# PUBLIZIERBARER Endbericht Studien

## A) Projektdaten

| | |
|---|---|
| **Titel:** | DISTURBANCE – Regional Integrated Vulnerability Assessment for Austria |
| **Programm:** | ACRP – Austrian Climate Research Programme |
| **Koordinator/ Projekteinreicher:** | Universität für Bodenkultur, Wien; Department für Wald und Bodenwissenschaften |
| **Kontaktperson - Name:** | Ao.Univ.Prof. Dr DI Manfred J. Lexer |
| **Kontaktperson – Adresse:** | Peter-Jordan-Strasse 82, A-1190 Wien |
| **Kontaktperson – Telefon:** | ++43-(0)1–4654 4056 |
| **Kontaktperson E-Mail:** | mj.lexer@boku.ac.at |
| **Projekt- und Kooperationspartner (inkl. Bundesland):** | P1: Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)<br>P2: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik<br>Kooperationspartner: (ÖBf AG) |
| **Projektwebsite:** | Veröffentlichung der Projektoutputs (WP Ergebnisberichte) nach Approbation des Endberichts auf den Websites des Projektcoordinators vorgesehen (https://forschung.boku.ac.at) |
| **Schlagwörter:** | Stakeholder Participation, Vulnerability Assessment, Climate Impact Assessment, Integrated Assessment, Science-Stakeholder Interactions, Regional Assessment |
| **Projektgesamtkosten:** | € 273.338 |
| **Fördersumme:** | € 249.155 |
| **Klimafonds-Nr:** | K09AC0K00042 (Förderungsantrag A963686) |
| **Projektstart & Ende** | Projektstart: 01.04.2010; Projektende: 31.03.2013 (verlängert) |

# B) Projektübersicht

## 1. Executive Summary

Zu den wichtigsten Störungsfaktoren in Waldökosystemen im Ostalpenraum zählen Sturm und Borkenkäfer. Zwischen 15-25% betragen die Anteile von durch diese beiden Faktoren erzwungenen Nutzungen an der gesamten Einschlagsmenge in Österreich im langjährigen Durchschnitt. In einzelnen Jahren können die Zwangsnutzungen das Ausmaß eines Jahreseinschlags aufweisen. Bei beiden Störungsfaktoren wird davon ausgegangen, dass sie unter Klimawandelbedingungen häufiger und intensiver auftreten könnten. Dementsprechend gross ist das Interesse an Modellen, die es ermöglichen, vorausschauende Analysen zu Gefährdung von Waldbeständen und die davon abhängenden Ökosystemleistungen durchzuführen. Mit experimentellen Ansätzen wurden insbesondere im Falle von Fichtenborkenkäfern in den vergangenen Jahren grosse Fortschritte beim Verständnis von physiologischen Prozessschritten zu Entwicklung und Vermehrung der Insekten gemacht. Was allerdings weitgehend fehlt sind auf empirischer Basis erfolgte Analysen von wichtigen Einflussfaktoren auf auftretende Störungsereignisse auf operativer Ebene von Beständen (i.e. Unterabteilungen in der Forstplanung) und Abteilungen. Insbesondere die wechselseitigen Einflüssen verschiedener Störungsfaktoren, einschliesslich geplanter Holznutzungen, interessieren in diesem Zusammenhang.

Für das vorliegende DISTURBANCE Projekt standen dem Projektteam Daten der Österreichischen Bundesforste AG (ÖBf AG) zur Verfügung. Es handelte sich um Forsteinrichtungsdaten von zwei aufeinanderfolgenden Einrichtungsperioden aus vier Forstbetrieben sowie die Hiebsnachweisungen zu den betreffenden Revieren auf Bestandesebene. Insgesamt betrug die repräsentierte Waldfläche mehr als 40.000 ha. Die zur Verfügung stehenden Zeitreihen der Hiebsnachweisungen umfassten zwischen 12 und 16 Jahre. Neben den aus der Forsteinrichtung verfügbaren und in Jahresauflösung fortgeschriebenen Bestandesmerkmalen (u.a. Vorrat/ha, Baumartenanteile) zu den Unterabteilungen und den Nutzungsnachweisungen (Mengen, Grund für die Nutzung) wurden vom Projektpartner ZAMG Zeitreihen des historischen Klimas (Minimum-, Maximum- und Mitteltemperaturen, Niederschlagsmengen, Globalstrahlung, Dampfdruckdefizit der Atmosphäre sowie Indikatoren für Windgeschwindigkeitsmaxima auf Tages- bzw. Monatsbasis für alle Unterabteilungen in den vier Projektregionen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurde an der Weiterentwicklung von Regionalisierungsansätzen für Klimawandelszenarios geforscht und schliesslich ein transientes Klimaänderungsszenario für den Zeitraum 2010-2100 räumlich explizit in 100x100m Auflösung für die vier Forstbetriebe generiert.

Mit dieser Datenbasis wurden binäre generalsierte gemischte Modelle (Generalized Linear Mixed Models; GLMM) für die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit von Sturm- oder Borkenkäferstörungen und lineare gemischte Modelle (Linear Mixed Models; LMM) für die Erklärung der Schadensintensität (erzwungene Nutzung in $m^3$/ha) erstellt. Auf

informationstheoretischen Überlegungen basierende Indikatoren wurden eingesetzt, um aus einer Vielzahl an optionalen Modellen die insgesamt besten Modellfunktionen auszuwählen.

Sowohl für Sturm- als auch Borkenkäferstörungen konnten aussagekräftige Modelle erstellt werden. Die wichtigsten Prädiktoren in beiden Fällen waren der Vorrat (der auch ein Indikator für das bestandesalter ist) sowie vorausgegangene Störungen. Klimaparameter erwiesen sich ebenfalls als signifikante Einflussgrössen auf Auftreten und Intensität von Schäden. Als weiterer Entwicklungsschritt wurden die gefundenen Modellgleichungen in das dynamische Waldökosystemmodell PICUS integriert und in einem umfassenden Simulationsexperiment in bezug auf zeitliche Verhaltensmuster von Störungsregimen über 90 Jahre unter aktuellem Klima und einem Klimaänderungsszenario untersucht. Diese Experimnente deuteten daruf hin, dass für österreichische Bergwälder unter Klimawandelbedingungen erhöhte Holzzuwächse zu erwarten sind, aber ebenso intensiviertes Störungsgeschehen. Damit wuden bestehende Erkenntnisse bestätigt und darüber hinaus zusätzliche Erkenntnisse zu wechselseitigen Einflüssen von Störungsfaktoren und deren langfristigen Auswirkungen auf die Waldentwicklung gewonnen.

Neben den Modellgleichungen zu Sturm- und Borkenkäferschäden steht als Ergebnis des DISTURBANCE Projektes nunmehr ein um interagierende Störungsmodule erweiteres dynamisches Waldökosystemmodell für Analysen zu Anpassungsoptionen in der Waldbewirtschaftung zur Verfügung.

# 2. Hintergrund und Zielsetzung

## 2.1 Motivation für das Projekt

Natürliche Störungsregime aufgrund von Sturm und Borkenkäfern (Scolitidae sp.) sind wesentliche Einflussgrössen in der Entwicklung von Waldökosystemen bzw. massgeblich in deren Bewirtschaftung. Durch plötzliche zeitlich-räumlich bestimmte Mortalitätsereignisse in Waldbaumpopulationen kommt es zu bestimmenden Einflüssen auf Artenzusammensetzung, Struktur und ökologische Prozesse in Waldökosystemen. Davon wesentlich abhängig sind gesellschaftlich nachgefragte Ökosystemprodukte und -leistungen (ES). Traditionell war ein bestimmendes Management Paradigma der Versuch, Störungsregime zu kontrollieren (i. A. zu unterdrücken). Siehe dazu einen Überblick in Seidl et al. (2010). Die Statistiken zu Störungsereignissen in europäischen Wäldern belegen, dass dieser Ansatz im Wesentlichen nicht erfolgreich war. Durchschnittliche Anteile an durch Störungen erzwungenen Nutzungen an den Jahreseinschlägen zwischen 15 - 25% belegen dies deutlich. In einzelnen Jahren kann dieser Anteil bis zu 200% der geplanten Nutzungen ausmachen (Anonymous 2009; 2011). Szenarios die von wärmerem und trockenerem Klima ausgehen, lassen in Zukunft ein intensiviertes Störungsgeschehen erwarten.

In der Literatur sind seit jeher Beschreibungen von meist katastrophischen Störungsereignissen zu finden. Seltener sind Beiträge, die langjährige Zeitreihen zu Störungsgeschehen auf niedrigerem Intensitätsniveau zur Grundlage haben. Ein wesentlicher Grund ist das Fehlen von empirischen Datenreihen ausreichender Qualität. Grossrauminventuren sind i.A. wegen geringer Plotgrössen und langer Erhebungsintervalle nicht gut geeignet, Baummortalität aufgrund von Störungseinfluss zu erheben. Einzelne Dauerversuchsanlagen aus der forstlichen Forschung vermögen die seltenen Ereignisse nicht hinlänglich zu repräsentieren. Potentiell tauglich als Datengrundlage wären Planungswerke der Forstbetriebe bzw. die Nachweisungen der durchgeführten Nutzungen, soferne diese Daten operativ sinnvollen Planungs- bzw. Bewirtschaftungseinheiten (Unterabteilungen, Abteilungen) zugeordnet werden können.

Ebenfalls ein hochrelevantes Thema ist die Integration von klimasensitiven Störungsmodulen in dynamische Waldmodelle als Voraussetzung, realistische Waldbewirtschaftungsstrategien in Simulationsexperimenten zu analysieren. Das Hybridmodell PICUS v1.4 (u.a. Lexer und Hönninger 2001, Seidl et al. 2005) enthält bereits ein Modul, das Mortalität von Picea abies aufgrund von Borkenkäferbefall schätzt. Die Datengrundlage dieses Störungsmodules war jedoch relativ klein und lokal begrenzt. Die Verbesserung solcher Module von Waldökosystemmodellen ist eine weitere hochrelevante Perspektive.

## 2.2 Zielsetzungen

Die allgemeine Zielsetzung des DISTURBANCE Projektes war ein verbessertes Verständnis der natürlichen Störungsregime durch Sturm und Borkenkäfer in bewirtschafteten Wäldern in Österreich zu gewinnen.

Der Ansatz in DISTURBANCE war ein zweifacher:

(A) Durch statistische Analyse eines grossen empirischen Datensatzes relevante Einflussgrössen auf Auftreten und Intensität von Störungsereignissen auf der operativen Ebene von Waldbeständen zu identifizieren, und

(B) Nach Integration von gefundenen empirischen Zusammenhängen zwischen Bestandes-, Standorts- und Klimavariablen und Störungen und damit verbundenen Zwangsnutzungen in ein dynamisches Waldökosystemmodell zeitliche Auswirkungen von interagierenden Störungefaktoren auf die Waldentwicklung in Simulationsexperimenten zu analysieren.

Voraussetzung zur Umsetzung dieser Ziele war die Schaffung einer empirischen Datenbasis. Dies umfasste insbesondere:

(1) Die Übernahme von Forsteinrichtungsdaten (inkl. Geodateninformation) von den Öbf AG und Aufbau einer konsistenten Datenbank zu Waldzustand und erfolgten Nutzungen in vier Forstbetrieben über zwei Forsteinrichtungsperioden

(2) Die Interpolation (bzw. Extrapolation) von beobachteten Zeitreihen von täglichen Klimaparametern (Temperaturwerte, Niederschläge, Globalstrahlung, Dampfdruckdefizit, Windgeschwindigkeitsindikatoren) auf einem 100x100m Raster für die vier Forstbetriebe

(3) Die Herstellung eines regionalisierten transienten Klimawandelszenarios für die o.g. Klimaparameter bis 2100 in Tagesauflösung zur Durchführung der simulationsbasierten Analysen

(4) Die Berechnung von Klimaindices (u.a. Wasserbilanzen, Borkenkäfergenerationen) für alle Unterabteilungen in der Geodatenbank.

# 3. Projektinhalte und Ergebnisse

## 3.1 Datenbasis (Arbeitspaket AP2)

Sämtliche statistischen Analysen zur Modellentwicklung in DISTURBANCE bezogen sich auf Daten die räumlich vier Regionen in Österreich zuzuordnen sind. Diese vier Regionen werden durch Forstbetriebe der ÖBf AG repräsentiert. Die vier regionalen Forstbetriebe der ÖBf AG die gemeinsam mit den Partnern von der ÖBf AG ausgewählt wurden, sind Traun-Innviertel, Steyrtal, Waldviertel-Voralpen and Steiermark (Abbildung 3-1). Die ausgewählten Reviere dieser vier Betriebe umfassten insgesamt mehr als 40000 ha Waldfläche.

