

Anpassung an den Klimawandel in Österreich - Themenfeld Wald

Endbericht

Dezember 2012



lebensministerium.at

BM.W.F^a



StartClim2011

Anpassung an den Klimawandel in Österreich- Themenfeld Wald

Endbericht

Projektleitung

Institut für Meteorologie
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien
Univ.-Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb

Auftraggeber

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung
Österreichische Bundesforste
Bundesministerium für Gesundheit
Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend
Österreichische Nationalbank
Österreichische Hagelversicherung
Umweltbundesamt
Verbund AHP

Administrative Projektkoordination
Umweltbundesamt

Wien, Dezember 2012

StartClim2011

„Anpassung an den Klimawandel in Österreich - Themenfeld Wald“

Projektleitung: Institut für Meteorologie
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
Peter Jordan Straße 82, 1190 Wien
URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>
<http://www.wau.boku.ac.at/met.html>

Redaktion

Helga Kromp-Kolb, Thomas Gerersdorfer und Ingeborg Schwarzl,
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur

Wien, Dezember 2012

Beiträge aus StartClim2011

StartClim2011.A: Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf Voltinismus und Ausbreitung des Buchdruckers, *Ips typographus*, im alpinen Raum

Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, BOKU:
Axel Schopf, Emma Blackwell, Veronika Wimmer

StartClim2011.B: Analyzing Austria's forest disturbance regime as basis for the development of climate change adaptation strategies

Institute of Silviculture, BOKU: Rupert Seidl, Dominik Thom
Institute of Forest Protection, Federal Research and Training Center for Forests, Natural Hazards, and Landscape (BFW): Hannes Krehan, Gottfried Steyrer

StartClim2011.C: Auswirkungen von Bodentrockenheit auf die Transpiration österreichischer Baumarten

Universität Innsbruck: Georg Wohlfahrt, Stefan Mayr, Christoph Irschick, Sabrina Obwegeser, Petra Schattaneck, Teresa Weber, Dorian Hammerl, Regina Penz

StartClim2011.D: Adapting Austrian forestry to climate change: Assessing the drought tolerance of Austria's autochthonous tree species

Institute of Botany, BOKU: Gerhard Karrer, Gabriele Bassler
Institute of Forest Ecology, BOKU: Helmut Schume, Bradley Matthews
Vienna Institute for Nature Conservation and Analysis, V.I.N.C.A: Wolfgang Willner

Wissenschaftliche Leitung und Koordination

Institut für Meteorologie, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien
Univ. Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb, Mag. Ingeborg Schwarzl, DI Thomas Gerersdorfer

Wissenschaftlicher Beirat

Dr. Jill Jäger, Sustainable Europe Research Institute (SERI)
Prof. Dr. Hartmut Graßl, Max-Planck-Institut für Meteorologie/Universität Hamburg
SC Christian Küchli, Dr. Sabine Augustin, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald

Koordinierungsgremium

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Elfriede Fuhrmann, Helmut Hojesky, Birgit Kaiserreiner,
Barbara Kronberger-Kießwetter, Andreas Pichler, Florian Rudolf-Miklau, Heinz Stiefelmeyer, Stefan Vetter

Bundesministerium für Gesundheit

Ulrich Herzog, Fritz Wagner, Robert Schlögel

Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung

Christian Smoliner, Ingrid Elue

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend

Eva Dolak, Herwig Dürr, Monika Wallergraber

Österreichische Bundesforste

Norbert Putzgruber

Österreichische Hagelversicherung

Kurt Weinberger, Josef Rohregger

Österreichische Nationalbank

Johann Jachs

Umweltbundesamt

Karl Kienzl, Maria Balas, Sabine McCallum

Verbund AHP

Otto Pirker, Michael Tauber

Administrative Projektkoordination

Umweltbundesamt
Maria Balas, Karl Kienzl, Sabine McCallum

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung -----	7
1 Das Forschungsprogramm StartClim -----	10
2 StartClim2011.A: Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf Voltinismus und Ausbreitung des Buchdruckers, <i>Ips typographus</i>, im alpinen Raum -----	11
3 StartClim2011.B: Analyse des Störungsregimes in Österreichs Wäldern als Grundlage zur Ableitung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel -----	14
4 StartClim2011.C: Auswirkungen von Bodentrockenheit auf die Transpiration österreichischer Baumarten -----	17
5 StartClim2011.D: Erfassung und Nutzung des Potentials der autochthonen Baumarten Österreichs hinsichtlich Ihrer Performance beim aktuellen und zukünftigen Klimastress -----	21
6 Literaturverzeichnis -----	25
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis -----	36
Anhang -----	37

Kurzfassung

Das Klimaforschungsprogramm StartClim widmet sich seit 2008 dem Thema Anpassung an den Klimawandel. Das „Jahr des Waldes“ 2011 war Anlass, das Themenfeld „Wald“ in Österreich in Bezug auf die Anpassung zum Klimawandel in den Mittelpunkt zu stellen, und damit auch einen Beitrag zur Anpassungsstrategie für Österreich zu leisten.

