der bereits stattfindenden Verortung der Schadensereignisse mittels GPS, ist auch deren Verortung auf Grundlage des ÖBB-Kilometrierungssystems (in einer Auflösung von 100m) sinnvoll und wird daher ebenso als Verortungsmethode in die clim\_ect-Excel-Vorlage zur Erfassung zukünftiger Schadensereignisse integriert.

Der Vorteil dieser Methode ist die direkte und einheitliche Einbindung von WGS84-Koordinaten aus dem Streckennetz der ÖBB-Infrastruktur AG, wodurch die Ereignisdatenbank unmittelbar in eine GIS-Anwendung für weitere Analysen importiert werden kann. Darüber hinaus erlauben die Streckennetz-basierten Informationen der ÖBB-Infrastruktur AG auch eine automatisierte Verortung von Ereignissen durch Angabe zweier Betriebsstellen, zwischen denen diese eingetreten sind.

#### **5\_Dauer der Streckenunterbrechung**

Zur Angabe der Dauer von Streckenunterbrechungen (in Stunden) wurde ein eigenes Feld in der clim\_ect-Excel-Vorlage eingerichtet. Dieses Attribut ist bereits in den Ereignisdokumentationen von 1990 bis 2019 enthalten.

#### **6\_Schadenshöhe**

In der clim\_ect-Excel-Vorlage existiert auch ein Feld zur Angabe ÖBB-interner Schätzungen der Schadenshöhen von Schadereignissen (in Euro). Grob geschätzte Angaben zu den mit den Ereignissen verbundenen Schadenshöhen finden sich bereits in der Schadensereignisdokumentation von 1990 bis 2019.

#### **7\_Anmerkungen**

Für die etwaige Angabe weiterer Informationen und Kommentare zu den dokumentierten Schadereignissen wurde in der clim\_ect-Excel-Vorlage ein offenes Textfeld angelegt. Dieses Feld stellt die einzige Möglichkeit zur Eintragung individueller Informationen zum Schadereignis dar und garantiert eine eindeutige und einheitliche Form der Dokumentation.

## 7.2 Präzisierung der Risikoeinschätzung

**Maßnahme:** Präzisierung der Risikoeinschätzung durch Verschneidung der HDC risk factors mit Naturgefahrenhinweiskarten (ggfls. Aktualisierung der Kartengrundlagen unter Einbeziehung bzw. Konsultation externer Kartendienste)

Die clim\_ect-Ereignisdatenbank (georeferenzierte Schadensereignisse differenziert nach Ereignisart und Ereigniskategorie) sowie die im Projekt clim\_ect berechneten HDC risk factors dienen als Grundlage für die Detektion von Abschnitten im ÖBB-Streckennetz, entlang derer sich künftig durch den Klimawandel ein erhöhtes Risikopotential abzeichnet. Ein weiterer wichtiger Schritt für die Präzisierung der Risikoeinschätzung stellt die Verschneidung dieser Informationen mit Naturgefahrenhinweiskarten dar.

- Naturgefahrenhinweiskarten (ÖBB-Infrastruktur AG)
- Hochwasserrisikokarten (ÖBB-Infrastruktur AG)
- Gefahrendarstellung Hochwasser und Wildbäche (WLV)
- Gefahrendarstellung Lawinen (WLV)
- Gefahrendarstellung Erosion und Steinschlag (WLV)
- Hagelgefährdungskarte (ZAMG)
- Diverse Karten-Layer aus dem eHORA-System (Hochwasserrisiko zonierung, Gefahrenkarte Überflutungen, Rutschungen, Hagelgefährdungskarte, Schneelastzonen)

Gefährdungen entlang des ÖBB-Streckennetzes bezogen auf Sturzprozesse, Rutschungen/Kriechbewegungen, Lawinen und Überflutungen werden in Naturgefahrenhinweiskarten angegeben. Ziel dieser Karten ist die visuelle Darstellung entsprechender Gefahrenzonen. Durch die Verschneidung der HDCs mit Naturgefahrenhinweiskarten können erforderliche (Bau)Maßnahmen zum Schutz vor Schadprozessen definiert und nach ihrer Dringlichkeit gereiht werden. Die Hinweiskarten können auch dazu dienen organisatorische Maßnahmen zur Bewältigung kritischer Situationen festzulegen, die sich u.a. in einer verbesserten Streckenverfügbarkeit (Vermeidung von Streckensperrungen) ausdrücken werden. Die beschriebenen Verschneidungen ermöglichen daher die Identifikation und Grobanalyse von sich im Klimawandel potentiell verändernden Gefahrenpotentialen entlang des ÖBB-Streckennetzes und die Ausweisung von Schutzdefiziten für die weitere Maßnahmenplanung. Sie erlauben

einen bundesweiten Überblick (im Maßstab 1:25.000) für die Entwicklung strategischer Konzepte, die den Personen- und Güterverkehr in Österreich insgesamt resilienter machen. Abgesehen davon können sie auch als Plangrundlage von Neubaustrecken und Schutzmaßnahmen am Bestandsnetz (ÖROK 2015, S. 215) dienen.

Basierend auf den Ergebnissen des Projektes clim\_ect und den vorliegenden regionalen Risikoeinschätzungen (clim\_ect-HDCs) sollte eine Aktualisierung der bestehenden Naturgefahrenhinweiskarten angedacht werden (beispielsweise könnte eine Gewichtung von Gefahrenbereichen, die auf den in clim\_ect abgeleiteten HDCs beruht, erfolgen). Bei der Evaluierung von Naturgefahrenhinweiskarten könnten z.B. Informationen aus dem eHORA-System Berücksichtigung finden, sofern diese beiden Datensammlungen noch nicht aufeinander abgeglichen sind (Hochwasserrisikozonierung, Gefahrenkarte Überflutungen, Rutschungen, Hagelgefährdungskarte, Schneelastzonen).

### 7.3 Priorisierung der Risikoeinschätzung

**Maßnahme:** Priorisierung durch Verschneidung der Gefahrenkorridore mit Naturgefahrenhinweiskarten und der Streckenhierarchie: Verschneidung des ermittelten regionalen Risikos (HDC *risk factors* für die jeweilige Ereigniskategorie in den betrachteten ASC-Standorten) mit dem Kern- und Ergänzungsnetz sowie den Informationen aus Naturgefahrenhinweiskarten für die ASC-Standorte

Dieser Maßnahmenvorschlag adressiert die Verschneidung des ermittelten regionalen Risikos (clim\_ect-HDC *risk factors*) für die jeweilige Ereigniskategorie im jeweiligen ASC-Standort mit dem Kern- und Ergänzungsnetz, um eine Prioritätenreihung von umzusetzenden Maßnahmen basierend auf Streckenhierarchie abzuleiten (bzw. um zu konkretisieren, welche Streckenabschnitte näher begutachtet und evaluiert werden). Dadurch kann festgestellt werden, wo höherrangige Strecken bzw. Bahninfrastruktur mit potentiell hohem Gefahrenpotential liegen und wo somit besonders hoher Handlungsbedarf besteht.

Für die betrachteten Ereigniskategorien und die Gesamtheit aller ASC-Standorte ergeben die abgeleiteten HDC *risk factors* bereits eine erste Prioritätenreihung, die auf der künftigen Betroffenheit der ASC-Standorte von klimawandelbedingten Veränderungen im Auftreten der entsprechenden Schadereignisse beruht. Daraus ergibt sich eine erste Orientierung, wo welche Maßnahmen mit welcher Dringlichkeit umgesetzt werden sollten.

Der nächste Schritt zur Erzeugung einer praxisorientierten Prioritätenreihung zur Naturgefahrenprävention könnte durch die vorhin beschriebene Verschneidung der HDCs mit Naturgefahrenhinweiskarten erreicht werden. Der dritte und letzte Schritt, mit dem ein auf die ÖBB-Infrastruktur AG zugeschnittener Lösungsweg/zugeschnittene Priorisierung umzusetzender (digitaler, forstwirtschaftlicher, baulicher oder ingenieurbioologischer) Maßnahmen erreicht werden kann, besteht in der weiteren Verschneidung der via der zwei bisher durchgeführten Analyseschritten generierten Datensätze und Informationen mit der entlang des ÖBB Kern- und Ergänzungsstreckennetzes detailliert verorteten Bahninfrastruktur. Die so geschaffene Daten- und Informationsfülle kann als geeignete Grundlage zur Etablierung vorausschauender, effizienter und nachhaltiger Risikomanagementkonzepte für die ÖBB-Infrastruktur dienen, welche die bestmögliche Naturgefahrenprävention erlaubt - zum optimalen Schutze des ÖBB Personen- und Güterverkehrs.