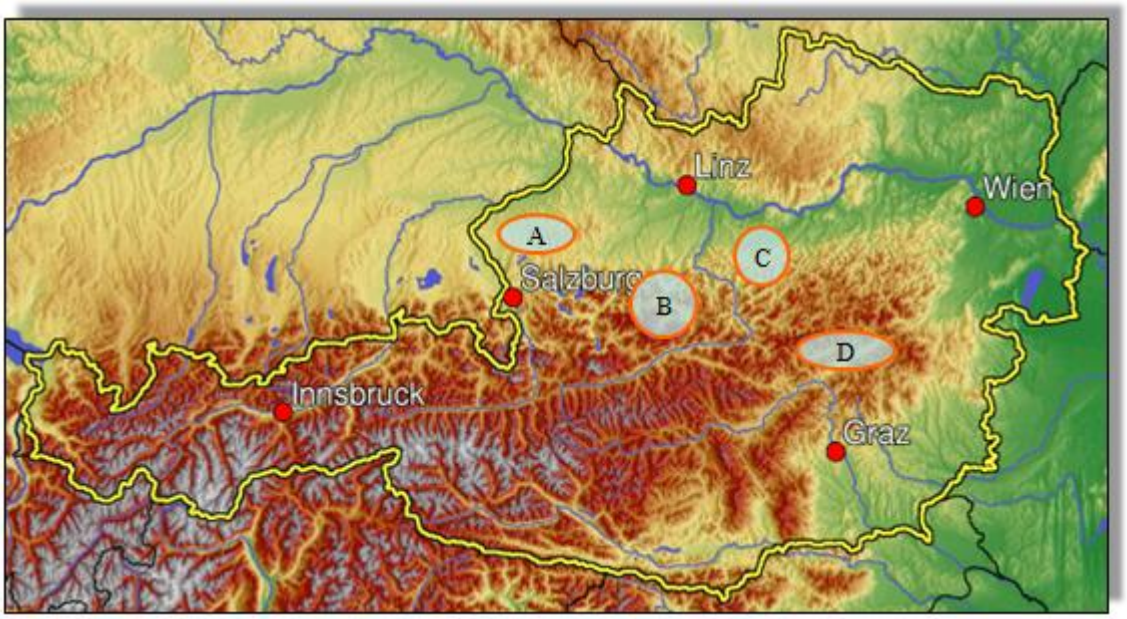



**Abbildung 3-1:** Lage der vier ÖBf AG Forstbetriebe von denen ausgewählte Reviere in der Datenbasis repräsentiert waren. (A – Traun-Innviertel, B – Steyrtal, C – Waldviertel-Voralpen, D – Steiermark).

Fichte (Picea abies) ist die bei weitem häufigste Baumart in allen Revieren. Im FB Steyrtal umfasst deren Anteil immerhin noch immer 54%, im FB Steiermark ist der Fichtenanteil it 80% am höchsten. Die Seehöhenverteilung der Bestände in der Datenbasis reicht von 400m a.s.l. (submontan) bis auf ca. 1600m a.s.l. (hochmontane Vegetationsstufe). Die Altersklassenverteilung ist in allen Revieren in etwa ausgeglichen und umfasst Bestände bis etwa 140 Jahre.

Datenverdichtung und –bearbeitung hatte zum Ziel, den Informationsgehaltzu diesen vier Regionen zu erhöhen. Auch die Aktivitäten des Partners ZAMG fokussierten sich auf diese vier Regionen.

Zwei aufeinanderfolgende Forsteinrichtungsperioden über 10 Jahre wurden als Basiselement der Walddatenbank verwendet. Diese 10-Jahresperioden waren nicht ident für alle Reviere. Die zweite Periode begann für die meisten Reviere im Jahr 2003 und endete in 2010 (Jahr des Projektbeginns von DISTURBANCE). Für jedes Jahr standen die Nutzungsnachweise

auf der Ebene von Unterabteilungen zur Verfügung. Die Nutzungsnachweise gaben Auskunft über das jahr einer Nutzung, die genutzte Holzmenge nach Baumarten und den grund der Nutzung (z.B. geplante Holzernte, erzwungene Nutzung durch Störungsereignis sowie die Art der Störung). Erschwerend wirkte der Umstand, dass die räumliche Einteilung der Unterabteilungen in den beiden Planungsperioden beträchtlichen Änderungen unterworfen war. Dies bedeutete, dass die beiden Planungsperioden nicht gemeinsam als durchgehende Zeitreihe verwendet werden konnten.

Diese Rohdaten wurden bearbeitet um ein analysefähiges Datenset zu erhalten. Die ersten vier Jahre der 10-Jahresperiode wurden verwendet um vorangegangene Nutzungen in die Analysen als potentielle Prädiktoren einfliessen zu lassen („legacy effects“). Effektiv standen so also maximal 6 Jahre einer Forsteinrichtungsperiode für die Zeitreihenanalyse zur Verfügung. Für jedes dieser Jahre wurden nun die Bestandesmerkmale beginnend mit dem ersten Jahr der Planungsperiode mit Hilfe von Ertragstafeln „fortgeschrieben“. Der Fichtenanteil wurde dabei konstant gehalten, da nicht in allen Fällen die Baumartenverteilung in den Nutzungsnachweisen enthalten war.

Historische Klimazeitreihen für die entsprechenden Jahre der Nutzungsdaten wurden mittels Geoinformation von den 100x100m Pixeln des Klimadatensatzes auf die Unterabteilungen einer Abteilung transferiert. Abschnitt 3.2 beschreibt die Generierung der Klimainformation.

Gefrorener Boden während der Wintermonate wurde als stabilisierend gegen Wind angenommen (Paul et al. 2012). Die Anzahl an potentiellen Borkenkäfergenerationen pro Vegetationsperiode wurde nach Lexer und Hönninger (2001) berechnet und als Prädiktorvariable für alle Unterabteilungen in den Analysen vorgehalten. Bestände mit Alter <30 Jahre wurden in den statistischen Analysen nicht berücksichtigt, da deren Volumina nur mit grossen Unsicherheiten extrapoliert werden können, und weil Jungbestände weder gegenüber Wind noch gegenüber Borkenkäfern anfällig sind. „Ausreisser“ in bezug auf baumarten wie etwa Pappelbestände in submontanen Lagen wurden ebenfalls von den Analysen ausgeschlossen.

### *3.2 Klimadaten (Arbeitspaket 3)*

Um den zeitlich variablen Zusammenhang zwischen Klima, der Veränderung der Nutzungen wegen Störungsereignissen zu untersuchen war es erforderlich, die Klimavariabilität in Raum und Zeit zu modellieren. Das Ziel des Partners ZAMG war die Beschreibung des (i) historischen Klimas und (ii) die Entwicklung von regionalisierten transienten Klimaänderungsszenarios bis zum Ende des 21. Jahrhunderts.

Insgesamt können bei der Bearbeitung vier Aktivitätsschwerpunkte unterschieden werden: (1) Generierung der Klimainformation für die Vergangenheit in der gewünschten raum-zeitlichen Auflösung (Raum: 100x100m Raster für die vier ausgewählten Forstbetriebe der Österreichischen Bundesforste AG, zusätzlich wenn möglich dieselbe Information für das Erhebungsnetz der Österreichischen Waldinventur 4x4km; Zeit: Periode 1980-2010 in

täglicher Auflösung; bei den Windparametern wurden spezielle Vorgangsweisen notwendig (siehe dazu Abschnitt 5 und Tabelle 3-1).

(2) Beschaffung von Reanalysedaten über Europa. Reanalysen sind aus Messwerten aggregierte Felder (z.B. Bodenluftdruck, Temperatur in verschiedenen Höhen) die auf einem groben Gitternetz (z.B. 200 km horizontale Maschenweite und 20 vertikale Flächen) in der Atmosphäre Werte haben. Für jeden Tag in der Vergangenheit an dem Reanalysedaten vorliegen ist also der Zustand der Atmosphäre grob aufgelöst bekannt.

(3) Beschaffung und Analyse von grobskaligen Klimaänderungsszenarien. Es ist heutzutage state-of-the-art nicht nur eine sogenannte ‚Projektion' in die Analyse von Auswirkungen von Klimaänderungen einfließen zu lassen, sondern mehrere (ein sogenanntes Ensemble). Das ist erst seit einigen Jahren möglich, da die Computer (auch jene an den größten Klimarechenzentren der Welt) früher nicht die entsprechende Leistung hatten. In DISTURBANCE haben wir zwei Klimaänderungsszenarien betrachtet. Hier haben wir das sogenannte A1B und das B1 Entwicklungsszenario betrachtet. Für jedes Szenario haben wir drei Projektionen berücksichtigt (drei Member Ensembles).

(4) Mit einer Analogmethode, die die historischen Reanalysefelder mit den Feldern der Projektionen vergleicht, haben wir dann die lokalskaligen Klimaänderungsszenarien erzeugt. Also, Minimum-, Maximum- und Mitteltemperaturen, Niederschlagsmengen, Globalstrahlung, Dampfdruckdefizit der Atmosphäre sowie Indikatoren für Windgeschwindigkeitsmaxima in täglicher Auflösung bis zum Ende des Jahrhunderts an den ÖWI-Gitterpunkten und in 100m Auflösung für die Flächen der Forstbetriebe.

**Tabelle 3-1:** Klimaparameter für die Erstellung der Störungsmodelle.

| Klimaparameter | Zeitschritt | Räumliche Auflösung | Periode | Daten Basis |
|---|---|---|---|---|
| **Temperatur-Mittel** | täglich | ÖWI-Grid (Ö); 100m Grid (FB) | 1980 – 2010 | interpoliert vom Messnetz (ZAMG) |
| **Temperatur-Maxima** | täglich | ÖWI-Grid (Ö); 100m Grid (FB) | 1980 – 2010 | interpoliert vom Messnetz (ZAMG) |
| **Temperatur-Minima** | täglich | ÖWI-Grid (Ö); 100m Grid (FB) | 1980 – 2010 | interpoliert vom Messnetz (ZAMG) |
| **Dampfdruck-Defizit** | täglich | ÖWI-Grid (Ö); 100m Grid (FB) | 1980 – 2010 | interpoliert vom Messnetz (ZAMG) |
| **Niederschlags-Summe** | täglich | ÖWI-Grid (Ö); 100m Grid (FB) | 1980 – 2006 | extrahiert aus StartClim (Schöner et al. 2007) bis 2006 |
| | | | 2007 – 2010 | 2007-2010 extrahiert und interpoliert aus INCA |
| **Globalstrahlung auf reale Fläche** | täglich | ÖWI-Grid (Ö); 100m Grid (FB) | 1980 – 2010 | berechnet und interpoliert vom Messnetz (ZAMG) und STRAHLGRID Strahlungsmodell (mit Topographie 100 m) |
| **Wind-Indikatoren** | täglich, monatlich, saisonal | ÖWI-Grid (Ö); 100m Grid (FB) | 1980 – 2002 | COSMO-CLM mit ERA40 Reanalysen (Uppala et al. 2004) |
| | | | 2003 – 2010 | extrahiert aus INCA |

### 3.2.1 Historische Klimazeitreihen

Die Generierung eines hoch aufgelösten Klimadatensatzes mit 7 Elementen für die Vergangenheit (siehe Tabelle 3-1) wurde durch die Durchführung verschiedener Maßnahmen erreicht. Einerseits wurde das Beobachtungsnetz der ZAMG herangezogen sowie bereits an der ZAMG generierte Datensätze (StartClim Schöner et al.2003, reclip:more Schöner et al. 2007 und INCA Daten ab 2003 - Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis, Haiden et al. 2009) um mit statistischen Verfahren den Verlauf der oben genannten Klimaelemente auf Tagesbasis von 1980 bis 2010 in den beiden räumlichen Auflösungen zu rechnen. Andererseits wurde mit einem Klimamodell (COSMO-CLM, Böhm et al. 2006), das für sehr begrenzte geographische Ausschnitte des Globus (z.B. Greater Alpine Region, GAR, Auer et al. 2007) hoch aufgelöste Ergebnisse produziert, Simulationen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Simulationen beschreiben die Klimaentwicklung für viele Klimaelemente sehr umfassend und detailliert. Klimamodelle bestimmen mit Hilfe der physikalischen Gleichungen des Klimasystems, Parametrisierungen usw. hochaufgelöst physikalisch konsistente Zustände der z.B. Atmosphäre innerhalb einer Region an deren Grenzen sie Daten über den Zustand z.B. der Atmosphäre bekommen. Diese Informationen am Rand des Gebietes sind in der Regel grob aufgelöst und stammen oft von Reanalysen oder globalen Klimamodellen.

Die Temperaturparameter wurden für die gesamte historische Periode durch Interpolation aus Beobachtungsdaten des ZAMG Stationsnetzwerkes (siehe Abbildung 3-2) gewonnen. Das gilt auch für das Dampfdruck Defizit, allerdings ist dabei vor der Interpolation noch eine Berechnung geschaltet, die aus Temperatur und relativer Feuchte das Dampfdruck Defizit ermittelt.