Die Arbeiten beschäftigen sich mit Fragen rund um das hoch vulnerable Ökosystem Wald. Sie unterstreichen unter dem Aspekt einer weiteren klimabedingten Intensivierung von Waldschäden die Bedeutung der ökosystemaren Leistungen von Wäldern, mögliche Potentiale sowie notwendige Anpassungsmaßnahmen in der Waldbewirtschaftung.

Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf Voltinismus und Ausbreitung des Buchdruckers, *Ips typographus*, im alpinen Raum

Massenvermehrungen des Buchdruckers (*Ips typographus*) stellen derzeit für die fichtendominanten Wälder in Mitteleuropa das größte forstwirtschaftliche Problem dar. Neben der hohen Vermehrungskapazität der Käferart selbst sind es hauptsächlich klimatische Bedingungen, die die Anzahl der möglichen Käfergenerationen im Jahr (Voltinismus der Käferart) und somit das Zustandekommen hoher Populationsdichten des Insekts beeinflussen. Ziel dieser StartClim Studie war, in einem überschaubaren Kar des Wildnisgebietes Dürrenstein („Hundsau“) den Einfluss von kleinklimatischen Standorts- und Bestandesbedingungen auf die Dynamik der Populationsdichte des Buchdruckers *Ips typographus* und sein Ausbreitungsverhalten ohne Störung durch forstwirtschaftliche Schutzmaßnahmen zu erheben. Dazu diente einerseits eine retrospektive Analyse der Populationsdichte des Käfers, in der die Anzahl der käferbefallenen Fichten während der Jahre 2003-2011 mit den entwicklungsbeeinflussenden klimatischen Faktoren (Temperatur und Einstrahlungsintensität) sowie den für den Befall ausschlaggebenden prädisponierenden Faktoren des Standortes und der Bestände verglichen wurde. Die Ergebnisse der retrospektiven Analyse zeigen, dass hohe Schadholzmengen durch Borkenkäferbefall in dem Untersuchungsgebiet nur nach Extremereignisse, wie z.B. das Lawinenereignis 2009, auftraten, wenn eine enorme Menge an bruttauglichen Bäumen den Käfern zur Verfügung stand. Dagegen konnte kein direkter oder zeitlich verzögert wirkender Zusammenhang zwischen Temperaturbedingungen während der Vegetationsperiode oder der errechneten Anzahl potentieller Käfergenerationen und der Neubefallsrate von Bäumen festgestellt werden.

Von der Gesamtfläche des Wildnisgebietes Dürrenstein zeigten vor allem die südexponierten Hänge höhere Prädispositionsklassen. Rasterzellen, bei denen das Prädispositionsmodell PAS eine hohe Gefahrenstufe aufgrund des Fichtenanteils, des Bestandesalters, der Sturmgefährdung sowie der Standortvariablen Geländemorphologie und Schneebruchgefährdung errechnet hatte, wurden bevorzugt befallen. Während der letzten zehn Jahre erreichte die Populationsdichte des Buchdruckers jedoch nie solche Ausmaße, dass es zu einem vollständigen Befall der hochgradig prädisponierten Flächen kam.

Mithilfe von Lockstofffallen wurde darüber hinaus die Ausbreitung des Buchdruckers (Flugrichtung und Entfernung) von Brutstämmen untersucht, die nach dem Befall mit fluoreszierendem Farbstoff behandelt wurden. Obwohl die Monatsmitteltemperaturen von Mai bis August 2012 um 1,8°C über dem Normalwert von 1971-2000 lagen (Klimastation Mariazell), entwickelte sich im Untersuchungsgebiet nur eine Generation des Buchdruckers inklusive Geschwisterbrut. Mehr als 50 % aller markierten, gefangenen Buchdrucker wurden im Umkreis von 100 m, vorwiegend in südwestlicher Richtung um die Schlüpfstelle der Käfer gefangen. In einem Radius von 500 m wurden 93 % der markierten Käfer in den Fallen gefunden. Inwieweit eine für dieses Gebiet erwartete Temperaturzunahme von +1,1°- 2°C (2021-2050) bzw. +3°- 3,9°C (2050-2071) die bis dato vorherrschende univoltine Entwicklung des Buchdruckers wirklich beeinflusst, bedarf weiterer Untersuchungen.