Für die Umsetzung von digitalen (bspw. Wetterstationen oder Messgeräten), forstlichen bzw. ingenieurbioologischen Maßnahmen zu ermöglichen, empfiehlt sich eine Verschneidung der clim\_ect-Projektergebnisse mit der offiziellen Streckenkategorisierung der ÖBB (siehe Abbildung 104), sodass die Bereiche von höchstem Streckenrang zuerst vertiefend begutachtet werden (Streckenabschnitte des ÖBB-Infrastrukturstreckennetzes, entlang derer sich Gefahrenpotentiale mit dem fortschreitenden Klimawandel gegenüber den Niveaus der Vergangenheit potentiell erhöhen werden).

Die resultierenden Hinweiskarten können dazu dienen, geeignete organisatorische Maßnahmen zu Handlungssequenzen zusammenzustellen, die betreffenden ÖBB Mitarbeitern genormte Abläufe zur optimalen Bewältigung kritischer Situationen an die Hand gibt. Die Konzeption solcher Richtlinien und deren Integration (durch Schulungen und Training) in die innerbetrieblich gelebte Praxis verbessert die Streckennetzverfügbarkeit (Vermeidung von Streckensperren) sowie die Naturgefahrenprävention. Naturgefahrenhinweiskarten ermöglichen daher die Identifikation und Grobanalyse von sich im Klimawandel potentiell verändernden Gefahrenpotentialen entlang des ÖBB-Streckennetzes und die Ausweisung von Schutzdefiziten für die weitere Maßnahmenplanung. Sie erlauben einen bundesweiten strategischen Überblick im Maßstab 1:25.000 und können ebenso als Plangrundlage für Neubaustrecken und geeignete Schutzmaßnahmen am Bestandsnetz (ÖROK 2015, S. 215) dienen.

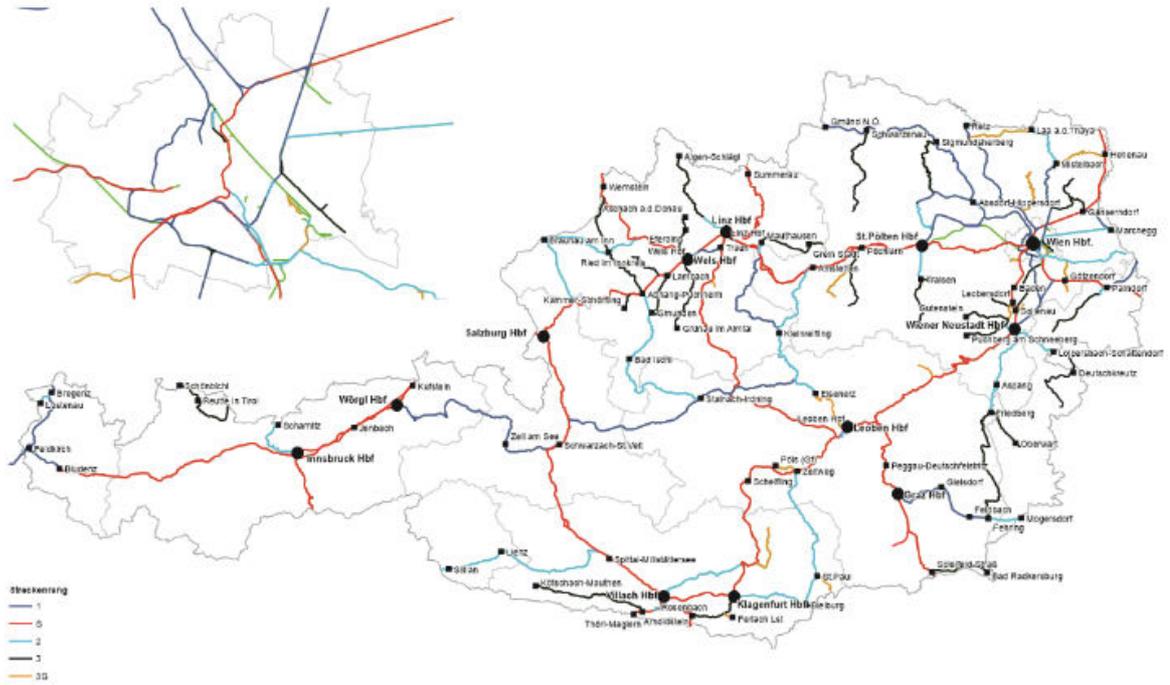


Abbildung 104: Offizielle Kategorisierung des ÖBB-Streckennetzes. Quelle: ÖBB-Infrastruktur AG.

## 7.4 Frühwarnsysteme und deren Evaluierung

**Maßnahme:** Frühwarnsysteme (und deren Evaluierung) – Ausblick auf die Verwendung charakteristischer Wetterverläufe auf Basis der CIs

Die ASC-spezifischen *clim\_ect-HDC risk factors* stellen für die betrachteten Ereigniskategorien (in Abhängigkeit vom zugrundeliegendem Entwicklungsszenario der Menschheit) künftige Verläufe relativer Eintrittswahrscheinlichkeiten jeweiliger Schadereignisse bis 2100 dar. Die, für jeden ASC-Standort und jede Ereigniskategorie berechneten Verläufe beschreiben, ob man im Laufe des Jahrhunderts tendenziell häufiger bzw. seltener mit dem Auftreten der entsprechenden Schadereignisse rechnen kann.

Informationen, die von Frühwarnsystemen der ÖBB-Infrastruktur AG berücksichtigt werden, umfassen u.a. folgende Messwerte und Warnungen:

- Hochwasserpegel der ÖBB-Infrastruktur AG, die im Anlassfall die Infrastrukturbetreiber alarmieren;
- Wildbachwarnanlagen;
- Warnung vor „Sonderwetterlagen“ durch das ÖBB-Infrawetter;
- Warnungen von Lawinenwarndiensten.

Um auf eine Sonderwetterlage adäquat reagieren zu können, muss die ÖBB-Infrastruktur AG mindestens 72 Stunden vor dem potentiellen Eintritt der möglichen Schadensart informiert werden. Nach der Vorwarnung werden im Unternehmen gemeinsam mit dem Betriebsleiter unterschiedliche Reaktionsmöglichkeiten hinsichtlich deren Eignung analysiert und diskutiert. Werden Auswirkungen auf den sicheren Bahnbetrieb durch die Sonderwetterlage befürchtet, wird das Bahnpersonal entlang der Strecke (z.B. Fahrdienstleiter) informiert und Instandhaltungstrupps alarmiert sowie entsandt. Beim Abklingen der Sonderwetterlage wird der Betriebsleiter, der über das weitere Vorgehen entscheidet, ein weiteres Mal informiert.

Die *clim\_ect-CIs* (Klima Indizes), die je nach betrachteter Ereigniskategorie die potentiell schadinduzierenden Wetterentwicklungen beschreiben, könnten ggfls. auch in Frühwarnsystemen Verwendung finden. Davor jedoch muss die auf diesem Wege erzielbare Leistung anhand der vorliegenden Beobachtungen für jede Ereigniskategorie evaluiert werden.

Abgesehen davon könnte die Integration von Messwerten, die das eHORA-System liefert, in bestehende Frühwarnsysteme der ÖBB-Infrastruktur AG angedacht werden. Bevor ein derart erweitertes Frühwarnsystem im Routinebetrieb genutzt werden kann, müssen auch in diesem Fall die Ergebnisse mathematisch-statistischer Evaluations-Verfahren die erreichte Leistungssteigerung klar belegen.

Tatsächlich besteht durch die Integration verschiedenster - potentiell mit dem Eintreten diverser Schadarten in Zusammenhang stehender - Datensätze in bestehende ÖBB Frühwarnsysteme eine Vielzahl an Möglichkeiten die Frühwarnsysteme zu erweitern. Beispiele dafür wären Daten aus dem Analyse- und Nowcastingsystem (INCA) oder SPARTACUS-Daten, die operationell (also stets aktuell) tägliche Temperaturwerte (min, max) und Niederschlagssummen auf einem engmaschigen Gitter über ganz Österreich zur Verfügung stellen. Egal welche Datensätze in bestehende ÖBB Frühwarnsysteme integriert werden, um deren prädiktive Aussagen potentiell zu verbessern, die damit erreichte Leistungssteigerung muss quantitativ durch die Ergebnisse durchgeführter mathematisch-statistischer Evaluations-Verfahren belegbar sein. Resultiert die Einbeziehung betrachteter Datensätze in einer signifikanten Leistungssteigerung, führen sie zu einer Verbesserung bestehender Systeme und bieten sich für eine dauerhafte Einbindung in die ÖBB-Frühwarnsysteme an.

Hinausreichend über die bisher genannten Anwendungs-Möglichkeiten der clim\_ect-CIs und clim\_ect-HDCs könnten sie sich auch bei der Identifikation von Standorten als wertvoll erweisen, an denen signifikanter Ergänzungsbedarf des gegenwärtigen ÖBB-Messnetzes besteht (d.h. die Detektion zusätzlicher Standorte, an denen die Messung meteorologischer/geomorphologischer Größen signifikant zur sicheren Beförderung von Passagieren und Gütern entlang des ÖBB Schienen- und Infrastruktur-Netzes beitragen - z.B. via satellitengestützter (GPS) Bewegungsanalysen an Kriechhängen).