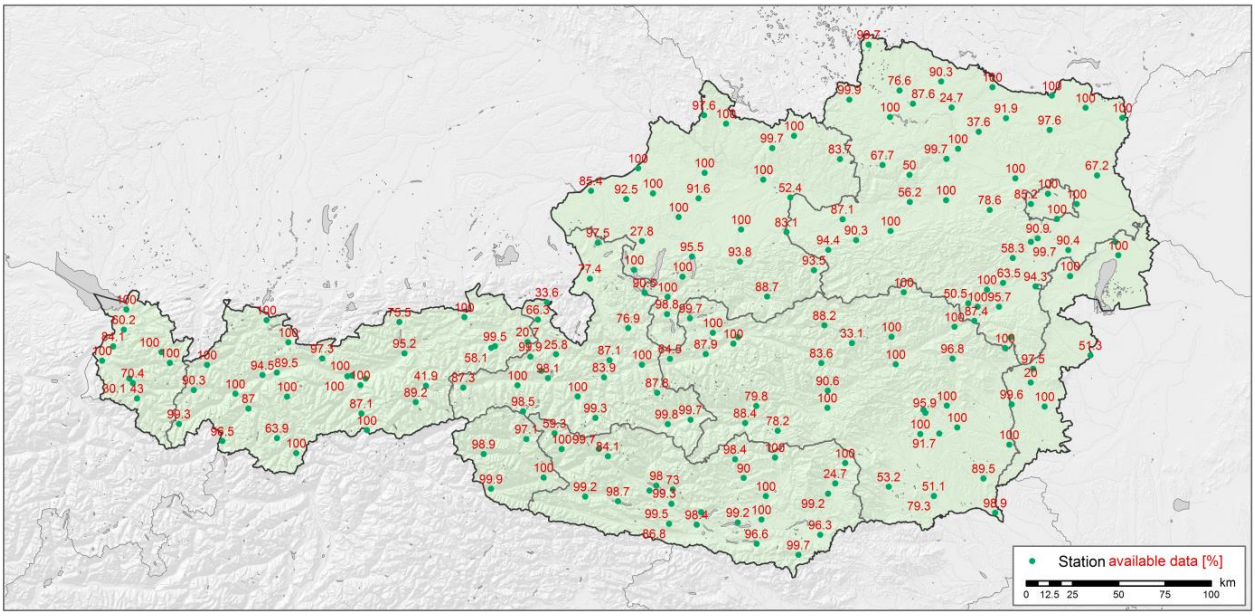



**Abbildung 3-2**: *Das zur Berechnung und Interpolation der Tageswerte verwendete Stationsnetz der ZAMG. Grüne Punkte markieren die Stationsstandorte und die roten Zahlen zeigen den Prozentsatz der verfügbaren Daten an, die für die Interpolation verwendet worden sind.*

Der Niederschlag wurde aus einem in Schöner et al. 2007 beschriebenen gegitterten Datensatz gewonnen sowie aus Daten, die von einem an der ZAMG betriebenen Modell (INCA - Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) herrühren. Beim Niederschlag war die Verwendung von zwei Datenquellen notwendig, da der in Schöner et al. (2007) beschriebene Datensatz 2006 endet und der INCA Datensatz (ab 2003) die ersten Dekaden nicht abdeckt. So konnte die gesamte Periode abgedeckt werden. Tabelle 3-3 beschreibt die Güte der Temperaturinterpolationen für die drei Regionen der Forstbetriebe und die Interpolation des Dampfdruckdefizits evaluiert an allen Stationen in Österreich.

**Tabelle 3-2:** Güte der Temperaturinterpolation in DISTURBANCE.

| Klimadaten | | Temperaturmittel | | | Temperaturminima | | | Temperaturmaxima | | | Dampfdruckdefizit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | REG1 | REG2 | REG3 | REG1 | REG2 | REG3 | REG1 | REG2 | REG3 | Österreich |
| Region | | Forstbetriebe | | | Forstbetriebe | | | Forstbetriebe | | | Österreich |
| Jahr | RMSE | 0,97 | 1,02 | 1 | 1,18 | 1,28 | 1,27 | 1,35 | 1,21 | 1,29 | 0,2693 |
| | BIAS | -0,02 | -0,03 | -0,06 | -0,01 | -0,03 | -0,05 | -0,02 | -0,03 | -0,01 | -0,0019 |
| | MAE | 0,87 | 0,82 | 0,82 | 1,02 | 1,08 | 1,12 | 1,06 | 0,97 | 1 | 0,1363 |
| Winter | RMSE | 1,11 | 1,27 | 1,23 | 1,38 | 1,53 | 1,53 | 1,57 | 1,37 | 1,52 | 0,2711 |
| | BIAS | -0,02 | -0,04 | -0,06 | -0,01 | -0,06 | -0,06 | -0,05 | -0,03 | -0,03 | -0,0020 |
| | MAE | 0,93 | 1,02 | 1,04 | 1,14 | 1,26 | 1,28 | 1,26 | 1,12 | 1,23 | 0,1363 |
| Frühling | RMSE | 1,06 | 0,88 | 0,84 | 1,14 | 1,21 | 1,17 | 1,19 | 1,08 | 1,06 | 0,2708 |
| | BIAS | -0,02 | -0,02 | -0,07 | -0,01 | -0,02 | -0,04 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,0019 |
| | MAE | 0,87 | 0,75 | 0,74 | 0,98 | 1,05 | 1,07 | 0,99 | 0,9 | 0,87 | 0,1370 |
| Sommer | RMSE | 0,75 | 0,78 | 0,73 | 0,99 | 1,04 | 1,04 | 1,08 | 0,98 | 0,97 | 0,2717 |
| | BIAS | -0,01 | -0,02 | -0,06 | 0 | -0,02 | -0,04 | 0 | -0,01 | 0 | -0,0019 |
| | MAE | 0,87 | 0,68 | 0,67 | 0,94 | 0,96 | 1,03 | 0,9 | 0,82 | 0,82 | 0,1378 |
| Herbst | RMSE | 0,94 | 1,01 | 1 | 1,14 | 1,24 | 1,24 | 1,41 | 1,26 | 1,35 | 0,2714 |
| | BIAS | -0,02 | -0,02 | -0,05 | -0,01 | -0,03 | -0,05 | -0,03 | -0,03 | -0,01 | -0,0019 |
| | MAE | 0,81 | 0,81 | 0,83 | 1,01 | 1,07 | 1,08 | 1,13 | 1,02 | 1,09 | 0,1378 |

Die Tagessummen der Globalstrahlung wurden aus ZAMG Beobachtungen und dem STRAHLGRID Modell (Olefs and Schöner 2012) generiert. Bodennahe Werte der Globalstrahlung wurden für ganz Österreich auf einem 100 m Gitter, in stündlicher Auflösung für die Periode 1980 bis 2011 berechnet. Während der ersten Dekaden wurde, wegen der geringen Anzahl an Stationen die Globalstrahlung gemessen haben, diese aus der Sonnenscheindauer mittels der Ångstrom Formel (Ångstrom, 1924) bestimmt und anschließend nach Bruck et al. (1985) oder Neuwirth (1983) in den direkten und diffusen Anteil aufgespalten. Dazu wurden Messungen der diffusen und globalen Strahlung wie auch die der Sonnenscheindauer verwendet. Um den Effekt der Bewölkung zu berücksichtigen, wurden Differenzfelder für die direkte und diffuse Komponente zwischen clear sky Werten (die mit dem Modell STRAHLGRID von Olefs und Schöner (2012) ermittelt worden sind) und Bodenmessungen bestimmt. Daraus wurde dann die Globalstrahlung für die tatsächliche Topographie (die reale Fläche) an den FBVA Punkten über ganz Österreich und für die Forstbetriebe in 100 m Auflösung extrahiert. Die Abbildung 3-3 zeigt als Beispiel die Globalstrahlung am 12. März 1980 für die horizontale Fläche und die reale Fläche.

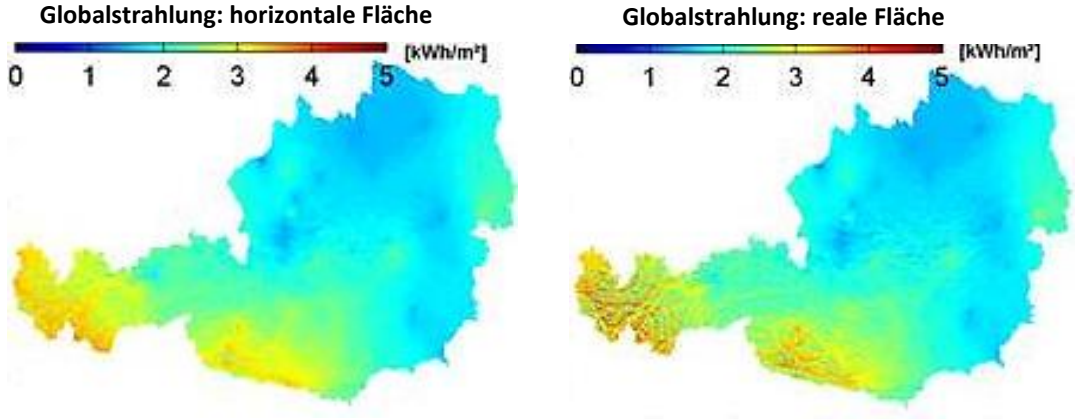



**Abbildung 3-3**: *Globalstrahlung für die horizontale (links) und reale Fläche für die komplexe Topographie Österreichs am Beispiel des 12 März 1980.*

Neben den oben beschriebenen Verfahren wurde ein regionales Klimamodell verwendet um Winddaten zu berechnen.

Es zeigt sich aber, dass regionale Klimamodelle insbesondere im Alpenraum Probleme haben die beobachteten Temperaturen und Niederschlagssummen realistisch wiederzugeben. Das Problem ist bekannt und wird als ‚clod and wet bias' beschrieben. Das bedeutet, die Klimamodellergebnisse sind im Vergleich zu den Beobachtungen vor allem im Winter zu kalt und weisen tendenziell das ganze Jahr über zu viel Niederschlag auf (Haslinger et al. 2012). Das Problem ist, dass die Abweichungen in der Größenordnung des zu erwartenden Klimawandels liegen und daher schlecht mit den Waldinventurdaten der Beobachtungsperiode in Einklang zu bringen sind. Daher wurden die in (A) beschriebenen Verfahren verwendet, um die für die Waldökosystemmodellierung erforderlichen Klimaelemente bereitzustellen. Für den Wind aber gibt es kein geeignetes Verfahren aus Stationswerten repräsentative Gitterwerte zu generieren. Das liegt daran, dass die Windmessungen an Stationen nur für die Stationen repräsentativ sind, nicht aber für die größere Umgebung der Station. Das Windfeld ist hochgradig variabel. Darüber hinaus sind die Messreihen in sich inhomogen, da sich die Veränderung der Umgebung (z.B. das Wachsen von Bäumen) auf die Beobachtung auswirkt. Deswegen wurde für die benötigte Windinformation COSMO-CLM verwendet.

Abbildung 3-4 zeigt einen rein qualitativen Vergleich der räumlichen Verteilung von starken Windereignissen über Österreich und angrenzende Gebiete. Dargestellt ist die Anzahl von Tagen bei denen die maximale Windgeschwindigkeit größer als 10.5 m/s war. Das linke Bild ist das Ergebnis von COSMO-CLM für die Periode 1980-2002, das rechte Bild zeigt das INCA-Ergebnis für 2003 bis 2010. Wie oben beschrieben, macht INCA aus allen vorliegenden Messwerten Felder meteorologischer Elemente mit einer räumlichen Auflösung von 1 km. Das Ergebnis von INCA sollte zu jedem Zeitpunkt sehr nahe an der beobachteten Realität liegen. So erstellte Felder liegen ab 2003 vor. Das bedeutet die Ergebnisse

beziehen sich auf unterschiedliche Perioden. Es gibt noch einen Unterschied: das COSMO-CLM Gitter hat eine Auflösung von 4 km während INCA Daten auf einem 1 km Gitter erzeugt. Das kann man an der verschieden guten räumlichen Auflösung der Felder sehen.

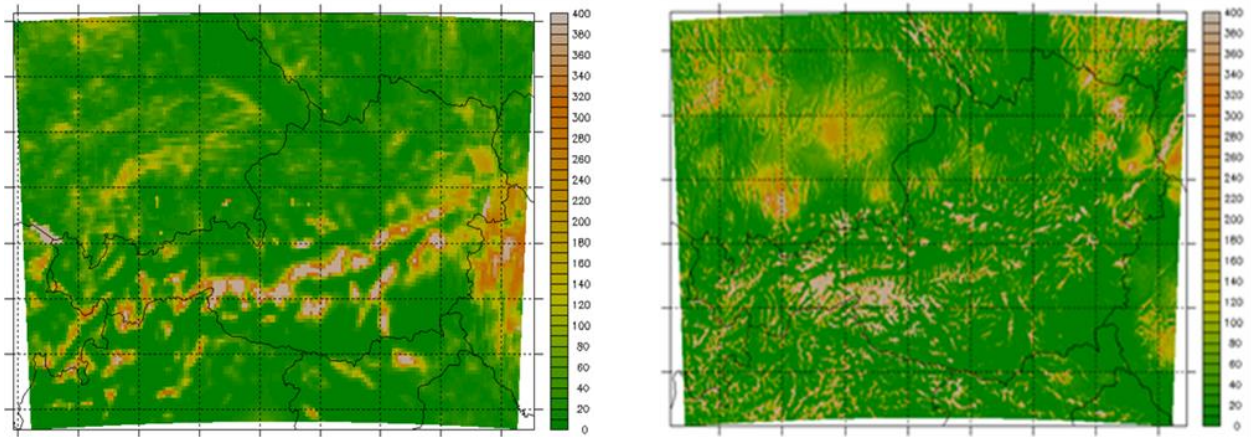


**Abbildung 3-4**: *Anzahl der Tage mit maximaler Windgeschwindigkeit größer als 10.5 m/s; links: COSMO-CLM (1980-2002), rechts: INCA (2003-2010).*

Trotz der deutlichen Unterschiede (Perioden und Auflösung) können Übereinstimmungen gefunden werden. COSMO-CLM simuliert hohe Windgeschwindigkeiten vermehrt entlang des Alpenbogens und im Südosten des gezeigten geographischen Ausschnitts. Das zeigen auch die mit INCA bearbeiteten Beobachtungen. Insgesamt unterschätzt COSMO-CLM die Anzahl von Tagen. Das kann auf die unterschiedliche Definition von instantanen Windgeschwindigkeiten zurückzuführen sein, oder auf die unterschiedlich stark aufgelöste Topographie, die verwendet wird. Die österreichischen Alpen sind in einer, stellen sich in diesen Auflösungen sehr unterschiedlich dar.