Analyse des Störungsregimes in Österreichs Wäldern als Grundlage zur Ableitung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel

Störungsfrequenz und –magnitude haben in Österreichs Wäldern in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen, wobei sowohl Klimawandel als auch Änderungen in Waldstruktur und –zusammensetzung zu diesem Anstieg beigetragen haben. Wind, Borkenkäfer und Schnee sind die bedeutendsten Störungsursachen in Österreich. In den Jahren 2002 - 2010 verursachten sie Schäden von jeweils durchschnittlich 3,1 Mio. m³, 2,2 Mio. m³ und 0,6 Mio m³ pro Jahr (i.e. in Summe 33,7 % des durchschnittlichen Holzeinschlages der gleichen Periode). Darüber hinaus lassen Szenarioanalysen eine weitere, klimabedingte Intensivierung von Waldschäden in Zukunft erwarten. Eine derartige Entwicklung würde nicht nur die nachhaltige Holzproduktion beeinträchtigen, sondern auch Ökosystemleistungen wie z.B. den Schutz vor Naturgefahren oder die Sequestrierung von Kohlenstoff gefährden.

Ziel der vorliegenden Studie war es, durch ein verbessertes quantitatives Verständnis des Störungsregimes in Österreich zur Entwicklung von Anpassungsstrategien in der Waldbewirtschaftung beizutragen. Analysiert wurde dazu die räumliche und zeitliche Variation von Wind-, Borkenkäfer- und Schneeschäden in Österreich auf der Ebene von Forstbezirken (n=72) für die Periode 2002 - 2010. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass ein bedeutender Teil der räumlichen Variation (21,1 – 44,0%) von Störungsschäden in Österreich durch prädisponierend wirkende Faktoren erklärt werden kann. Ein Großteil dieser Faktoren ist durch Waldbewirtschaftung entweder unmittelbar (z.B. durch waldbauliches Steuern von Waldzusammensetzung und -struktur) oder mittelbar (z.B. durch Verringerung von Stammschäden, geänderte Waldbausysteme) beeinflussbar. Den höchsten Einfluss auf alle drei Schadarten hatte die Baumartenzusammensetzung (Fichten- bzw. Koniferenanteil).

Im Gegensatz zu prädisponierenden Faktoren zeigte die Analyse von kurzfristigen, auslösende Faktoren (weitere 11,1% - 23,1% der Variation in Österreichs Störungsregime), dass diese vor allem mit Wettervariablen und Wechselwirkungen im Störungsregime assoziiert sind, und daher nur geringfügig durch Anpassungsmaßnahmen beeinflussbar sind. In Hinblick auf die Klimasensitivität des österreichischen Störungsregimes lässt sich auf Basis der vorliegenden Analysen schlussfolgern, dass steigende Temperaturen sowie höhere Variation in der Wasserversorgung mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem weiteren Anstieg von Störungsschäden führen werden. Diese beträchtliche Klimasensitivität unterstreicht die Bedeutung von Anpassungsmaßnahmen im Bereich des Störungsmanagements, um Waldfunktionen auch in Zukunft nachhaltig zur Verfügung stellen zu können. Die vorliegende Studie zeigt diesbezügliche mögliche (räumliche sowie methodische) Ansatzpunkte auf. Sie dokumentiert das große Potential des Waldbaus im Störungsmanagement (z.B. durch die Förderung von diversen, an die standörtlichen Gegebenheiten angepassten Beständen), unterstreicht aber auch die Notwendigkeit, die diesbezüglich langen Vorlaufzeiten zu berücksichtigen.

Auswirkungen von Bodentrockenheit auf die Transpiration österreichischer Baumarten

Durch Änderungen der Spaltöffnungsweite können Pflanzen die Transpiration während Phasen von Bodentrockenheit regulieren, um das Risiko von Austrocknung und damit einhergehenden Schäden an Pflanzengeweben zu vermeiden. Dieser Regulationsmechanismus beeinflusst über die Photosynthese jedoch den Trockensubstanzzuwachs und damit den forstlichen Ertrag, das bodennahe Klima und den Wasserhaushalt von Ökosystemen und Landschaften. In StartClim2011.C wurde untersucht wie sich verschiedene Baumarten Europas in dieser Reaktion auf Bodentrockenheit unterscheiden. Dazu wurde einerseits eine Literatursuche der zu diesem Thema vorhandenen Publikationen, andererseits ein Austrocknungsexperiment mit eingetopften Jungbäumen durchgeführt.