## 7.5 Erhöhung der Schutzfunktion und Ökosystemdienstleistungen des Waldes

**Maßnahme:** Erhöhung der Schutzfunktion und Ökosystemdienstleistungen des Waldes - gezielte Förderung von Baumarten zur Erhöhung der Schutzwirkung des Waldes auf Basis der clim\_ect Projektergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes clim\_ect zeigen, welche Baumarten zur Schutzwaldwirkung für die untersuchten Ereigniskategorien beitragen und wie sich die Baumarten in den ASC-Standorten zukünftig entwickeln werden. Die clim\_ect-HDC risk factors zeigen auf, wie sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Schadereignisse in den Ereigniskategorien in den ASC-Standorten zukünftig entwickeln werden. Mit Hilfe dieser Ergebnisse wird auf regionaler Ebene aufgezeigt, welche Baumarten in welchen ASC-Standorten grundsätzlich für welche Ereigniskategorie förderungswürdig sind. Verbunden mit Kenntnissen des operativen Personals vor Ort (Förster), können die regionalspezifischen Ergebnisse aus den Klimahüllen als Ausgangspunkt für standortspezifische Bewirtschaftungskonzepte herangezogen werden.

Der Maßnahmen bzgl. Erhöhung von Schutzfunktionen und Ökosystemdienstleistungen basieren auf der Verschneidung der Ergebnisse der Vegetationsdatenbank mit der Analyse und Auswertung der Klimahüllen. Die Resultate sind unter Kapitel 6.2 detailliert beschrieben und dienen als Eingangsdaten für die Ausweisung von konkreten Vegetationsmaßnahmen. Es gibt mehrere Pfade anhand deren eine Maßnahme hergeleitet werden kann, diese unterscheiden sich jedoch lediglich in der Reihenfolge der Aneinanderreihung der einzelnen Schritte. Die Maßnahme ist abhängig davon, ob von der Betrachtung einer Naturgefahr im Allgemeinen oder eine Region ausgegangen wird. dargestellt. Die im Projekt definierten Artenpools für die jeweiligen Naturgefahren bilden die Grundlage für die Anwendung des Maßnahmenkatalogs. Auf regionaler Ebene werden die im Artenpool gesammelten Arten auf ihre Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel bewertet. Daraus lassen sich Zielvegetationstypen ableiten, die gewünschte Schutzfunktionen und Ökosystemdienstleistungen bereitstellen. In weiterer Folge werden Maßnahmen und Artenpools, gegliedert nach Naturgefahrenprozessen, beschrieben.

## **Interaktion Hochwasserprozesse und Vegetation**

Die Wirkungen des Waldes in Bezug auf die Naturgefahr Hochwasser ist eine passive und muss stark differenziert betrachtet werden. Der Einfluss von Vegetation auf Hochwasserereignisse bezieht sich hauptsächlich auf die Beeinflussung der Abflussbereitschaft im Einzugsgebiet durch Verdunstung, Rückhalt und Oberflächenrauigkeit (Markart G. et al. 2004). Der Vegetation kann in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße sowie vielen weiteren Faktoren eine dämpfende Wirkung auf die Ausformung und den Scheitel der Hochwasserwelle zugeschrieben werden (Markart G. et al. 2017).

Bei Betrachtung der Abflussdisposition in kleinen Einzugsgebieten ist die Stufung des Bestandes ein wichtiger Aspekt. Ein stufenreicher Bestand, bestehend aus Kraut- Strauch- und Baumschicht weist auf Grund von höheren Rauigkeiten deutlich geringere Abflussbereitschaften auf, wodurch der Zeitpunkt des Entstehens von Oberflächenabfluss verzögert und die Konzentrationszeit erhöht wird (Markart G. et al. 2017). Anthropogene Einflüsse, wie das Vorhandensein von versiegelten Flächen, bewirken gegenteilige Effekte. Der Abfluss in Richtung Vorfluter wird beschleunigt, es kann zu einer Steigerung des Spitzenabflusses kommen (Mendel H.-G. 2000).

Zusätzlich zu diesen Aspekten für kleine Einzugsgebiete kann die Vegetation im Einzugsgebiet sowie entlang von Gewässern Schutzfunktionen bieten, um etwaig eintretende Prozessketten zu unterbinden. Ein Beispiel dafür sind im Zuge eines Hochwassers entstehende Erosionsprozesse oder Anbrüche, die in weiterer Folge Material für fluviatilen Feststofftransport oder murartige Prozesse verfügbar machen können. Aus dieser Sicht kommt der Vegetation eine stabilisierende und vorbeugende Wirkung zu. Dem gegenüber stehen jedoch auch negative Aspekte und Situationen in denen Vegetation in Verbindung mit der Naturgefahr Hochwasser eine Gefahrenquelle darstellen kann. Dies ist insbesondere dann von Relevanz, wenn Gehölze ihre Stabilität verlieren und als Wildholz von den Wassermassen transportiert werden oder zu dichter Bewuchs das abflusswirksame Profil verringert.

Neben dieser pauschalen Betrachtung der Wirkung von Wald und Vegetation auf Hochwässer, deren Entstehung und verknüpfte Prozesse, weisen gewisse Arten Eigenschaften und Merkmale auf, die auf Standorten mit häufig wiederkehrenden Ereignissen einen klaren Vorteil bilden können. Als zentrales Merkmal für betroffene Standorte wurde die Überflutungsresistenz definiert.

#### Schutzfunktion:

- Beeinflussung und Dämpfung von Oberflächenabfluss in kleinen Einzugsgebieten
- Erosionsschutz im Ereignisfall
- Resistenz gegen Überflutung

Aus Sicht der Waldbewirtschaftung erscheint es auf regionaler Ebene wichtig, dass eine Landbedeckung in Form von Vegetation gegeben ist, um einerseits Rückhalte- und Dämpfungseffekte von Oberflächenabfluss zu erzielen und andererseits Prozessketten zu verhindern.

Als wesentliche Eigenschaft der Zielvegetation wurde die Überflutungsresistenz definiert. In Tabelle 20 sind Arten zusammengefasst, denen gemäß den jeweiligen Quellen eine gewisse Überflutungsresistenz zugeschrieben wird. Als besonders Überflutungstolerant gelten Schwarzerle, Faulbaum, Silber- und Schwarzpappel sowie die Silberweide. Im Zusammenhang mit der Entstehung von Kaskadeneffekten wird auch der Beitrag zum Erosionsschutz angeführt. Die Merkmale Dürre- und Spätfrostresistenz spiegeln die Ausfallsanfälligkeit der Vegetation bei extremen Witterungsbedingungen wider. Die Präzisierung des Artenpools auf die jeweilige Region erfolgt mit Hilfe der Standortsprognosen unter Klimawandelaspekten. Weitere Arten mit nützlichen Eigenschaften in hochwassergefährdeten Gebieten sind anschließend an Tabelle 20 aufgeführt. Sie erfüllen dieselben Kriterien wie der Artenpool, verfügen jedoch über keine Klimawandelprognose.

Tabelle 20: Artenpool Naturgefahr Hochwasser (Literaturangaben bezogen auf 6.1.1).

Naturgefahr: Hochwasser			Erosionsschutz	Resistenz				
Kriterium: Überflutungsresistenz = x oder (x)				Überflutung	LIT Überflutung	Dürre	Spätfrost	
Art	Name	Höhenstufe						
<i>Acer campestre</i>	Feldahorn	collin - submontan	x	(x)	[5]	x	-	
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarzerle	collin - submontan	x	x	[1]			
<i>Alnus incana</i>	Grauerle	submontan - montan	x	(x)	[5]	x	x	
<i>Betula pendula</i>	Sandbirke	montan - subalpin	x	(x)	[2]	-	x	
<i>Carpinus betulus</i>	Hainbuche	collin - submontan	x	(x)	[7]	-	-	
<i>Frangula alnus</i>	Faulbaum	collin - montan		x	[2]			
<i>Fraxinus excelsior</i>	gemeine Esche	collin - montan	x	(x)	[1]		-	
<i>Populus alba</i>	Silberpappel	collin - submontan		x	[1]	x		
<i>Populus nigra</i>	Schwarzpappel	collin - submontan		x	[1]			
<i>Populus tremula</i>	Zitterpappel	submontan - montan		(x)	[1]		x	
<i>Prunus padus</i>	Traubenkirsche	submontan - subalpin		(x)	[1]			
<i>Salix alba</i>	Silberweide	collin - submontan	x	x	[1]		(x)	

Weitere interessante Arten:

*Salix cinerea*, *Salix fragilis*, *Salix myrsinifolia*, *Salix pentandra*, *Salix purpurea*, *Salix rubens*, *Salix triandra*, *Salix viminalis*, *Salix waldsteiniana*, *Sambucus racemosa*, *Viburnum opulus*

### Interaktion Murprozesse und Vegetation

Bei murartigen Prozessen hat die Vegetation ähnlich wie bei der Entstehung von Hochwässern vorbeugende Funktionen. Faktoren für die initiale Entwicklung von murartigen Prozessen und Hangmuren sind oftmals Anrisse oder bereits bestehende Lockergesteinsrutschungen in Kombination mit Starkniederschlagsereignissen oder Oberflächenabfluss bzw. die Infiltration von Wasser in den Untergrund. Weitere Einflussgrößen sind Bodeneigenschaften, Hangtopographie und Vegetation (Glade T. 2020). Das Schadenspotential von Muren und Hangmuren gilt als hoch. Prozesskaskaden, die durch das Zusammenspiel mit anderen Naturgefahren entstehen (z.B. Interaktion von murartigen Prozessen und Hochwasser), weiten den Gefahrenbereich großflächig aus (Glade T. 2020). Die Schutzfunktion der Vegetation umfasst mehrere Aspekte: die mechanische Stabilisierung des Bodens durch das Wurzelwerk, den Erosionsschutz sowie die Entwässerung des Bodens durch Evapotranspiration (Meusburger K. et Alewell C. 2008). Der Schutz vor

Erosionsprozessen kann einerseits die Bildung von initialen Anrissen verhindern und andererseits potentiell murfähiges Material festigen bzw. dessen Verfügbarkeit reduzieren. Bezogen auf die anzustrebende Bestandsstruktur ist somit das Hauptaugenmerk auf eine stabile Vegetationsbedeckung zu legen. Es sind sturmresistente Bestände zu fördern, um die Entstehung von Erosionsprozessen oder Anrissen durch Baumwürfe zu unterbinden. Dies kann unter anderem durch Niederwaldbewirtschaftung erreicht werden. Zusätzlich hat diese Bewirtschaftungsform den Vorteil geringer Bestandshöhen, die bei Windlast geringere Kräfte in den Untergrund einleiten, eine geringere Belastung der instabilen Zonen durch ein geringeres Eigengewicht sowie ein geringeres Schadenspotential im Falle eines auftretenden murartigen Ereignisses (geringere Zerstörungskraft von in der Mure transportiertem Holz im Vergleich zu Stämmen mit großen Durchmesser). Auch Meusburger K. et Alewell C. (2008) verweisen auf die positiven Effekte von Strauchartiger Vegetation, im speziellen der Grünerle, im potentiellen Entstehungsgebiet von Hangmuren.

Im speziellen erscheinen Arten, denen gemäß Literatur eine Erosionsschutzfunktion oder eine stabilisierende Wirkung zugeschrieben wird, geeignet, um potentiell instabile Hänge und Uferböschungen zu bepflanzen und dadurch die Leistungen der Vegetation als vorbeugende Maßnahme gegen die Entstehung von murartigen Prozessen zu verwenden. In Tabelle 21 sind entsprechende Arten und ihre jeweiligen Quellenangaben dargestellt. Zusätzlich werden die Resistenzen hinsichtlich Dürre und Spätfrost angeführt. Die regionale Anpassung der Zielvegetation erfolgt basierend auf der Klimawandel-Standortsprognose. Anschließend an Tabelle 21 sind zusätzliche Arten aufgelistet, denen die gleichen Schutzfunktionen und Kriterien zugeschrieben werden, zu denen es aber keine Klimawandelprognosen gibt.

Tabelle 21: Artenpool Naturgefahr Mure (Literaturangaben bezogen auf 6.1.1).

Naturgefahr: Mure			Schutz				Resistenz	
Kriterium: Erosionsschutz = x oder stabilisierende Wirkung = x			Erosion	LIT Erosion	stabilisierend	LIT stabilisierend	Dürre	Spätfrost
Art	Name	Höhenstufe						
<i>Abies alba</i>	Weißtanne	submontan - subalpin			x	[4]	-	-
<i>Acer campestre</i>	Feldahorn	collin - submontan	x	[2]	x	[2]	x	-
<i>Acer platanoides</i>	Spitzahorn	collin - submontan	x	[3]			x	-
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	submontan - subalpin	x	[3]	x	[3]	-	-
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarzerle	collin - submontan	x	[5]				
<i>Alnus incana</i>	Grauerle	submontan - montan	x	[5]	x	[5]	x	x
<i>Alnus viridis</i>	Grünerle	montan - subalpin	x	[3]	x	[5]		
<i>Betula pendula</i>	Sandbirke	montan - subalpin	x	[3]			-	x
<i>Betula pubescens</i>	Moorbirke	montan - subalpin	x	[3]			-	x
<i>Carpinus betulus</i>	Hainbuche	collin - submontan	x	[3]	x	[3]	-	-
<i>Cedrus libani</i>	Libanonzeder		x	[5]				
<i>Cornus sanguinea</i>	blutroter Hartriegel	collin - submontan	x	[9]			x	
<i>Corylus avellana</i>	Hasel	collin montan	x	[5]	x	[5]		
<i>Fraxinus excelsior</i>	gemeine Esche	collin - montan	x	[7]	x	[7]		-
<i>Picea abies</i>	Fichte	montan - subalpin	x	[5]	-	[9]	-	-
<i>Pinus cembra</i>	Zirbe	subaplin	x	[3]	x	[3]		x
<i>Pinus nigra</i>	Schwarzkiefer	collin-montan	x	[3]	x	[3]	x	x
<i>Salix alba</i>	Silberweide	collin - submontan	x	[9]				(x)
<i>Sambucus nigra</i>	schwarzer Holunder	collin - montan	x	[9]				-
<i>Sorbus aria</i>	echte Mehlbeere	collin - montan	x	[5]				x
<i>Tilia cordata</i>	Winterlinde	collin - montan	x	[4]	x	[7]	x	x
<i>Tilia platyphyllos</i>	Sommerlinde	collin - montan	x	[4]			x	(x)
<i>Ulmus glabra</i>	Bergulme	collin - montan	x	[3]				x
<i>Ulmus minor</i>	Feldulme	collin - submontan	x	[4]				

Weitere interessante Arten:

*Crataegus monogyna*, *Cytisus scoparius*, *Hippophae rhamnoides*, *Ligustrum vulgare*, *Pinus mugo*, *Prunus mahaleb*, *Robinia pseudoacacia* \*, *Rosa canina*, *Salix spp.*

\* Neophyt – invasive Tendenzen

## **Interaktion Wind-Sturmprozesse und Vegetation**

Windresistente Bestände können verschiedenste Eigenschaften aufweisen. Neben der Auswahl von sturmresistenten Baumarten können verschiedene waldbauliche Maßnahmen die Anfälligkeit gegenüber der Naturgefahr Wind-Sturm deutlich vermindern. Geringe Bestandsrauigkeit bildet eine geringere Angriffsfläche für die Windkraft. Flach ansteigende und winddurchlässige Waldränder können die Standsicherheit eines Bestandes bei Windangriff deutlich erhöhen. Plenterwälder und mehrschichtige Bestände erzeugen durch ihren abgestuften Aufbau Verwirbelungen der strömenden Luftmassen und verringern dadurch die Belastung des einzelnen Baumes (Kaulfuß S. 2012). Des Weiteren ist in ungleichaltrigen Wäldern ein höheres Verjüngungspotential gegeben, wodurch das Schadensniveau gesenkt wird. Diese Bestände gelten allgemein als sturmresilienter als gleichaltrige Wälder (Hanewinkel M. et al. 2015). In diesem Zusammenhang kann die Niederwaldbewirtschaftung bzw. die Verwendung von stockausschlagfähigen Arten einen Vorteil hinsichtlich der Sturmresistenz darstellen. Zum einen werden geringere Oberhöhen erreicht und zum anderen kann mit einer relativ raschen Erholung der Bestände nach einem Schadereignis gerechnet werden. Gemäß [10] sind unter Betrachtung von potentiellen Sturmschäden Oberhöhen von 20 m möglichst zu unterschreiten. Zieldurchmesser sollen bei möglichst niedrigen Höhen erreicht werden, was in gleichaltrigen Beständen durch frühe starke Durchforstung erreicht werden kann (Hanewinkel M. et al. 2015). Durch das frühe Freistellen wird außerdem das Grobwurzelwachstum gefördert (Kaulfuß S. 2012), was für eine bessere Verankerung der Individuen im Boden sorgt und somit in weiterer Folge die Sturmanfälligkeit herabsetzt.