Die COSMO-CLM Simulationen wurden auch direkt mit den Wind-Beobachtungswerten einer Reihe an Stationen verglichen. Insgesamt kam man zu dem Schluss, dass die Tagesmaximalwerte der Windgeschwindigkeit eine geeignete Wahl für die Untersuchung von Windschäden in Waldbeständen darstellen.

Im ausführlichen, englischsprachigen Endbericht kann die umfassende Analyse aller verwendeten Verfahren nachgelesen werden, die eingesetzt wurden um die erforderlichen Klimaparameter auf die gewünschte, für die Waldökosystemmodellierung notwendige Form zu bringen.

### 3.2.2 Klimaänderungsszenarios

Die Reanalysedaten über Europa wurden vom Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage heruntergeladen und für die weitere Verarbeitung aufbereitet:

(http://www.ecmwf.int/products/data/archive/descriptions/e4/)

Der Datensatz wird als ERA40 (Uppala et al. 2004) bezeichnet und liegt für die Periode 1958 bis 2002 in einer Auflösung von 2.5x2.5 Grad weltweit vor. Für die Anwendung der Analogmethode wurde auch der NCEP/NCAR Reanalysedatensatz verwendet

(http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml).

Er liegt in derselben Auflösung vor, startet 1948 und wird laufend aktuell gehalten.

Reanalysen sind aus Messwerten aggregierte Felder (z.B. Bodenluftdruck, Temperatur in verschiedenen Höhen), die auf einem groben Gitternetz (z.B. 200 km horizontale Maschenweite und 20 vertikale Flächen) in der Atmosphäre Werte haben. Für jeden Tag in der Vergangenheit an dem Reanalysedaten vorliegen ist also der Zustand der Atmosphäre grob aufgelöst bekannt.

Will man abschätzen welche Entwicklung das regionalskalige Klima (etwa jenes in Österreich) im Laufe der nächsten 100 Jahre nimmt, muss man muss man mögliche Entwicklungspfade der Menschheit (Bevölkerungswachstum, Energieversorgung, gesellschaftspolitischer Verlauf, ideologische Orientierung, usw.) voraussetzen. Aus diesen ergibt sich der Treibhausgehalt der Atmosphäre mit der Zeit verändert. Das modifiziert den Strahlungshaushalt der Erde und in weiterer Folge die Temperaturen um den Globus.

Die verschiedenen Treibhausgaskonzentrationen, die sich aus den sozio-ökonomischen Pfaden ergeben, werden als Antriebsdaten für globale Klimamodelle verwendet. Globale Klimamodelle (GCMs) sind Computermodelle, die die physikalischen Prozesse in und zwischen den Komponenten (Atmosphäre, Ozean, usw.) des Klimasystems mathematisch annähern und so die Reaktion der Erde auf verschiedene sozio-ökonomische Szenarien simulieren. Die Ergebnisse solcher globaler Klimamodellrechnungen sind sogenannte Projektionen. Für DISTURBANCE wurden globale Klimaprojektionen verwendet, die am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ, www.dkrz.de) mit dem globalen Klimamodell ECHAM5 durchgeführt worden sind und der Klimaforschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt werden.

Wenn man verschiedene GCMs mit dem gleichen Szenario antreibt kommen voneinander abweichende Projektionen zustande. Das gilt ebenso für ein und dasselbe GCM, wenn man die Anfangsbedingungen, von denen man aus die Simulationen startet variiert. Dafür gibt es eine Reihe an Gründen. Einer ist, dass verschiedene GCMs manche Prozesse im Klimasystem unterschiedlich annähern. Ein anderer hängt damit zusammen, dass die Genauigkeit mit der Lösungen von physikalischen Gleichungen gewonnen werden, limitiert ist und sich Approximationsfehler fortpflanzen. Daraus folgt, dass es notwendig ist für ein betrachtetes sozio-ökonomische Szenario mehrere GCM Läufe zu berücksichtigen. Mehrere Projektionen ergeben ein robusteres Bild als nur eine, von der man nicht weiß, ob sie ein Ausreißer ist oder nahe dem Median liegt. Mehrere Projektionen bilden ein Ensemble.

GCM Projektionen sind auf globaler Skala und Kontinentaler Skala interpretierbar, nicht aber für geographisch kleinere Gebiete. Will man Klimaänderungsszenaren (Projektionen), die auf der regionalen Skala interpretierbar sein sollen, muss man sogenannte Downscalingverfahren (z.B. von Storch et al. 1993) auf die GCM Projektionen anwenden.

In DISTURBANCE haben wir zwei sozio-ökonomische Szenarien (A1B, B1) verwendet und für jedes ein Ensemble aus drei Projektionen. Als Downscalingverfahren haben wir eine Analogmethode verwendet. Eine Analyse der mit der Analogmethode generierten regionalisierten Klimaänderungsszenarien zeigte allerdings keine signifikanten Trends in den Temperaturparametern. Die lokalskaligen Klimaänderungsszenarien waren damit für DISTURBANCE nicht direkt verwendbar. Als Ersatz für die Experimente die in Abschnitt 3.3.3 beschrieben werden, wurde daher ein beim Partner BOKU aus Vorprojekten vorhandenes Klimaänderungsszenario verwendet (siehe Abb. 3-5).

## 3.3 Modelle für Wind- und Borkenkäferstörungen (Arbeitspaket 4)

Mit dieser Datenbasis wurden binäre generalsierte gemischte Modelle (Generalized Linear Mixed Models; GLMM) für die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit von Sturm- oder Borkenkäferstörungen und lineare gemischte Modelle (Linear Mixed Models; LMM) für die Erklärung der Schadensintensität (erzwungene Nutzung in $m^3$/ha) erstellt.

### 3.3.1 Modelle für das Auftreten eines Störungsereignisses

Alle Koeffizienten in den GLMMs weisen positive Vorzeichen auf und weisen somit auf zunehmende Wahrscheinlichkeit eines Störungsereignisses mit zunehmendem Indikatorwert hin. Ausnahmen stellten die Prädiktoren „Bodenfrost“ für Windstörungen und „Hangneigung“ für Borkenkäferstörungen dar.

Werte für den Goodness-of-Fit Indikator AUC (Area-Under-Curve) deuteten an, dass die entwickelten Modellgleichungen akzeptable Anteile der Variation in den Daten erklären konnten. Partielle Residualplots zeigten zudem an, dass die unterstellten linearen Zusammenhänge als valide angesehen werden können.

In fast allen Modellen erwiesen sich vorangegangene Störungen als prädisponierend für weitere Ereignisse. Im Falle von Borkenkäferstörungen zeigten auch das Bestandesalter sowie der Vorrat/ha starke positive Effekte (d.h. dass mit zunehmendem Alter der Bestände sowie steigendem Vorrat die Wahrscheinlichkeit eines Borkenkäferschadens zunimmt. Die maximalen Windgeschwindigkeiten erwiesen sich hingegen in den Modellgleichungen für Windstörungen nur als wenig relevant.

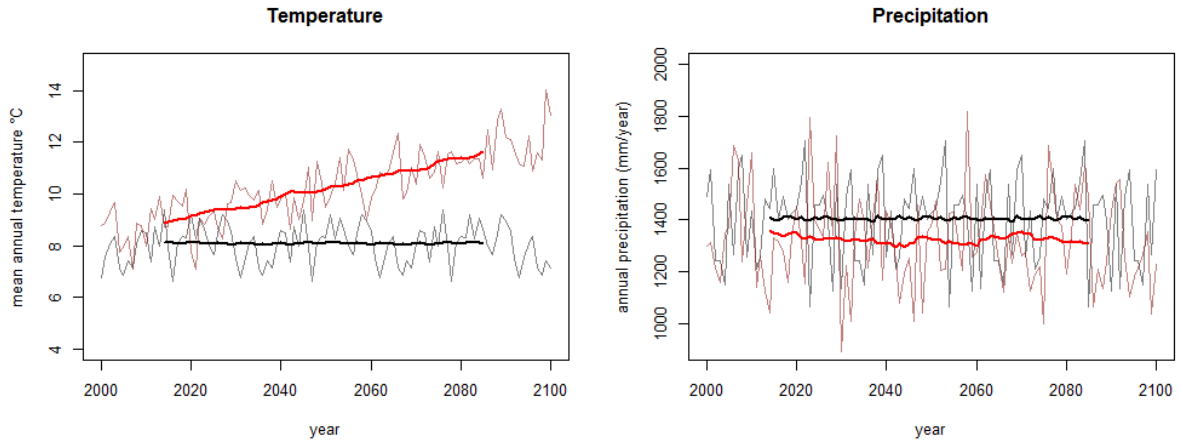
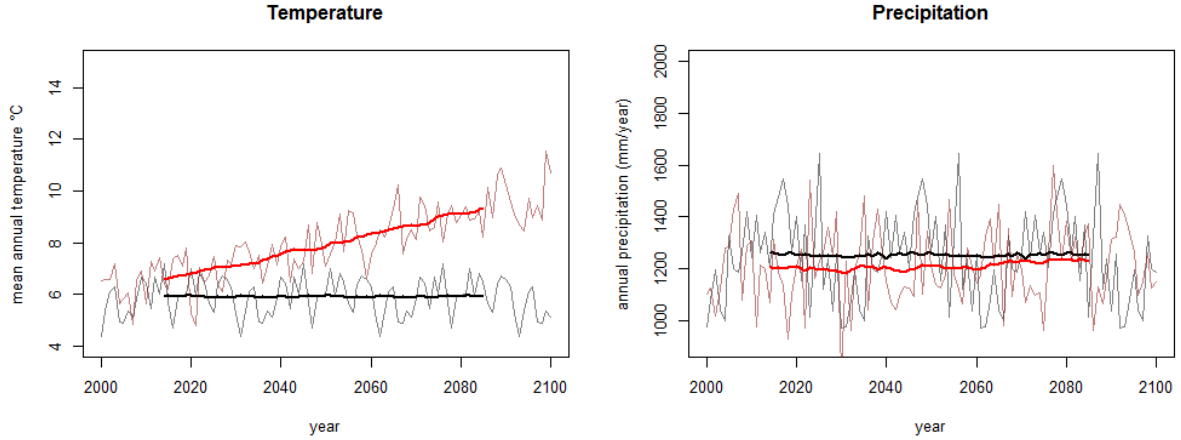
| | |
|---|---|
| FMU A (at 700 m.a.s.l.) |  |
| FMU D (at 900 m.a.s.l.) |  |

**Abbildung 3-5:** Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlagssummen im Basis-Klima (schwarze Linie) und ein Klimaänderungsszenario (rote Linie).

10-fache Kreuzvalidierungsverfahren zeigten nur geringfügige Variabilität in den Werten für Modellkoeffizienten für die jeweils gefitteten Modellgleichungen an. Daraus konnte auf robuste Ergebnisse geschlossen werden.

### *3.3.2 Modelle für die Störungsintensität*

In den Modellgleichungen für die Erklärung der Störungsintensitäten war die Variabilität der Koeffizientenvorzeichen ungleich höher als in den Modellen für das Auftreten von Störungsereignissen. Teilweise wiesen Prädiktoren in den gefitteten Modellen überraschende Vorzeichen auf (z.B. negative Vorzeichen für die Menge an vorangegangenen Schadholz aus Windstörungen (Wind4) und regulären Nutzungen (Nutz4).

Ausserdem differierten die Bestimmtheitsmaße für Modelle mit Zufalls- und fixen Effekten im Vergleich zu solchen nur mit fixen Effekten beträchtlich. Dies deutet auf unbekannte Faktoren hin, die nicht durch die verfügbaren Prädiktorvariablen repräsentiert werden. Die Kreuzvalidierungsverfahren deuteten jedoch auf durchaus robuste Koeffizientenschätzer hin. Vorrat und Bestandesalter erwiesen sich wieder durchgehend als relevante erklärende Variable.

Die Schätzwerte für Median-Intensitäten erwiesen sich als sehr gut, die Varianz der Schätzungen hingegen war deutlich geringer als in den beobachteten Daten, insbesondere hohe Werte für aufgetretene Schäden konnten nur schlecht reproduziert werden. I.A. stellte dieses Modellverhalten jedoch keine grosse Überraschung dar.

### 3.3.3 Implementierung der entwickelten Störungsmodelle im Waldökosystemmodell PICUS

Wenn mit PICUS dynamisch Störungen simuliert werden, interessiert, inwieweit die beobachteten Störungsereignisse bzw. deren Intensitäten reproduziert werden können.