Neben den Bestandseigenschaften haben auch standortspezifische und artenspezifische Eigenschaften großen Einfluss auf die Sturmanfälligkeit und –resilienz. Hinsichtlich des Standortes ist vor allem die Ausbildung des Wurzelsystems von Relevanz, im speziellen die Staunässe und die Bodenverhältnisse. Ein Beispiel für eine Art, deren Windwurfanfälligkeit auf staunassen anaeroben Standorten deutlich erhöht ist, stellt die Fichte dar (Hanewinkel M. et al. 2015). Neben Standort- und Bestandseigenschaften gibt es Arten, die aufgrund ihrer Morphologie, ihrer tiefen Wurzelsysteme und weiteren Eigenschaften besser geeignet sind, um Sturmereignissen Stand zu halten. Tabelle 22 zeigt Arten, denen gemäß den jeweiligen Quellen die Eigenschaft sturmresistent zugeschrieben wird. Neben einigen wenigen Nadelholzarten, die tendenziell unter Klimawandelaspekten jedoch einen Rückgang ihrer potentiellen natürlichen Standorte zu verzeichnen haben, sind es großteils Laubbaumarten, denen Sturmresistenz zugeschrieben wird. Es werden außerdem Dürre- und Spätfrostresistenz angeführt, um etwaige Anfälligkeiten oder wetterbedingte Ausfälle

berücksichtigen zu können. Es ist davon auszugehen, dass eine Vielzahl weiterer Arten mit strauchförmigem Habitus windresistente Eigenschaften aufweisen. Bei der Auswahl der Arten für eine spezifische Region ist auf die Entwicklung der potentiellen natürlichen Standorte unter Klimawandelaspekten Rücksicht zu nehmen. Arten mit ähnlichen Eigenschaften betreffende ihrer Sturmresistenz, allerdings ohne Klimawandelprognose werden anschließend an Tabelle 22 angeführt.

Tabelle 22: Artenpool Naturgefahr Wind (Literaturangaben bezogen auf 6.1.1).

Naturgefahr: Wind			Resistenz			
Kriterium: Sturmresistenz = x			Sturm	LIT Sturm	Dürre	Spätfrost
Art	Name	Höhenstufe				
<i>Abies alba</i>	Weißtanne	submontan - subalpin	x	[7]	-	-
<i>Acer campestre</i>	Feldahorn	collin - submontan	x	[7]	x	-
<i>Acer platanoides</i>	Spitzahorn	collin - submontan	x	[5]	x	-
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	submontan - subalpin	x	[4]	-	-
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarzerle	collin - submontan	x	[5]		
<i>Corylus avellana</i>	Hasel	collin montan	x	[5]		
<i>Larix decidua</i>	Europäische Lärche	collin - subalpin	x	[5]		-
<i>Pinus cembra</i>	Zirbe	subaplin	x	[5]		x
<i>Pinus nigra</i>	Schwarzkiefer	collin-montan	x	[3]	x	x
<i>Populus nigra</i>	Schwarzpappel	collin -submontan	x	[5]		
<i>Prunus avium</i>	Vogelkirsche	collin - submontan	x	[7]	x	(x)
<i>Prunus spinosa</i>	Schlehdorn	collin - submontan	x	[5]		
<i>Quercus petraea</i>	Traubeneiche	collin - submontan	x	[4]	x	-
<i>Quercus robur</i>	Stieleiche	collin-montan	x	[4]		-
<i>Sambucus nigra</i>	schwarzer Holunder	collin - montan	x	[5]		-
<i>Sorbus aria</i>	echte Mehlbeere	collin - montan	x	[5]		x
<i>Sorbus aucuparia</i>	Eberesche	collin - subalpin	x	[5]	x	x
<i>Sorbus torminalis</i>	Elsbeere	collin-montan	x	[3]	x	x
<i>Taxus baccata</i>	Gemeine Eibe	submontan-montan	x	[4]		x
<i>Tilia cordata</i>	Winterlinde	collin - montan	x	[7]	x	x
<i>Tilia platyphyllos</i>	Sommerlinde	collin - montan	x	[5]	x	(x)
<i>Ulmus glabra</i>	Bergulme	collin - montan	x	[7]		x

Weitere interessante Arten:

*Crataegus monogyna*, *Ligustrum vulgare*, *Pinus mugo*, *Salix aurita*, *Salix cinerea*, *Salix daphnoides*, *Salix repens*

### **Interaktion Steinschlagprozesse und Vegetation**

Steinschlagschutzfunktion in Waldbeständen kann durch Energiedissipation oder durch den aktiven Materialrückhalt erfolgen. Der Energieabbau kann kontinuierlich durch Bremswirkung von dichten Beständen oder punktuell durch Baumtreffer. Gemäß (Engl D.A. et al. 2020) erbringen Waldbestände an steinschlaggefährdeten Hängen folgende Ökosystemdienstleistungen: Verringerung der kinetischen Energie bis zum Eintreffen im Ablagerungsbereich, Verkürzung der Trajektorien, zeitweiser Rückhalt außerhalb von Ablagerungsgebieten etc.

Für die Bewirtschaftung von Steinschlagschutzwäldern in Hochwaldform sind in (Engl D.A. et al. 2020) klare Bewirtschaftungsgrundsätze und –regeln ausgewiesen. Es können jedoch auch Niederwaldstandorte deutliche Schutzfunktionen aufweisen. Standorte mit maximaler biologischer und struktureller Diversität erzielen hohe Schutzwirkungen (Dupire S. et al. 2016). Gemäß (Dorren L.K.A. et al. 2005) ist ebenfalls die Anzahl der Stämme wichtiger als rein der maximale BHD. Diese Aspekte weisen auf eine von Niederwaldbeständen ausgehende Schutzfunktion hin. Aufgrund der Stockausschlagfähigkeit sind Niederwälder in der Lage, sich nach einem Ereignis rasch zu erholen und verfügen daher über eine erhöhte Resilienz. Der kontinuierliche Energieabbau beim Durchlaufen einer Trajektorie durch einen dichten Bestand kann technische Maßnahmen am Hangfuß oder im Ablagerungsgebiet entlasten und somit Wartungs- und Servicekosten verringern. In den französischen Alpen wurden in Bezug auf Steinschlagschutz gute Erfahrungen mit Buchen-Eichen-Kastanien Niederwäldern gemacht (Dupire S. et al. 2016) . In Bezug auf Niederwaldbewirtschaftung sind schattentolerante Arten für die Herstellung eines dichten Bestandes besser geeignet bzw. als konkurrenzstärker als Lichtbaumarten anzusehen.

Als entscheidendes Merkmal für die Definition der Zielvegetation dient die Steinschlagresistenz. Steinschlagresistente Arten zeichnen sich durch verschiedene Eigenschaften aus, unter anderem zählen Wundheilung, Wiederaustriebsvermögen, Stockausschlagfähigkeit und Bruchresistenz zu diesen. In Tabelle 23 sind Arten, denen gemäß den jeweiligen Quellen die Eigenschaft „steinschlagresistent“ zugewiesen wird, zusammengefasst. Dürre- und Spätfrostresistenz geben Hinweise auf die

Widerstandsfähigkeit der einzelnen Arten. Eine Regionalisierung des Artenpools ist mittels Standort-Klimawandelprognose auf ASC Niveau möglich. Anschließend an Tabelle 23 werden weitere Arten mit hoher Steinschlagresistenz angeführt, für die es allerdings keine Klimawandelprognosen gibt.

Tabelle 23: Artenpool Naturgefahr Steinschlag (Literaturangaben bezogen auf 6.1.1).

<b>Naturgefahr: Steinschlag</b>				<b>Resistenz</b>			
Kriterium: Steinschlagresistenz = x				<b>Steinschlag</b>	LIT Steinschlag	Dürre	Spätfrost
<b>Art</b>	<b>Name</b>	<b>Höhenstufe</b>					
<i>Acer campestre</i>	Feldahorn	collin - submontan	x [2]	x	-		
<i>Acer platanoides</i>	Spitzahorn	collin - submontan	x [2]	x	-		
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	submontan - subalpin	x [2]	-	-		
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarzerle	collin - submontan	x [2]				
<i>Alnus incana</i>	Grauerle	submontan - montan	x [2]	x	x		
<i>Alnus viridis</i>	Grünerle	montan - subalpin	x [2]				
<i>Betula pendula</i>	Sandbirke	montan - subalpin	x [2]	-	x		
<i>Betula pubescens</i>	Moorbirke	montan - subalpin	x [2]	-	x		
<i>Carpinus betulus</i>	Hainbuche	collin - submontan	x [2]	-	-		
<i>Castanea sativa</i>	Edelkastanie	collin - submontan	x [2]	x	-		
<i>Corylus avellana</i>	Hasel	collin montan	x [9]				
<i>Euonymus europaea</i>	Pfaffenhütchen	collin - submontan	x [2]				
<i>Fraxinus excelsior</i>	gemeine Esche	collin - montan	x [2]		-		
<i>Larix decidua</i>	Europäische Lärche	collin - subalpin	x [2]		-		
<i>Pinus cembra</i>	Zirbe	subaplin	x [4]		x		
<i>Pinus sylvestris</i>	Waldkiefer	collin - subalpin	x [2]	x	x		
<i>Populus alba</i>	Silberpappel	collin - submontan	x [2]	x			
<i>Populus nigra</i>	Schwarzpappel	collin - submontan	x [2]				
<i>Populus tremula</i>	Zitterpappel	submontan - montan	x [2]			x	
<i>Quercus petraea</i>	Traubeneiche	collin - submontan	x [2]	x	-		
<i>Quercus robur</i>	Stieleiche	collin-montan	x [1]		-		
<i>Salix alba</i>	Silberweide	collin - submontan	x [2]			(x)	
<i>Ulmus glabra</i>	Bergulme	collin - montan	x [2]			x	
<i>Ulmus minor</i>	Feldulme	collin - submontan	x [2]				

Weitere interessante Arten:

*Crataegus monogyna, Hippophae rhamnoides, Laburnum alpinum, Laburnus anagyroides, Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Pinus mugo, Salix appendiculata, Salix aurita, Salix caprea, Salix cinerea, Salix daphnoides, Salix eleagnos, Salix fragilis, Salix glabra, Salix hastata, Salix hegetschweileri, Salix myrsinifolia, Salix pentandra, Salix purpurea*

### **Interaktion Schneeprozesse und Vegetation**

Im Hinblick auf schneebedingte Schäden hat die Vegetationsdecke direkte und indirekte Auswirkungen auf Schadensprozesse. Das Brechen von Bäumen durch die statische Druckbelastung des Schnees ist eine häufige Schadensursache. Wesentliche Faktoren für die Schadensdisposition durch Schneedruck sind die Baumart, die Bestandeshöhe und die Bestandesdichte. Generell gilt, dass die Gefahr von Schneeschäden mit zunehmender Baumhöhe steigt. In sehr dichten Beständen haben die Bäume eher kürzere und asymmetrischere Kronen, was die Schadanfälligkeit gegenüber Schneedruck erhöht (Müller F. 2002). Gleichzeitig ist die kollektive Stabilität, die durch eine entsprechende Dichte des Bestandes erreicht wird, eine wichtige Bestandeseigenschaft zur Reduzierung von Schneebruchschäden (Amann P.L. 2004). Aufgrund spezieller Eigenschaften (z.B. Wuchsform, Stabilität) gibt es Arten denen eine erhöhte Resistenz gegen Schneebruch zugeschrieben wird (siehe Tabelle 24). Diese Arten sollten in gefährdeten Bereichen gezielt gefördert werden.

Die Vegetation spielt im Entstehungsprozess von Lawinen eine untergeordnete Rolle. Ein geschlossener und stabiler Vegetationsbestand ist jedoch an Lawinhängen von zentraler Bedeutung, um Folgewirkungen (z.B. Erosionsprozesse) zu verhindern. Die Vegetation trägt auf unterschiedliche Weise zu einem stabilen Aufbau der Schneedecke bei, was sich positiv auf den Lawinenschutz auswirkt. Der Schneedeckenaufbau wird aufgrund der Erhöhung der Oberflächenrauigkeit beeinflusst. In Waldbeständen ist die Schneemenge aufgrund der Interzeption geringer als in der Umgebung und die Strukturen der Vegetation verhindern eine gleichmäßige Bildung der Schneedecke (z.B. durch Auskolkungen um Baumstümpfe). Vor allem in immergrünen Wäldern ist die Abstrahlung durch die Überschildung geringer was das Klima beeinflusst. Dadurch bilden sich weniger Oberflächenreif und Schwimmschnee. Allgemein bieten winterkahle Baumarten bei kleinen Schneefällen eine gute Schutzwirkung gegen Lawinenanrisse. Bei Großschneefällen ist diese Schutzwirkung allerdings eingeschränkt (Frehner M. et al. 2005).

Störungen des Bahnbetriebs durch Schneeverwehungen können durch gezieltes Pflanzen von Bäumen und Sträuchern im Heckenverband reduziert werden. Schneehecken können bewirken, dass sich der Schnee in einem günstigeren Bereich ansammelt. Durch die

Verringerung der Windgeschwindigkeit kann auch die Sicht während eines Schneesturms verbessert werden (Johnson A. 2000).

Die in Tabelle 24 zusammengefassten Arten zeichnen sich laut Literatur durch eine erhöhte Resistenz gegenüber Schneebruch aus. Nach Schadereignissen ist eine möglichst rasche Regeneration des Bestandes wichtig. Gehölze mit der Fähigkeit zur Stockausschlagfähigkeit können nach einer Störung rasch austreiben und somit wieder wichtige Schutzfunktionen erfüllen. Die Dürre- und Spätfrostresistenz sind wesentliche Merkmale für die Widerstandsfähigkeit der Arten gegen kurzfristige Wetterextreme. In Tabelle 24 sind sowohl die Stockausschlagfähigkeit als auch die Dürre und Spätfrostresistenz der ausgewählten Arten als Zusatzinformation angegeben. Es ist davon auszugehen, dass eine Vielzahl weiterer Arten mit Strauchförmigem Habitus schneebruchresistente Eigenschaften aufweist. Die Klimawandel-Standortprognosen für die jeweiligen Arten erlauben eine Spezifizierung des Artenpools für die Definition regionaler Zielvegetationstypen. Anschließend an Tabelle 24 werden weitere geeignete Arten für den Standortschutz in Lawinenbahnen angeführt, für die es allerdings keine Klimawandelprognosen gibt.

Tabelle 24: Artenpool Naturgefahr Schnee (Literaturangaben bezogen auf 6.1.1).

Naturgefahr: Schnee			stockausschlagfähig	Resistenz			
Kriterium: Schneebruchresistenz = x				Schneebruch	LIT Schneebruch	Dürre	Spätfrost
Art	Name	Höhenstufe					
<i>Abies alba</i>	Weißtanne	submontan - subalpin	-	x	[7]	-	-
<i>Acer campestre</i>	Feldahorn	collin - submontan	x	x	[7]	x	-
<i>Acer platanoides</i>	Spitzahorn	collin - submontan	x	x	[7]	x	-
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	submontan - subalpin	x	x	[4]	-	-
<i>Alnus viridis</i>	Grünerle	montan - subalpin		x	[5]		
<i>Carpinus betulus</i>	Hainbuche	collin - submontan	x	x	[7]	-	-
<i>Fagus sylvatica</i>	Rotbuche	collin-subalpin	(x)	x	[7]		-
<i>Fraxinus excelsior</i>	gemeine Esche	collin - montan	x	x	[7]		-
<i>Larix decidua</i>	Europäische Lärche	collin - subalpin	-	x	[5]		-
<i>Pinus cembra</i>	Zirbe	subalpin	-	x	[7]		x
<i>Prunus avium</i>	Vogelkirsche	collin - submontan	x	x	[7]	x	(x)
<i>Sorbus aria</i>	echte Mehlbeere	collin - montan	x	x	[7]		x
<i>Sorbus aucuparia</i>	Eberesche	collin - subalpin	x	x	[5]	x	x
<i>Sorbus torminalis</i>	Elsbeere	collin-montan	x	x	[7]	x	x
<i>Taxus baccata</i>	Gemeine Eibe	submontan-montan	x	x	[7]		x
<i>Tilia cordata</i>	Winterlinde	collin - montan	x	x	[7]	x	x
<i>Ulmus glabra</i>	Bergulme	collin - montan	x	x	[7]		x

Standortschutz in Lawinenbahnen:

*Alnus viridis*, *Pinus cembra*, *Sorbus aria*, *Pinus mugo*, *Salix appendiculata*, *Salix purpurea*

## 7.6 Erweiterung der Geodatenbank „ÖBB-Forstoperat“

**Maßnahme:** Erweiterung des Forstoperates um Naturgefahren-Informationen (Anforderungsprofile für Schutzwälder für die jeweiligen Naturgefahren, Definition waldbaulicher Konzepte) sowie um standardisierte Informationen aus Vor-Ort-Gutachten

Das ÖBB-Forstoperat, das derzeit primär für die Ausweisung der Waldzustandsklassen und der verfügbaren Holzmengen konzipiert ist, kann mit den Anforderungsprofilen an Wälder in Bezug auf Naturgefahren verknüpft werden. In Ergänzung dazu können spezifische waldbauliche Konzepte erstellt und für die jeweiligen Standorte gewünschte Ökosystemdienstleistungen hinterlegt werden. Daraus können „idealtypischen Waldprofil“ für den Bahnwald abgeleitet werden. Ein Beispiel für ein international anerkanntes Anforderungsprofil an den Schutzwald gegen Rutschungen, Erosionen und Murengänge ist in der folgenden Abbildung 105 dargestellt.