Die folgenden Simulationsexperimente wuden jeweils unter aktuellem Klima (baseline) und Klimaänderungsbedingungen durchgeführt:

- Szenario A: altes Borkenkäfermodul
- Szenario B: neues Borkenkäfermodul
- Szenario C: neues Windmodul
- Szenario D: neues Borkenkäfer- und neues Windmodul kombiniert
- Szenario E: keine Störungen

Tabelle 3-3 zeigt, dass sowohl für Wind- als auch für Borkenkferstörungen ein sehr gutes Modellverhalten festgestellt wurde. Interessant war der Vergleich von altem und neuem Borkenkäferstörungsmodul. Stratifiziert nach den Höhenzonen wurden simulierte Intensitäten und Anteile von Störungsereignissen an den simulierten Fällen mit den entsprechenden beobachtungen verglichen und sehr gute Ergebnisse festgestellt.

***Tabelle 3-3:*** Verteilung von beobachteten (Nutzungsnachweise der ÖBf AG) und simulierten Störungsintensitäten.

| Nutzungsnachweise Wind [$m^3$/ha] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Min. | 1Q | Median | Mean | 3Q | Max. | 90 %ile | 95 %ile |
| 1.69 | 7.25 | 12.81 | 26.86 | 26.84 | 545.50 | 57.45 | 105.06 |
| Simulierte Schäden Wind [$m^3$/ha] | | | | | | | |
| Min. | 1Q | Median | Mean | 3Q | Max. | 90 %ile | 95 %ile |
| 2.43 | 9.82 | 20.86 | 30.77 | 44.28 | 211.90 | 70.85 | 86.85 |
| Nutzungsnachweise Borkenkäfer [$m^3$/ha] | | | | | | | |
| Min. | 1Q | Median | Mean | 3Q | Max. | 90 %ile | 95 %ile |
| 1.84 | 7.14 | 12.54 | 21.82 | 23.98 | 403.60 | 47.74 | 72.25 |
| Simulierte (DISTURBANCE Modell) Schäden Borkenkäfer [$m^3$/ha] | | | | | | | |
| Min. | 1st | Median | Mean | 3rd | Max. | 90 %ile | 95 %ile |
| 1.51 | 9.26 | 17.73 | 23.97 | 34.07 | 131.70 | 51.94 | 62.38 |

Die alte Borkenkäferversion generierte teilweise sehr hohe Intensitäten, während das neue Modul viel näher an den beobachteten Werten lag. Dies deutet wiederum auf die doch sehr hohe Spezifizität des alten Moduls hin, dass auf Grundlage einer sehr schmalen datenbasis entwickelt wurde. Auch erwies sich das alte Modul viel negativ sensitiver in bezug auf Temperatur. So wurden kaum Borkenkäferschäden in Seehöhen über 1100m a.s.l. simuliert, wohingegen dies häufig in den Beobachtungsdaten vorkam.

Szenarios D und E erlaubten die Analyse des Effektes von Klimawandelbedingungen. Mit der Ausnahme von Fichtenreinbeständen in der submontanen Höhenstufe wiesen alle Höhenstufen Mehrzuwächse und höhere Vorräte am Ende der Simulationsperiode im Klimawandelszenario auf (Tabelle 3-4). Die höheren Zuwächse wurden teilweise wieder aufgewogen durch ebenfalls steigende Schäden unter Klimawandelbedingungen.

***Tabelle 3-4:*** Vorräte am Ende der 90-Jahre Simulationsperiode und korrespondierende Volumsverluste durch Wind- bzw. Borkenkäferstörungen. Bestandestyp „Mixed“ = entspricht dem Durchschnitt des jeweiligen Forstbetriebes in der genannten Seehöhenstufe.

| Forstbetrieb | Seehöhe (m.a.s.l.) | Bestandestyp | $V_{baseline}$ ($m^3$/ha) | $V_{climate\ change}$ ($m^3$/ha) | ΔV (%) | Schäden $_{baseline}$ (%) | Schäden$_{climate\ change}$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 400 | Mixed | 583.9 | 586.3 | 0.4% | 2.6% | 7.2% |
| A | 400 | Fichte | 617.4 | 512.7 | -17.0% | 16.4% | 15.7% |
| A | 700 | Mixed | 496.6 | 480.1 | -3.3% | 7.0% | 8.5% |
| A | 700 | Fichte | 551.4 | 515.7 | -6.5% | 14.7% | 14.0% |
| A | 1000 | Mixed | 424.6 | 437.9 | 3.1% | 11.4% | 17.0% |
| A | 1000 | Fichte | 465.4 | 491.9 | 5.7% | 11.1% | 16.1% |
| D | 600 | Mixed | 401.3 | 499.3 | 24.4% | 6.1% | 6.7% |
| D | 600 | Fichte | 453.3 | 519.2 | 14.5% | 12.1% | 10.3% |
| D | 900 | Mixed | 434.8 | 506.1 | 16.4% | 5.7% | 9.4% |
| D | 900 | Fichte | 431.5 | 543.3 | 25.9% | 12.2% | 8.5% |
| D | 1200 | Mixed | 399.6 | 487.3 | 22.0% | 12.0% | 9.9% |
| D | 1200 | Fichte | 385.0 | 453.8 | 17.9% | 7.5% | 10.3% |
| D | 1500 | Mixed | 220.7 | 413.2 | 87.2% | 19.8% | 9.6% |
| D | 1500 | Fichte | 200.7 | 388.0 | 93.3% | 18.9% | 9.4% |

# 4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## 4.1 Räumliche und zeitliche Klimadaten

Entsprechend den Anforderungen von state-of-the-art Methoden der Waldökosystemanalyse, speziell von Waldökosystemmodellen wurden folgende Klimaparameter sowohl auf dem Inventur-Raster der Österreichischen Waldinventur (ca. 4x4 km) als auch für die verwendeten Forstverwaltungsregionen berechnet (100x100m Raster):

Temperaturmittelwerte auf Tagesbasis, tägliche Extremwerte der Temperatur (Minimum und Maximum), tägliche Dampfdruck Defizitwerte, tägliche Niederschlagssummen, die tägliche Globalstrahlung auf der realen Fläche und Windwerte.

Die Temperaturparameter wurden für die gesamte historische Periode durch Interpolation aus Beobachtungsdaten des ZAMG Stationsnetzwerkes gewonnen. Der Niederschlag ebenso aus einem in Schöner et al. (2007) beschriebenen Datensatz sowie aus Daten, die von einem numerischen Modell zur Bestimmung zeitnaher Prognosen (INCA – Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) herrühren. Beim Niederschlag war die Verwendung von zwei Verfahren notwendig, da der in Schöner et al. (2007) beschriebene Datensatz 2007 endet und der INCA basierende 2006 beginnt. So konnte die gesamte Periode, für die Walddaten verfügbar waren, abgedeckt werden. Das Dampfdruckdefizit wurde wieder mit Hilfe des ZAMG Stationsnetzes berechnet und an die Gitterpunkte des Waldökosystemmodells interpoliert. Die Tagessummen der Globalstrahlung wurden aus Beobachtungen und dem STRAHLGRID Modell (Olefs and Schöner 2012) generiert.

Neben diesen Verfahren wurde auch das regionale Klimamodell COSMO-CLM (Böhm et al. 2006) verwendet um Winddaten zu berechnen. Die Modeldomäne beinhaltet ganz Österreich und die Auflösung entspricht der der Österreichischen Waldinventur. Um diese zu erreichen war eine dreifache Nestung des Modells erforderlich. Im ersten Schritt wurde aus Reanalysedaten (Uppala et al. 2004), die global mit einer geringen Auflösung vorliegen, mit dem regionalen Klimamodell für einen geographischen Ausschnitt der ganz Europa umfasst Daten mit einer Auflösung von 50 km erzeugt. Diese wurden dann verwendet um das Modell erneut zu treiben und für den erweiterten Alpenraum (GAR, siehe Auer et al. 2007) Daten mit einer Auflösung von 10 km zu generieren. Im letzten Schritt wurde dann der Modelloutput für Österreich mit einer Auflösung von 4 km geliefert. Dieses methodische setup liefert eine Reihe an hoch aufgelösten Klimadaten, auch die oben beschriebenen (Temperatur Mittel, Minimum und Maximum, Niederschlagssummen, usw.). Es zeigt sich aber das regionale Klimamodelle im Alpenraum Probleme haben die beobachteten Temperaturen und Niederschlagssummen realistisch wiederzugeben. Das Problem ist bekannt und wird als ‚clod and wet bias' beschrieben. Das bedeutet, die Klimamodellergebnisse sind im Vergleich zu den Beobachtungen vor allem im Winter zu kalt und weisen tendenziell das ganze Jahr über zu viel Niederschlag auf (Haslinger et al. 2012). Das Problem ist, dass die Abweichungen in der Größenordnung des zu erwartenden Klimawandels liegen und daher

schlecht für die Identifizierung von Klimawandelfolgen in Waldökosystemen in Einklang zu bringen sind.

Deswegen wurden die benötigten Datensätze aus Beobachtungen hegeleitet. Beim Klimaelement Wind ist das aber nicht möglich. Es sind zu wenige Stationen vorhanden um eine belastbare Interpolation von Winddaten vorzunehmen. Das liegt daran, dass im komplexen Terrain Österreichs Windmessungen räumlich nicht repräsentativ sind. Der Wind ist zu stark von den lokalen Gegebenheiten dominiert. Auch in zeitlicher Hinsicht ist die Windmessung äußerst problematisch. Kleine Veränderungen in der Umgebung wie das Errichten eines Gebäudes oder das Wachsen von Bäumen, also jegliche Veränderung der Rauigkeitslänge des Untergrundes beeinflusst die Messung und diese wird daher inhomogen. Das bedeutet, dass Veränderungen in der Windklimatologie nicht den Klimawandel wiedergeben sondern Veränderungen der Umgebung. Daher wurden die Windparameter mit dem regionalen Klimamodell CLM berechnet. Insgesamt gilt für Windparameter, dass mit relativ grossen Unsicherheiten in den Modelldaten gerechnet werden muss. Für DISTURBANCE wurde dieser Umstand dadurch abgemildert, dass die verwendeten Sturmindikatoren auf saisonaler Ebene aggregiert verwendet wurden.

## 4.2 Störungsmodelle

Für die empirischen Modelle von Eintrittswahrscheinlichkeit und Störungsintensität wurden gemischte Modellansätze verwendet. Damit wurde den Besonderheiten des verfügbaren Datenmaterials Rechnung getragen und insgesamt dem Stand des Wissens entsprechende statistische Modelle für die Analysen verwendet.

Insgesamt bestätigten die gefundenen signifikanten erklärenden Variablen bisherige Erkenntnisse. Die meisten signifikant in die Modellgleichungen eingehenden Klimaparameter repräsentierten relativ schwache Effekte. Dies entsprach zum Teil nicht den erwarteten Ergebnissen. Diese Ergebnisse zeigten jedoch sehr deutlich auf, dass Klimaparameter zwar sehr wohl auf regionaler Ebene wichtige Prädiktoren für Störungsereignisse und auch –intensitäten sind, jedoch zur Erklärung lokaler Variabilität eher geringe Erklärungsanteile beitragen können. Während für Temperatur- und Niederschlagsdaten die Genauigkeit ausreichend erscheint, weisen insbesondere Windparameter hohe Unsicherheiten auf. Dementsprechende Vorsicht ist angeraten bei der Interpretation von absoluten Windgeschwindigkeitswerten für die Windprädiktoren.

Die Integration von empirischen Modellgleichungen in dynamische Waldökosysteme erscheint als ein vielversprechender Ansatz, Störungsmodule zu implementieren. In DISTURBANCE konnte erstmals für dynamische Ökosystemmodelle die Interaktion von Wind- und Borkenkäferstörungen explizit auf empirischen Daten implementiert werden. Analysen von adaptiver Waldbewirtschaftung im Klimawandel werden mit dem solcherart verbesserten Modell PICUS zusätzlich an Wert gewinnen.

# B) Projektdetails

## 5 Methodik

### 5.1 Klimadaten

#### 5.1.1 Historische Klimazeitreihen

Zur Generierung eines hoch aufgelösten Klimadatensatzes mit 7 Elementen für die historische Periode 1980-2010 wurde durch die Durchführung verschiedener Maßnahmen erreicht. Einerseits wurde das Beobachtungsnetz der ZAMG herangezogen sowie bereits an der ZAMG generierte Datensätze (StartClim Schöner et al.2003, reclip:more Schöner et al. 2007 und INCA Daten ab 2003 - Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis, Haiden et al. 2009) verwendet, um mit statistischen Verfahren den Verlauf der oben genannten Klimaelemente auf Tagesbasis von 1980 bis 2010 zu errechnen. Andererseits wurde mit einem Klimamodell (COSMO-CLM, Böhm et al. 2006), das für sehr begrenzte geographische Ausschnitte des Globus (z.B. Greater Alpine Region, GAR, Auer et al. 2007) hoch aufgelöste Ergebnisse produziert, Simulationen durchgeführt.

Es ist an dieser Stelle wichtig zu wissen, was regionale Klimamodelle leisten sollen. Sie sollen für jeden Zeitschritt hoch aufgelöst meteorologische Felder im Inneren einer geographisch beschränkten Region erzeugen, die physikalisch konsistent mit den Werten sind die sie am Rand bekommen. Wenn man diese meteorologischen Felder dann über eine Periode von einigen Dekaden (also eine ‚Klimaperiode') auswertet, soll das Klima dieser Region für die betrachtete Periode relativ hoch aufgelöst abgebildet sein. Oft kommt die Information am Rand (kleine Pfeile in Abbildung 5-1) von grob aufgelösten Klimamodellen oder Reanalysen (siehe oben). Ein regionales Klimamodell kann für jede (einige Dekaden umspannende) Periode der Vergangenheit oder Zukunft für die es Klimainformation von grobskaligen Modellen gibt, das regionalskalige Klima berechnen. Es wird also aus grobskaliger, für subkontinentale Gebiete nicht interpretierbarer Information das Klima einer geographisch kleinen Region hoch aufgelöst generiert. COSMO-CLM ist das regionale Klimamodell, welches für DISTURBANCE verwendet wird.

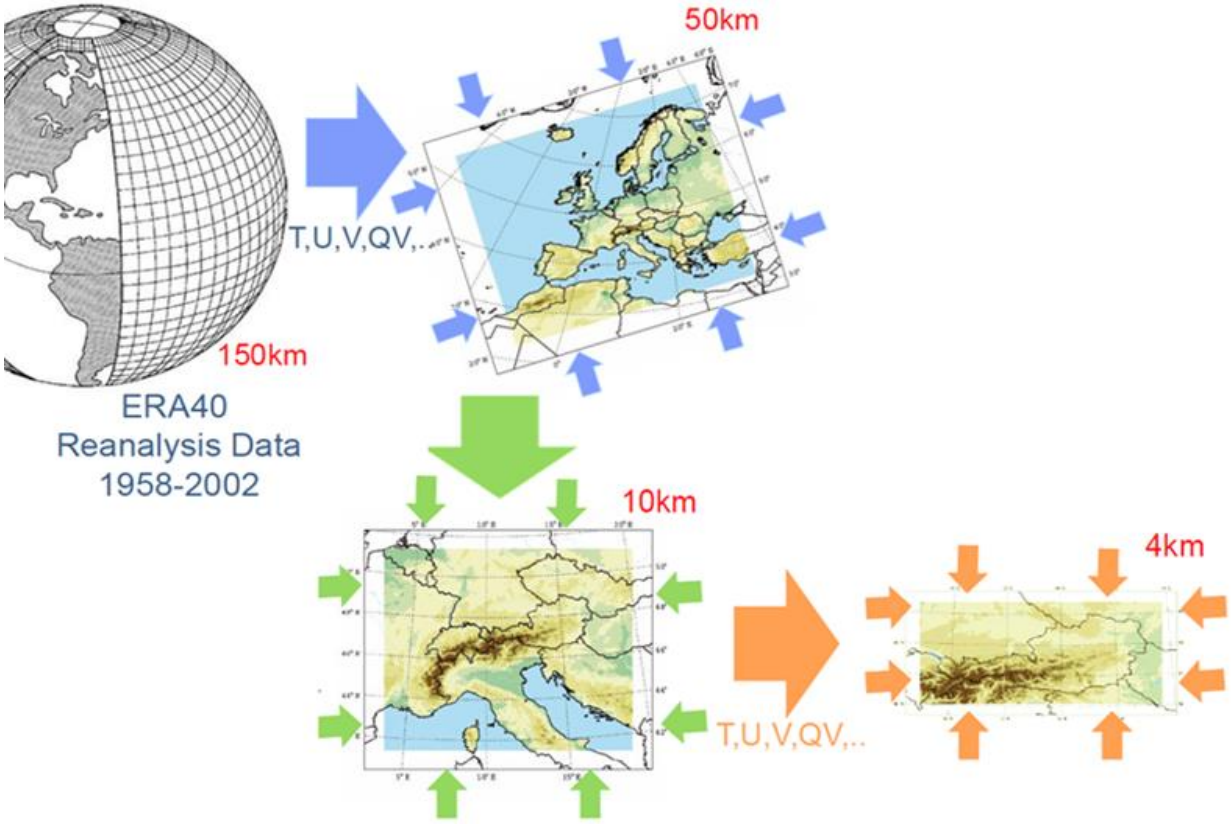



Abbildung 5-1: *Skizze der Vorgehensweise zur Erzeugung hochaufgelöster Klimadaten aus grobskaliger Information (Reanalysedaten, Läufe globaler Klimamodelle). Die drei Verfeinerungsschritte (Nestingschritte, dicke Pfeile). Dünne Pfeile zeigen an, dass am Rand des Gebietes die grobskalige Information an das regionale Klimamodell übergeben wird.*

Die finale Modeldomäne beinhaltet ganz Österreich und die Auflösung entspricht der der Österreichischen Waldinventur (~4km). Um diese zu erreichen war eine dreifache Nestung des Modells erforderlich. Bei jeder Nestung erhält das regionale Modell am Rand des Gebietes Antriebswerte und berechnet den sich daraus ergebenden Zustand der Atmosphäre im Inneren. Im ersten Schritt wurde aus Reanalysedaten (Uppala et al. 2004), die global mit einer geringen Auflösung vorliegen (2.5°x2.5°), mit dem regionalen Klimamodell COSMO-CLM für einen geographischen Ausschnitt der Europa umfasst Daten mit einer Auflösung von 50 km erzeugt. Diese wurden dann verwendet, um das Modell erneut zu treiben und für den erweiterten Alpenraum (GAR, siehe Auer et al. 2007) Daten mit einer Auflösung von 10 km zu generieren. Im letzten Schritt wurde dann der Modelloutput für Österreich mit einer Auflösung von 4 km geliefert. Dieses methodische setup liefert eine Reihe an hoch aufgelösten Klimadaten, auch die oben beschriebenen (Temperaturmittel, Minimum und Maximum, Niederschlagssummen).

### 5.1.2 Klimaänderungsszenarios

Analogmethoden beruhen darauf die Ähnlichkeit verschiedener mathematischer Objekte zu bewerten. Im vorliegenden Fall sind das die Ähnlichkeiten von meteorologischen Feldern zweier Mengen. Die eine Menge ist die der Reanalysedaten (grobskalige Felder über Europa in der Vergangenheit), die andere Menge ist jene, die aus den GCM Projektionen (grobskalige Felder über Europa für die Zukunft) bestehende. Für jeden Tag der Zukunft werden die Felder mit jenen der Vergangenheit verglichen und das Feld, welches am ähnlichsten ist, wird ausgewählt. So bekommt man für jedes Datum in der Zukunft eines der Vergangenheit. Der beobachtete, lokalskalige Zustand in Österreich (Temperaturmittel, Maximum, Minimum, Niederschlag, Globalstrahlung, usw.) wird dergestalt in der Zukunft angenommen. Das sind die lokalskaligen Projektionen. Insgesamt erhalten wir 6 lokalskalige Projektionen (drei für das Ensemble des A1B sozio-ökonomischen Szenarios und drei für das B1 Szenario).

Die Analogmethode wurde in der Wettervorhersage (Elliot 1951; Baur 1951; Lorenz 1969) und für saisonale Vorhersagen (Livezey and Barnston 1988) genutzt. Die Vorgangsweise entspricht intuitiv der Arbeit eines Prognostikers, der die Großwetterlage analysiert und daraus ableitet, wie sich das Wetter einer bestimmten Region gestalten könnte. In den 1960ern untersuchte Lorenz (1969) die Vorhersagekraft einer Analogmethode und fand eine bescheidene Leistung. Der Grund dafür war die Kleinheit der verfügbaren Wetterarchive. Je kleiner die Menge (Wetterarchiv) an Feldern ist, die mit dem neuen Feld verglichen werden, desto geringer ist die Chance ein wirklich gut passendes Feld (Analogon) aus dem Archiv zu finden (van den Dool 1994). Hamill and Whitaker (2006) untersuchten eine Reihe an Analogmethoden für die statistische Korrelation von Wettervorhersagen und fanden, dass eine erfolgreiche Anwendung der Analogverfahren kritisch von der Größe der Wetterarchive und der Komplexität der betrachteten Region abhängt. Salopp gesagt bedeutet, dass es einfacher ist eine gute Übereinstimmung zwischen Feldern, die sich über flacher Orographie bilden, zu finden als eine gute Übereinstimmung zwischen Feldern über komplexer Topographie wie den Alpen. Zorita et al. (1995) und Zorita and von Storch (1999) führten die Analogverfahren in die Klimaforschung als Downscalingtechniken ein. Dabei sollten die verwendeten Archive möglichst groß sein (also eine lange Periode in der Vergangenheit

abdecken), um viele der künftig auftretenden grossakligen Wetterlagen abzudecken. Analogmethoden haben den Vorteil, dass die beobachteten gross- und lokalskaligen Felder aus den Beobachtungen stammen. Das bedeutet, dass die lokalskalige Kovarianzstruktur physikalisch sinnvoll ist. Außerdem müssen keine Annahmen über die Verteilungen (wie bei Transferfunktionen) getroffen werden, wie etwa bei linearen Transferfunktionen. Das erleichtert die Konstruktion von nicht normalverteilten Klimaelementen wie dem täglichen Niederschlag.

Analogverfahren unterscheiden sich darin wie Ähnlichkeit bewertet wird. Das kann sich auf drei Aspekte beziehen: (i) welches Distanzmaß wird verwendet um die Ähnlichkeit zwischen Feldern zu quantifizieren (z.B. Euklidische norm), (ii) wie trägt man der Abfolge von Wetterlagen Rechnung (z.B. berücksichtigt man die vergangenen drei, vier oder fünf Tage), (iii) auf welche Merkmale legt man den Fokus (z.B. grosskalige Eigenschaften der Felder oder kleinskalige). Abbildung 5-2 zeigt die Auswirkung der Verwendung verschiedener Aspekte auf die Reproduzierbarkeit der Januar Niederschlagsmengen (1948-2004) in den Europäischen Alpen.

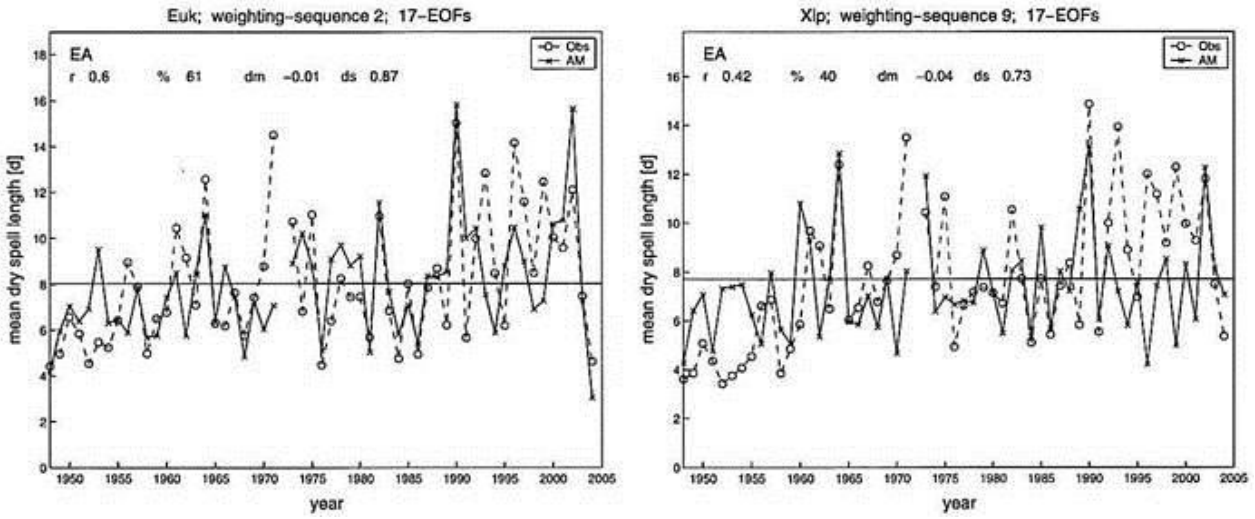



Abbildung 5-2: *Reproduktion der Januar Niederschlagsmengen in den Europäischen Alpen mit verschiedenen Distanzmaßen, unterschiedlicher Länge an dem Ereignis vorangegangenen Tagen, und räumlichen Detailierungsgrad. Links/rechts: Euklidische Norm/erklärte Varianz, Berücksichtigung von 2/9 Tagen vor den Ereignis und einem verhältnismäßig hohen Detailierungsgrad. Quelle: Matulla et al. 2007.*

Abbildung 5-3 zeigt die Prozentuelle Veränderung von 30 jährigen Niederschlagsereignissen im Sommer (April bis September) in Österreich bei Verwendung einer Analogmethode für die sozio-ökonomischen Szenarien A1B (links) und B1 (rechts). Man erkennt eine deutliche Zunahme dieser Ereignisse in beiden Szenarien für die zweite Hälfte des 21 Jh. Die Resultate zeigen unter anderem, dass sich die Intensitäten für 30-jährige Niederschlagsereignisse um ±25 % ändern - je nach Region und Saison, Klimaszenario und Zeitperiode in der Zukunft. Ebenso gibt es regionsbezogene Unterschiede in der Stärke sowie im Vorzeichen der Änderung.