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal
Entstehungsgebiet	<b>Gross</b> bei flachgründigen Rutschungen (Rutschhorizont bis 2 m tief) und bei Oberflächenerosion	<b>Gefüge horizontal</b> Lückengrösse <sup>3</sup> max. 6a, bei gesicherter Verjüngung <sup>1</sup> max. 12a.  <b>Gefüge horizontal</b> Deckungsgrad <sup>2</sup> dauernd $\geq 40\%$ Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt Mischung Bei Übergängen im Standortstyp ist die Baumarten-Zusammensetzung des feuchteren / stärker vernässten Typs anzustreben	<b>Gefüge horizontal</b> Lückengrösse <sup>3</sup> max. 4a, bei gesicherter Verjüngung <sup>1</sup> max. 8a.  <b>Gefüge horizontal</b> Deckungsgrad <sup>2</sup> dauernd und kleinflächig $\geq 60\%$ Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt Mischung Bei Übergängen im Standortstyp ist die Baumarten-Zusammensetzung des feuchteren / stärker vernässten Typs anzustreben  <b>Stabilitätsträger</b> keine schweren und wurfgefährdeten Bäume
	<b>Mittel</b> bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen (Rutschhorizont tiefer als 2 m), wenn der Wasserhaushalt im Bereich des Rutschhorizonts beeinflusst werden kann	<b>Gefüge horizontal</b> Deckungsgrad <sup>2</sup> dauernd $\geq 30\%$ Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	<b>Gefüge horizontal</b> Deckungsgrad <sup>2</sup> dauernd $\geq 50\%$ Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt
Infiltrationsgebiet	<b>Gering</b> bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen (Rutschhorizont tiefer als 2 m), wenn der Wasserhaushalt im Bereich des Rutschhorizonts nur wenig beeinflusst werden kann	<b>Verjüngung</b> nachhaltige Verjüngung gesichert	<b>Verjüngung</b> nachhaltige Verjüngung gesichert Anforderungen auf Grund des Standortstyps ideal erfüllt

Abbildung 105: Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Rutschungen, Erosionen und Murgängen. Quelle: gebirgswald.ch

## 7.7 Erweiterung der Naturgefahrenhinweiskarten

**Maßnahme:** Erweiterung der Gefahrenhinweiskarten – Identifikation von Risikoflächen für Baumwurfereignisse entlang des ÖBB-Schienennetzes in Ergänzung zu den Ergebnissen des Projektes clim\_ect

Im Zeitraum von 1990 bis 2019 sind 1.188 Windsturm-Schadereignisse der ÖBB-Infrastruktur dokumentiert (rund 57 Prozent aller dokumentierter Ereignisse). Neben den gemeldeten Windsturm-Schadereignissen, liegen 689 dokumentierte Baumwurf-Ereignisse im Zeitraum von 2017 bis 2020 vor. Diese gemeldeten Baumwurf-Ereignisse dokumentiert, sobald ein Baum in den Gefährdungsbereich bzw. den lichten Raum entlang der Bahntrasse ragt, aber noch kein Schadereignis eingetreten ist.). Die Auswertung der gemeldeten Baumwurf-Ereignisse für die ASC-Standorte findet sich in der folgenden Abbildung 106.

Gemeldete Baumwurfereignisse, 2017-2020

ASC-Standort	DJF	MAM	JJA	SON	Gesamt	Streckenkilometer	Ereignisdichte
Klagenfurt	7	14	28	25	74	329,56	0,22
Linz Hbf	21	10	15	20	66	253,13	0,26
Graz	9	6	25	18	58	264,77	0,22
Wr. Neustadt	3	9	19	12	43	289,70	0,15
Linz Kleinmünchen	7	6	8	20	41	249,59	0,16
Attnang	6	4	15	13	38	265,67	0,14
Sigmundsherberg	9	4	17	8	38	193,92	0,20
Wels	11	5	14	8	38	244,57	0,16
Selzthal	8	3	10	16	37	147,87	0,25
Bludenz	9	4	4	10	27	264,91	0,10
Innsbruck	7	2	2	14	25	135,02	0,19
Villach	1	2	8	13	24	150,84	0,16
Leoben	2	2	8	11	23	184,08	0,12
St.Johann i. P.	6	1	1	12	20	213,54	0,09
Tulln	4	0	6	8	18	188,69	0,10
Gloggnitz	2	3	4	6	15	132,90	0,11
Amstetten	0	3	3	7	13	225,46	0,06
Floridsdorf	0	0	10	3	13	198,21	0,07
Spittal	1	1	1	9	12	173,46	0,07
Mistelbach	1	2	6	2	11	277,70	0,04
Salzburg	2	2	3	4	11	130,49	0,08
St. Pölten	2	1	4	3	10	161,16	0,06
Meidling	2	3	3	1	9	150,25	0,06
Bruck/Leitha	0	1	3	3	7	216,95	0,03
Wien ZVBF	0	0	2	4	6	123,01	0,05
Wörgl	1	1	4	0	6	145,78	0,04
Unbekannt	1	0	3	2	6	-	-
<b>Gesamt</b>	<b>122</b>	<b>89</b>	<b>226</b>	<b>252</b>	<b>689</b>	<b>5.311</b>	

Abbildung 106: Gemeldete Baumwurfereignisse (keine Schadereignisse) in den ASC-Regionen im Zeitraum von 2017 bis 2020.

Die Häufigkeit der Windsturm- und Baumwurf(schad)ereignisse stellt die ÖBB-Infrastruktur AG vor zunehmende Herausforderungen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit und Verfügbarkeit der Bahnstrecken. Naturgefahrenhinweiskarten, die konkrete Gefahrenhinweise für die einzelnen Ereigniskategorien entlang des-ÖBB-Schienennetzes liefern, beinhalten zum aktuellen Zeitpunkt keine potentiellen Risikoflächen für Baumwurfereignisse entlang des ÖBB-Schienennetzes. Unter Zuhilfenahme von bspw. der Fernerkundungsdaten der Österreichischen Waldinventur, der Copernicus-Daten (Mischsignatur der Wälder flächendeckend für Österreich in einem 10x10m Grid) und weiteren bodenspezifischen Parametern, könnten potentielle Gefährdungsflächen für Baumwurfereignisse entlang der Bahnstrecken ermittelt werden. Faktoren, die das Baumwurfrisiko beeinflussen können, sind Umweltfaktoren, Baummerkmale und Bestandesverhältnisse.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die äußerst vielschichtigen Zusammenhänge in Bezug auf eine Prädisposition von Waldbeständen bedingt durch abiotische Einflussfaktoren (in diesem Fall Wind). Es wird deutlich, dass detaillierte Aussagen für größere Begleitstreifenabschnitte nur sehr schwer möglich sind. Auch biotische Einflüsse wie Insekten- oder Pilzbefall können die Verkehrssicherheit eines Baumes maßgeblich negativ beeinflussen. Eine detaillierte Einschätzung unter Berücksichtigung von allen Aspekten kann daher zwar nur durch eine genaue Begutachtung im Einzelfall vor Ort erfolgen, eine grobe, aber dafür methodisch-einheitliche Identifikation von Risikoflächen für Baumwurfereignisse jedoch über die Erstellung einer Naturgefahrenhinweiskarte in einem geographischen Informationssystem. Die Rückkopplung der clim\_ect HDC risk factors mit potentiellen Gefährdungsflächen für Baumwurfereignisse könnte zu einer verbesserten Risikoeinschätzung von Windsturm-Schadereignissen entlang des ÖBB-Schienennetzes beitragen und die Ableitung zielgerichteter forstwirtschaftlicher und ingenieurbioologischer Maßnahmen erleichtern. Ergänzend zu den clim\_ect HDC risk factors könnte die entwickelte Baumwurf-Naturgefahrenhinweiskarte langfristig auch mit den Beurteilungen und Inspektionen vor Ort in einem geographischen Informationssystem verschnitten werden.

Sturmrisiko	Umweltfaktoren				
	Windstärke	Geländeform	Boden		
			Gründigkeit	Beschaffenheit	Wassergehalt
klein	schwach, unter 35 km/Std.	unstere Hanglagen, Mulden	tiefgründig, tiefer als 60 cm	bindig	trocken bis frisch
mittel	stark, 40 bis 100 km/Std.	schwach geneigte Lagen	mittelgründig, 30 bis 60 cm	kiesig-lehmig	feucht
gross	orkanartig, über 110 km/Std.	Kuppen, obere Hanglagen	flachgründig, weniger als 30 cm	kiesig-sandig	nass, wassergesättigt

Darstellung 1: Umweltfaktoren

Sturmrisiko	Baummerkmale			
	Baumart	Grobwurzelsystem	Baumhöhe	Stammform
klein	Wta, Fö, SEi, Tei (jung)	Pfahlwurzeln	gering	abholzig
mittel	Lä, Dgl, Bu, Habu, Ah, Es, Li, Bi, SEi und Tei (alt)	Herzwurzeln	mittel	vollholzig
erhöht	Fi	Flachwurzeln	gross	schlank

Darstellung 2: Baummerkmale

Sturmrisiko	Bestandesverhältnisse					
	Entwicklungsstufe	Mischungsart	Kronenschluss	Bestandesstruktur	Durchforstungsstärke	Zeit seit der letzten Durchforstung
klein	Jungwald	Einzelmischung	normal	stufig	schwach	mehr als 8 Jahre
mittel	Baumholz	Trupp bis Gruppen bis 10 Aren	licht	ungleichförmig	mittel	6 bis 7 Jahre
erhöht	Altholz	Horst bis Bestand mehr als 10 Aren	lückig	gleichförmig	stark	bis 5 Jahre

Darstellung 3: Bestandesverhältnisse

Abbildung 107: Schematische Darstellung des Sturmschadenrisiko/der Baumwurfwahrscheinlichkeit.