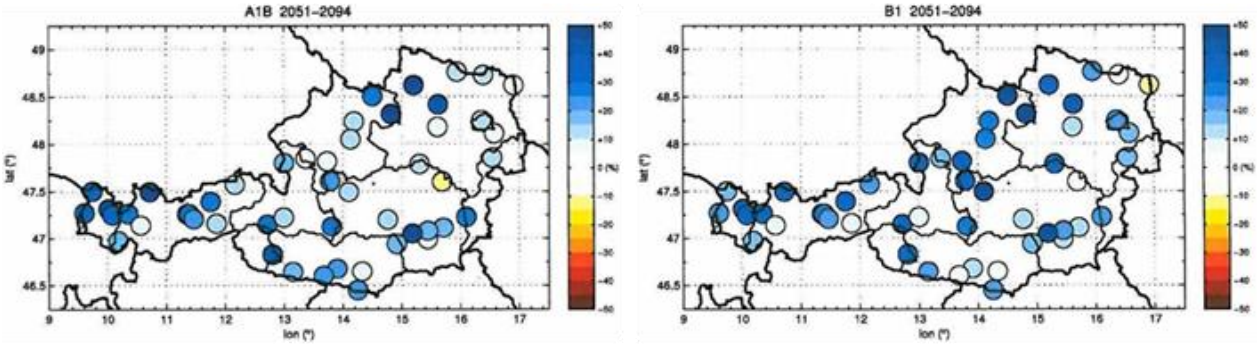



Abbildung 5-3: *Prozentuelle Veränderung von 30 jährigen Niederschlagsereignissen im Sommer (April bis September) in Österreich für das A1B (links) und das B1 Szenario (rechts). Quelle: Priskchange Hofstätter et al. 2010.*

Für DISTURBANCE wurde die Analogmethode angewendet. Es wurde eine Empirische Orthogonal Funktions Analyse (EOF, von Storch and Zwiers 1999) durchgeführt, um den Detailierungsgrad der originalen Felder zu reduzieren. Konkret wurden 10 EOFs berücksichtigt. Diese EOF Analyse wurde für jeden Julianischen Tag im Jahr durchgeführt wobei ein 90 Tage-Fenster mit dem jeweils betrachteten Tag im Zentrum berücksichtigt worden ist. Das mathematische Maß, um die Ähnlichkeit zwischen den Feldern zu quantifizieren, ist die Euklidische Norm und es wurden die Felder der vier Tage vor dem Ereignis und dem Ereignistag selbst berücksichtigt. Diese wurden wie folgt gewichtet: (actual day: 1, actual day -1: 0.5, actual day -2: 0.25, actual day -3: 12.5 actual day -4: 0.625).

Auf diese Weise wird jedem Tag in der Zukunft ein Tag aus der Beobachtungsperiode zugeordnet. So entstehen die lokalskaligen Klimaänderungsszenarien. Sie sind die Aneinanderreihung von Tagen aus der Vergangenheit zusammen mit den entsprechenden Minimum-, Maximum- und Mitteltemperaturen, Niederschlagsmengen, Globalstrahlung, Dampfdruckdefizit der Atmosphäre sowie Indikatoren für Windgeschwindigkeitsmaxima bis zum Ende des Jahrhunderts an den ÖWI-Gitterpunkten über Österreich und in 100m Auflösung für die Flächen der ÖBf-Forstbetriebe. Die GCM Ensembles an Projektionen für die sozio-ökonomischen Szenarien A1B und B1 (siehe oben) wurden mit dem ECHAM-GCM am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) gerechnet, von dort heruntergeladen. Es wurden je drei ECHAM5 Projektionen für beide sozio-ökonomischen Szenarien verwendet. Nach dem Downscaling mit der verwendeten Analogmethode Damit stehen also 6 lokalskalige Klimaänderungsszenarien für Österreich (Auflösung ~4km) und die Regionen der betrachteten Forstbetriebe (Auflösung: 100m) zur Verfügung.

## 5.3 Modelle für Wind- und Borkenkäferstörungen

Voraussetzung für die Erstellung der Störungsmodelle war die Bearbeitung der von den ÖBf AG übernommenen Rohdaten. Versuche, die zwei aufeinanderfolgenden Forsteinrichtungsperioden als eine durchgehende Zeitserie zu verwenden, waren nicht zielführend, da es sich als unmöglich herausstellte, die räumliche Konsistenz der Bestandespolygone und die zugehörigen Merkmalsvektoren für beide Perioden herzustellen. Die ersten vier Jahre der 10-Jahresperioden

wurden verwendet um vorangegangene Nutzungen in die Analysen als potentielle Prädiktoren einfliessen zu lassen („legacy effects“). Effektiv standen so also maximal 6 Jahre einer Forsteinrichtungsperiode für die Zeitreihenanalyse zur Verfügung. Für jedes dieser Jahre wurden nun die Bestandesmerkmale beginnend mit dem ersten Jahr der Planungsperiode mit Hilfe von Ertragstafeln „fortgeschrieben“. Der Fichtenanteil wurde dabei entsprechend den Einrichtungsdaten konstant gehalten, da nicht in allen Fällen die Baumartenverteilung in den Nutzungsnachweisen enthalten war. Tabelle 5-1 zeigt die wesentlichen Bestandes- und Standortsmerkmale die für die Analysen zur Verfügung standen.

**Tabelle 5-1:** Prädiktorvariablen für die statistischen Analysen von Wind- und Borkenkäferschäden.

| Merkmal | Beschreibung | Masseinheit |
|---|---|---|
| SH | Seehöhe | Meter |
| Neig | Hangneigung | Grad |
| Exp | Exposition | 8 Himmelsrichtungen |
| PA | Anteil der Baumart Fichte am Vorrat | Verhältnis |
| Age | Flächengewichtetes Bestandesalter | Jahre |
| VbD | Vorrat vor einem Störungsereignis | Vorratsfestmeter/ha |
| Snow4 | Schaden durch Schneebruch in den 4 vorausgegangenen Jahren | Erntefestmeter/ha |
| Storm4 | Schaden durch Sturm in den 4 vorausgegangenen Jahren | Erntefestmeter/ha |
| Beetle4 | Schaden durch Borkenkäfer in den 4 vorausgegangenen Jahren | Erntefestmeter/ha |
| Nutz4 | Reguläre Holzernte in den 4 vorausgegangenen Jahren | Erntefestmeter/ha |
| Wspeed | Maximale Windgeschwindigkeit im aktuellen Jahr | Meter/Sekunde |
| SoilF | Zustand des Bodens 2 Wochen um den Tag mit maximaler Windgeschwindigkeit | 1 = gefroren, 0 = nicht gefroren |
| BBGen | Potentielle Borkenkäfergenerationen im vorangegangenen Jahr (inkl. Geschwisterbruten) | Anzahl |

In Tabellen 5-2 (A und B) sind die Modellkoeffizienten der gefundenen Modelle für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Störungsereignissen dargestellt. I.A. bestätigen die signifikant in die Modelle eingehenden Merkmale bisherigen qualitativen Stand des Wissens. Insbesondere der Boden und Klimamerkmale integrierende SoilF Indikator erweist sich als wertvoll bei der Erklärung der Ereigniswahrscheinlichkeit im Fall von Sturmschäden.

***Tabelle 5-2A:*** Modellkoeffizienten mit Standardfehlern der GLMMs für das Auftreten von Störungsereignissen durch Wind. Area-Under-Curve Werte (AUC) jeweils für Modelle mit fixen und Zufallseffekten und nur mit fixen Effekten. AUC (all effects) = 0.84, AUC (fixed effects) = 0.71. Variablenbeschreibung in Tabelle 5-1.

| Prädiktorvariable | Koeffizientenschätzer | Standardabweichung |
|---|---|---|
| Intercept | -5.294 | 0.364 |
| SH | 0.008 | 0.002 |
| Age | 0.004 | 0.001 |
| VbD | 0.001 | 0.000 |
| Storm4 | 0.030 | 0.020 |
| Beetle4 | 0.341 | 0.028 |
| Nutz4 | 0.337 | 0.028 |
| Snow4 | 0.331 | 0.075 |
| WSpeed | 0.017 | 0.006 |
| SoilF | -0.702 | 0.176 |

***Tabelle 5-2B:*** Modellkoeffizienten mit Standardfehlern der GLMMs für das Auftreten von Störungsereignissen durch Borkenkäfer. Area-Under-Curve Werte (AUC) jeweils für Modelle mit fixen und Zufallseffekten und nur mit fixen Effekten. . AUC (all effects) = 0.88, AUC (fixed effects) = 0.80.Variablenbeschreibung in Tabelle 5-1.

| Prädiktorvariable | Koeffizientenschätzer | Standardabweichung |
|---|---|---|
| Intercept | -7.226 | 0.271 |
| SH | 0.008 | 0.002 |
| Neig | -0.008 | 0.003 |
| PA | 0.013 | 0.001 |
| Age | 0.008 | 0.001 |
| VbD | 0.003 | 0.000 |
| Wind4 | 0.212 | 0.019 |
| Beetle4 | 0.428 | 0.015 |
| Nutz4 | 0.163 | 0.051 |
| Snow4 | 0.095 | 0.011 |
| BBGen | 0.094 | 0.014 |

Die als bestgeeignet identifizierten linearen gemischten Modelle für Störungsintensitäten sind in Tabellen 5-3 (A und B) dargestellt. Auffallend die sehr geringen erklärten Varianzanteile in den Modellen ohne Zufallseffekte. Dieses Ergebnis bestätigt den Umstand, dass die überwiegend einfachen Bestandes- und Standortsmerkmale die in üblichen Forsteinrichtungswerken enthalten sind, insgesamt keine besseren Erklärungswert in bezug auf die Schadensintensität aufweisen. Wichtig ist der Umstand, dass es sich bei dem vorliegenden Datenmaterial um Kalamitätsnutzungen handelt, nicht um direkt ermittelte Schäden durch Wind bzw. Borkenkäfer selbst. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch „prophylaktische" phytosanitäre Massnahmen u.A. mehr genutzt wurde als den direkt aufgrund der Störungsereignisse zugrundeliegenden abgestorbenen Baumindividuen.

***Tabelle 5-3A:*** Koeffizientenschätzer und deren Standardfehler in LMM der Störungsintensität für Windstörungen. Variablenbeschreibung in Tabelle 5-1. $R^2$ (all effects) = 0.39, $R^2$ (fixed effects) = 0.10.

| Prädiktorvariable | Koeffizientenschätzer | Standardabweichung |
|---|---|---|
| Intercept | 2.135 | 0.170 |
| Neig | -0.007 | 0.004 |
| VbD | 0.002 | 0.000 |
| Wind4 | 0.045 | 0.021 |
| Beetle4 | 0.036 | 0.020 |
| SoilF | -0.219 | 0.137 |

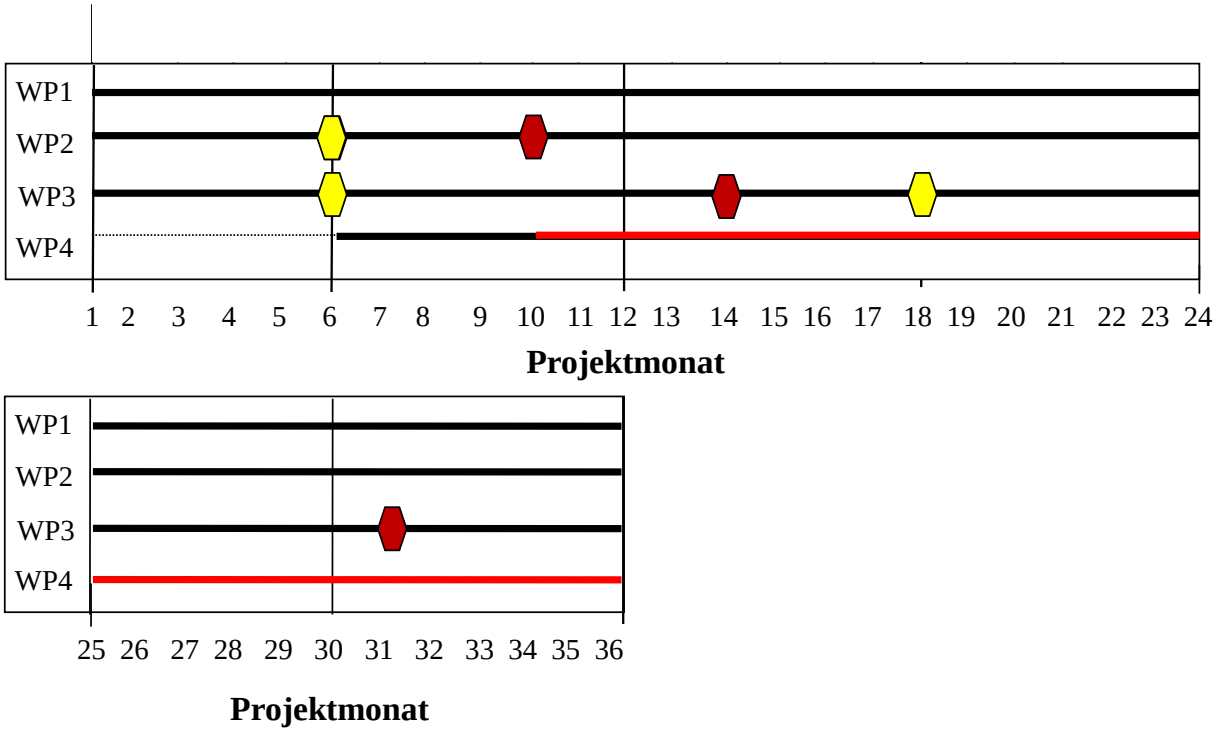
***Tabelle 5-3B:*** Koeffizientenschätzer und deren Standardfehler in LMM der Störungsintensität für Borkenkäferstörungen. Variablenbeschreibung in Tabelle 5-1. $R^2$ (all effects) = 0.45, $R^2$ (fixed effects) = 0.14.

| Prädiktorvariable | Koeffizientenschätzer | Standardabweichung |
|---|---|---|
| Intercept | 1.604 | 0.143 |
| SH | -0.003 | 0.001 |
| Neig | -0.005 | 0.002 |
| PA | 0.004 | 0.001 |
| Age | 0.004 | 0.001 |
| VbD | 0.001 | 0.000 |
| Wind4 | -0.024 | 0.013 |
| Beetle4 | 0.043 | 0.010 |
| Storm4 | -0.070 | 0.036 |
| BBGen | 0.030 | 0.008 |

## 6 Arbeits und Zeitplan

Geplant war die Fertigstellung der Walddatenbasis in Projektmonat 3, tatsächlich analysefertig war das von der ÖBf AG übernommene Datenmaterial in Projektmonat 10. Die Verzögerung in WP3 (Klimadaten) wegen methodischer Herausforderungen betrug für die historischen Klimazeitreihen 8 Monate (verfügbar in Projektmonat 14, für die Klimaänderungsdatenreihe 13 Monate. Diese Verzögerungen machten es erforderlich, zwei je 6-monatige Projektverlängerungen zu beantragen.