## 7.8 Laufende Schulungen, Aus- und Weiterbildungen

**Maßnahme:** Laufende Schulungen, Aus- und Weiterbildungen für die rasche Umsetzung von Alarmplänen im jeweiligen Ereignisfall und zur zielgerichteten Umsetzung von Provisorien

Angelehnt an die SIG-Schulungen (Verhalten im Gefahrenraum von Gleisen/Bahnstromanlagen (SIG 1+2)) könnten Schulungen und Weiterbildungen zum Thema Naturgefahren und Naturgefahrenmanagement im Eisenbahnwesen zur Erweiterung der fachlichen Fähigkeiten angedacht werden. Neben theoretischen Inhalten könnten die Schulungen Trainings zur Umsetzung der Alarmpläne im Ereignisfall (etwa Einsatz von Ausrüstung, Personal und Fahrzeugen, erforderliche Kooperationen mit den Einsatzkräften vor Ort) beinhalten.

## 7.9 Laufende Beurteilungen und Inspektionen vor Ort

**Maßnahme:** Laufende Inspektionen, Beurteilungen und Beobachtungen der baulich-technischen Anlagen und des Schutzwaldes. Verschneidung der Inspektionsergebnisse mit den clim\_ect HDC risk factors und den Naturgefahrenhinweiskarten, sodass aktuelle, streckenspezifische Eigenschaften in die Risikobetrachtung miteinfließen.

Die Beurteilungen und Inspektionen vor Ort zur Überprüfung der baulich-technischen Anlagen und des Waldzustandes könnten standardisiert in die georeferenzierte Anlagendatenbank bzw. das ÖBB-Forstoperat integriert werden. Zur verbesserten Risikoeinschätzung könnten die Ergebnisse der Vor-Ort-Inspektionen – und somit der aktuelle, streckenabschnittspezifische Zustand von Schutzanlagen und Schutzwald – mit den clim\_ect HDC *risk factors* und den Naturgefahrenhinweiskarten räumlich verschnitten werden. Diese Verschneidung ermöglichte die Identifikation vulnerabler Streckenabschnitte für die Ereigniskategorien.

## 7.10 Regelmäßige Normungs- bzw. Richtlinienarbeit

**Maßnahme:** Normungsmaßnahmen wie z.B. laufende Aktualisierung der Regelwerke auf Basis der Erkenntnisse aus vergangenen Ereignissen sowie jenen die in Zukunft (Klimawandel) erwartet werden können

Die Erkenntnisse aus dem laufenden Monitoring und der Analyse der wetterinduzierten Schadereignisse können in regelmäßigen Abständen in Normungsmaßnahmen bzw. in Richtlinienarbeit, wie etwa den ÖBB-Regelwerken, einfließen. Eine erste Grundlage dazu liefern die erstmalig georeferenzierten und standardisierten Schadereignisse von 1990 bis 2019, die clim\_ect CIs und HDCs sowie die Ergebnisse der Klimahüllen zur Standortentwicklung einzelner Baumarten.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

Alexander, D. (2002). Principles of Emergency Planning and Management. University of Massachusetts, Amherst: Oxford University Press

Amann, P., L., (2004). Untersuchung der natürlichen Entwicklungsdynamik in Jungwaldbeständen - biologische Rationalisierung der waldbaulichen Produktion bei Fichte, Esche, Bergahorn und Buche. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

Beersma, Jules J., and T. Adri Buishand. "Multi-site simulation of daily precipitation and temperature conditional on the atmospheric circulation." *Climate Research* 25.2 (2003): 121-133.

Dorren, Luuk K.A et al., 2005. Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *Forest ecology and management*, 215(1), pp.183–195.

Dupire, S et al., 2016. The protective effect of forests against rockfalls across the French Alps: Influence of forest diversity. *Forest ecology and management*, 382, pp.269–279.

Engl, Daniela Anna et al., 2020. Rock 'n' Roll am Berghang – Steinschlagschutz in Österreich. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

Enzyklopädie Der Holzgewächse, 2014.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527678518> (letzter Zugriff 11.02.2021 09:00)

Enigl, Katharina, et al. "Derivation of canonical total-sequences triggering landslides and floodings in complex terrain." *Advances in Water Resources* 129 (2019): 178-188.

Florineth, F., 2012. *Pflanzen statt Beton: Sichern und Gestalten mit Pflanzen* [2. Aufl.].

Forster, M., Falk, W., Reger, B., 2019. Praxishilfe Klima – Boden – Baumartenwahl. Hrsg. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).

Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R. (2005). Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Fürst W. et al. 2017. Schutzwald im Klimawandel: Auswirkungen, Maßnahmen und Forschungsbedarf. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz. Heft 180 S. 220-230.

Glade, Thomas, 2020. ExtremA 2019, Vandenhoeck & Ruprecht.

Hanewinkel, Marc et al. 2015. Können Windwurfschäden vermindert werden? Eine Analyse von Einflussgrößen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (2015) 166 (3): 118–128. <https://doi.org/10.3188/szf.2015.0118>

Hasenauer, H., und Wendl J., and Klopf M. Waldbau: Skriptum zur VU 913.102. 2011.

Hurrell, James W., and Clara Deser. "North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation." *Journal of marine systems* 79.3-4 (2010): 231-244.

Jacobeit, Jucundus, et al. "Atmospheric circulation variability in the North-Atlantic-European area since the mid-seventeenth century." *Climate Dynamics* 20.4 (2003): 341-352.

Johnson, A., 2000. Best Practices Handbook on roadside vegetation management. Minnesota Technology Transfer (T2) / LTAP Program. University of Minnesota.

Kaulfuß Susanne. 2012. Nach dem Sturm ist vor dem Sturm oder Wie senke ich das Sturmrisiko meines Waldes. <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/wind-schnee-und-eis/nach-dem-sturm-ist-vor-dem-sturm> (letzter Zugriff: 2.5.2021 10:00)

Leder, Bertram und von Wolff-Metternich Caroline. Kurzportrait Libanonzeder (*Cedrus libani*). 2018. <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/kurzportrait-libanonzeder> (letzter Zugriff 11.02.2021 09:00)

Mannsberger G. 2017. Österreichische Schutzwaldstrategie. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz. Heft 180 S. 14-22.

Markart et al., 2004. , pp. Enthalten in, Beiträge zu den Themen I, II und III ; [Red. u. Konzeption: Matjaž Mikoš ...], Klagenfurt, [2004], S. 89.

Markart G. et al. 2017. Waldwirkung auf die Abflussbildung bei unterschiedlichen Betrachtungsmaßstäben. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz. Heft 180 S. 100 -115.

Mendel, H.-G., 2000. Elemente des Wasserkreislaufs: eine kommentierte Bibliographie zur Abflußbildung 1. Aufl.,

Meusburger, K & Alewell, C, 2008. Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland). Natural hazards and earth system sciences, 8(3), pp.509–520.

Müller F. (2002). Modellierung von Sturm-, Schnee- und Rotfäulerisiko in Fichtenbestände in Fichtenbeständen auf Einzelbaumebene. Dissertation an der Studienfakultät für Forstwirtschaft und Ressourcenmanagement an der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, TU München.

San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A., European Atlas of Forest Tree Species. 2016. <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/european-atlas/> (letzter Zugriff 11.02.2021 09:00)

Schiechtl, Hugo Meinhard, und Roland Stern. Handbuch Für Naturnahen Wasserbau: Eine Anleitung Für Ingenieurbio-logische Bauweisen; 13 Tabellen. 1994.

Schiechtl, Hugo Meinhard, und Roland Stern. Handbuch Für Naturnahen Erdbau: Eine Anleitung Für Ingenieurbio-logische Bauweisen. 1992.

Von Storch, H., and F. W. Zwiers. "Statistical analysis in climatology, Cambridge." (1999).

Zorita, Eduardo, and Hans Von Storch. "The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods." *Journal of climate* 12.8 (1999): 2474-2489.

## 9 ANHANG

Ausdruck Vegetationsdatenbank