Untenstehende Abbildung veranschaulicht den Zeitplan und zeigt für die Arbeitspakete WP2 und WP3 nur die massgeblichen Meilensteine in der ursprünglichen Planung (gelb) und in der tatsächlichen Implementierung (rot).



# 7 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

## 7.1 Posterpräsentationen

Zuvela-Aloise M, Matulla C, Auer I, Böhm R, Lexer M, Scheifinger H. 2010. Comparing empirical downscaling methods within different kinds of terrain applied on the edge to climate impact research. European Geosciences Union General Assembly 2010 (EGU, May 2-7, 2010), Vienna, Austria http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-2389.pdf

Zuvela-Aloise M, Anders I, Haslinger K, Matulla C, Scheifinger H, 2011. CCLM 20th-century simulations for climate impact assessment in European ecosystems, COSMO/CLM User Seminar, DWD BTZ Langen, Germany, March 2011.

Pasztor, F., Lexer, M.J., 2011.Wind and bark beetle disturbances at operational scale in Austrian forests.6th IUFRO 8.03.06 International Conference on Wind and Trees. Athens, GA, USA, 31 July - 4 August 2011.

Pasztor, F., Lexer, M.J., 2012. Relevance of site and stand properties in regard to occurrence of wind and bark beetle disturbances at operational scale in Austrian forests. INTERNATIONAL CONFERENCE Tackling climate change: the contribution of forest scientific knowledge. Tours, France, 21 - 24 May, 2012.

Matulla C., I. Auer, R. Böhm, M. Hofstätter, M. Olefs, S. Reisenhofer, M. Zuvela-Aloise, M.J. Lexer, W. Rammer DISTURBANCE -- Modelling extreme events and disturbance regimes in forest ecosystems under climate change 13. Österreichischer KlimatagForschung zu Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung sowie Klimaschutz in Österreich, Vienna, Austria, June 2012.

Auer,I., R. Böhm, M. Hofstätter, C. Matulla, M. Olefs, S. Reisenhofer, M. Zuvela-Aloise, M.J. Lexer, W. Rammer: The impact of extreme events and disturbance regimes on forest ecosystems (DISTURBANCES); European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, April 2012.

Matulla C., I. Auer, R. Böhm, M. Hofstätter, M. Olefs, S. Reisenhofer, M. Zuvela-Aloise, M.J. Lexer, W. Rammer: DISTURBANCES - The impact of extreme events and disturbance regimes on forest ecosystems. Deutsche Klimatagung 2012, Langen, Germany, September 2012.

## 7.2 Wissenschaftliche Vorträge

Zuvela-Aloise M, Matulla C, Lexer M, Scheifinger H, Anders I, Auer I, Böhm R., 2010. Downscaling climate change simulations for impact assessment studies within the Alpine region. Proceedings 11th International Meeting on Statistical Climatology, Edinburgh, 172. http://imsc.seos.uvic.ca/proceedings/11IMSC.pdf

Anders I, Haslinger K, Zuvela-Aloise M, Hofstätter M, 2011. Evaluation of COSMO-CLM model simulations for the Alpine region, May 10, 2011, Meteorologisch-Geophysikalisches Kolloquium, IMG, Vienna

Zuvela-Aloise M, Anders I, Haslinger K, Hofstätter M, Matulla C, Lexer MJ, 2011. Evaluation of the COSMO-CLM hindcast simulation intended for the forest modelling in Austria, CLM Assembly, Cava de' Tirreni, Italy, 2011

Pasztor, F., Zuvela, M., Matulla, C., Lexer, M.J., 2013. Drivers of wind and bark beetle disturbances in Austrian forests. ClimTree Conference, Zurich, September 2013.

### 7.3 Publizierte Vorträge auf wissenschaftlichen Konferenzen

Zuvela-Aloise M, Matulla C, Lexer M, Scheifinger H, Anders I, Auer I, Böhm R., 2010. Downscaling climate change simulations for impact assessment studies within the Alpine region. Proceedings 11th International Meeting on Statistical Climatology, Edinburgh, 172. http://imsc.seos.uvic.ca/proceedings/11IMSC.pdf

Anders I, Haslinger K, Zuvela-Aloise M, Hofstätter M, 2011. Evaluation of COSMO-CLM model simulations for the Alpine region, May 10, 2011, Meteorologisch-Geophysikalisches Kolloquium, IMG, Vienna

Zuvela-Aloise M, Anders I, Haslinger K, Hofstätter M, Matulla C, Lexer MJ, 2011. Evaluation of the COSMO-CLM hindcast simulation intended for the forest modelling in Austria, CLM Assembly, Cava de' Tirreni, Italy, 2011

Pasztor, F., Zuvela, M., Matulla, C., Lexer, M.J., 2013. Drivers of wind and bark beetle disturbances in Austrian forests. ClimTree Conference, Zurich, September 2013.

### 7.4 Publikationen (submitted / in review)

Pasztor, F., Matulla, C., Lexer, M.J. 2013. Drivers of bark beetle disturbances at forest stand scale in Austria. (in prep.)

### 7.5 Betreute Masterarbeiten/ Dissertationen

Pasztor, F.: Modelling of disturbance regimes in forest ecosystems of Austria (Arbeitstitel). Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien. (in prep.)

Rauter D, 2011. Evaluation of high-resolution climate modelling for the Austrian Region from 1961 to 2000. Bakk.-Arbeit am Institut für Meteorologie und Geodynamik Wien (IMGW), Vienna

### 7.6 Sonstige Disseminierungsaktivitäten

Diskussion/Einführung in die Methoden von DISTURBANCE in der Vorlesung Klimamodellierung (VO PM-Kl1) an der Universität Wien.

Präsentation von DISTURBANCE Ergebnissen am Niederösterreichischen Baumtag 2013 (Neues rund um den Baum), 20 September 2013 in Baden bei Wien. Informationstransfer in die Praxis.

Ein Artikel in der Österreichischen Forstzeitung (ÖFZ) ist in Ausarbeitung. Die ÖFZ ist die wichtigste Praktiker-Zeitschrift im Waldbereich.

### 7.8 Folgeaktivitäten zur Nutzbarmachung und Umsetzung

Geplant ist die vollständige Implementierung der in DISTURBANCE entwickelten Störungsmodule in das dynamische Waldökosystemmodell PICUS v1.6. Mit diesem Schritt wird dann eine stark verbesserte Modellversion für zukünftige Anwendungen zur Verfügung stehen. Modellvalidierungsaktivitäten sind geplant.

## 8 Referenzen


Ångström, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. *Q.J.R. Meteorol. Soc., 50*:121-125.

Anonymous 2009. Der Österreichische Wald. BMLFUW, Abteilung IV/1. Wien.

Anonymous 2011. Holzeinschlag 2010. BMLFUW, Abteilung IV/1. Wien.

Auer I. and 32 others 2007: HISTALP-historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region, *International Journal of Climatology, 27* (1), 17-46.

Baur F 1951: Extended-range forecasting by weather types. *Compendium of meteorology. Am Meteor Soc*, pp 814-833.

Böhm, U., M. Kücken, W. Ahrens, A. Block, D. Hauffe, K. Keuler, B. Rockel, A. Will: 2006. CLM - The climate version of LM: Brief description and long-term application. *Proceedings from the COSMO General Meeting 2005. COSMO Newsletter*, http://www.cosmo-model.org.

Bruck M., Hammer N., Neuwirth F. und Schaffar G., 1985: Meteorologische Daten und Berechnungsverfahren. 3.erweiterte Auflage - *Österr. Ges. f. Sonnenenergie und Weltraumfragen*.

Elliot RD 1951: Extended-range weather forecasting. *Compendium of meteorology. Am Meteor Soc*, pp 834-840.

Haiden T., A. Kann, G. Pistotnik, K. Stadlbacher, and C. Wittmann 2009: “Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA)”, *System description, ZAMG Rep.*, Feb. 2009.URL: http://www.zamg.ac.at/fix/INCA_system.pdf.

Hamill TM, Whitaker JS 2006: Probabbilistic quantitative precipitation forecasts based on reforecast analogs: theorie and application. *Mon Wea Rev* 134:3209-3229.

Haslinger K., I. Anders, M. Hofstätter 2012: Regional climate modelling over complex terrain: an evaluation study of COSMO-CLM hindcast model runs for the Greater Alpine Region, *Climate Dynamics, 40*(1-2), 511-529.

Hofstätter M., Matulla C., Wang J., Wagner S. 2010: PRISK-CHANGE. Veränderung des Risikos extremer Niederschlagsereignisse als Folge des Klimawandels. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Projektbericht, 51 Seiten.

Lexer, M.J., Hönninger, K., 2001. A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. For: Ecol. Manage. 144, 43-65.

Livezey RE, Barnston AG 1988: An operational mulitfield analog/ antianalog prediction system for United States seasonal temperatures. Part 1: System design and winter experiments. *J Geophys Res* 93:10953-10974.

Lorenz EN 1969: Atmospheric predictability as revealed by naturally occuring analogs. *J Atmos Sci* 26:636-646.

Matulla, C., X. Zhang, X.L. Wang, J. Wang, E. Zorita, S. Wagner, and H. von Storch, 2007: Influence of similarity measures on the performance of the analog method for downscaling daily precipitation. *Clim. Dyn*. DOI 10.1007/s00382-007-0277-2; 12 pp

Neuwirth, F. 1983. Die Parametrisierung des prozentualen Verhältnisses zwischen Himmelsstrahlung und Globalstrahlung durch die Bewölkungsmenge, *Arch.Met.Geoph.Biocl., Ser.B 33*, 243-250.

Olefs, M, W. Schöner 2012: A new solar radiation model for research and applications in Austria. *Geophysical Research Abstracts*. EGU General Assembly 2012.

Paul, I., K., Polglase, P., J., Smethurst, P., J., O'Connell, A., M., Carlyle, C., J., Khanna, P., K., 2004. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. Agricultural and Forest Meteorology. 121, 167–182.

Schöner W. and E. Dos Santos Cardoso 2007: Statistical downscaling and spatial refinement of dynamically downscaled long term data, *reclip:more – research for climate protection*, URL: http://foresight.ait.ac.at/SE/projects/reclip/.

Schöner W., I. Auer, R. Böhm, S. Thaler 2003: Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tageswertbasis im Hinblick auf Extremwertanalysen, *StartClim "Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich"* URL: http://www.austroclim.at/startclim/.

Seidl, R., Fernandes, P.M., Fonseca, T.F., Gillet, F., Jönsson, A.M., Merganicová, K., Netherer, S., Arpaci, A., Bontemps, J.-D., Bugmann, H., González-Olabarria, J.R., Lasch, P., Meredieu, C., Moreira, F., Schelhaas, M.-J., Mohren, F., 2010.Modelling natural disturbances in forest ecosystems: a review. Ecological Modelling 222, 903-924.

Seidl, R., Lexer, M.J., Jäger, D., Hönninger, K., 2005. Evaluating the accuracy and generality of a hybrid patch model. Tree Phys. 25, 939-951.

Uppala S.M. and 44 others 2004: The ERA40 re-analysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 131*(612), 2961-3012

van den Dool H 1994: Searching for analogs, how long must we wait? *Tellus* 46A:314-324.

von Storch H, Zwiers FW 1999: Statistical analysis in climate research. *Cambridge University Press*, Cambridge, 528 pp.

von Storch, H., E. Zorita and U. Cubasch, 1993: Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *J. Climate 6*: 1161-1171.

Zorita E, Hughes J, Lettenmaier D, von Storch H 1995: Stochastic characterisation of regional circulation patterns for climate model diagnosis and estimation of local precipitation. *J Clim*, 8:1023-1042.

Zorita E, von Storch H 1999: The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *J Clim 12*:2474-2489.

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