Die Literatursuche zeigte, dass trotz einer großen Anzahl von Publikationen zu diesem Thema, nur ein geringer Anteil (ca. 20%) auswertbare Daten enthält. Als Konsequenz davon gibt es nur für eine geringe Zahl von Baumarten und für eine noch geringere Anzahl von Pflanzenwasserhaushaltsparametern genügend Daten um aussagekräftige Aussagen zu Unterschieden in der Antwort unterschiedlicher Baumarten auf Bodentrockenheit zu machen. Das

Austrocknungsexperiment zeigte, dass Nadelbäume vorsichtiger auf Bodentrockenheit reagieren als Laubbäume und bereits bei beginnendem Wasserstress die Spaltöffnungsweite regulieren. Dadurch erleiden sie weniger Embolien als Laubbäume. Je nach Intensität und Dauer von Trockenphasen und abhängig vom Bodenvolumen aus dem die Bäume über ihr Wurzelsystem Wasser beziehen können, scheinen die untersuchten Nadelbäume die bessere Strategie für den Umgang mit Trockenperioden zu haben. Diese Schlussfolgerung bedarf allerdings noch einer Bestätigung mittels Untersuchungen an erwachsenen Bäumen an ihrem natürlichen Standort. Wenn sich das Ergebnis bestätigt, bedeutet das für die Waldbewirtschaftung, dass manche Nadelbaumarten für Aufforstung an Bedeutung gewinnen werden.

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Analysen und die notwendigen, weiteren Studien werden zu verbesserten forstlichen Managementstrategien (Arten- und Sortenauswahl für Aufforstungen, Bewirtschaftungstechniken etc.) unter sich ändernden klimatischen Bedingungen führen.

Erfassung und Nutzung des Potentials der autochthonen Baumarten Österreichs hinsichtlich Ihrer Performance beim aktuellen und zukünftigen Klimastress

Bevor man in der Forstwirtschaft als Reaktion auf die Herausforderungen des Klimawandels unreflektiert auf fremdländische Baumarten setzt, sollte das Potential der in Österreich heimischen Arten gegenüber besonders wirksamen klimatischen Stressfaktoren wie Trockenheit oder Extremtemperaturen erfasst und genutzt werden. Dies wäre von Vorteil weil der Anbau fremdländischer Arten oftmals mit erhöhten biotischen und abiotischen Risiken verbunden ist. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Verwendung von besser angepassten Herkünften einer Art (oder von besser geeigneten Arten derselben Gattung) liegt darin, dass das Risiko der mit einem Baumartenwechsel meist verbundenen Standortsveränderungen gering gehalten werden kann. Die von den dominanten Baumarten abhängige Biozönosen und Nahrungsketten unterliegen dadurch nur geringfügigen Anpassungserfordernissen. Auch die lieferbaren Holzsortimente blieben so im Wesentlichen erhalten.

Um mögliche geeignete, hitze- und trockenresistente Baumbestände zu finden, wurden in diesem Projekt die Bandbreiten von 22 waldbaulich und ökosystemar bedeutsamen einheimischen Baumarten bezüglich ihres Anspruchs an den Wasserhaushalt mittels ökologischer Bioindikation charakterisiert. Man verwendet dazu die numerisch skalierten ökologischen Zeigerwerte nach Ellenberg, wie sie für die gesamte österreichische Flora verfügbar sind. Standortsmerkmale wie der Wasserhaushalt werden durch die Berechnung eines mittleren Wertes aus den Einzelwerten aller in einem konkreten Bestand vorkommenden Arten indiziert. In Hinblick auf die im Zusammenhang mit dem Klimawandel erwarteten höheren Temperaturen und größere Trockenheit im Sommer, wurden die trockensten 10 Prozent der Standorte jeder Art lokalisiert und hinsichtlich ihrer Seehöhe und Exposition charakterisiert. Bäume aus diesen Beständen können als besonders trockenstresstolerant angesehen und in weiterer Folge zur Gewinnung von forstlichem Vermehrungsgut herangezogen werden. Der forstlichen Praxis wird damit die wichtige Information des „woher Nehmens“ geliefert, wenn es um den Umbau von Beständen in Richtung besser an zukünftigen Klimastress angepasster Waldökosysteme geht. Die verwendeten Datenpools dieses Projektes stehen allen interessierten Nutzern zwecks Herkunftssuche zur Verfügung.

1 Das Forschungsprogramm StartClim

Das Forschungsprogramm StartClim, ist ein flexibles Instrument, das durch die kurze Laufzeit und die jährliche Vergabe von Projekten rasch aktuelle Themen im Bereich Klimawandel aufgreifen kann. Es wird von einem Geldgeberkonsortium finanziert, das neun Institutionen umfasst:

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011)
- Bundesministerium für Gesundheit und Frauen (2005, 2006, 2007)
- Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010)
- Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011)
- Österreichische Bundesforste (2008, 2009, 2010, 2011)
- Österreichische Nationalbank (2003, 2004)
- Österreichische Hagelversicherung (2003, 2004, 2006, 2007, 2008)
- Umweltbundesamt (2003)
- Verbund AHP (2004, 2007)

Seit 2008 widmet sich StartClim Themen zur Anpassung an den Klimawandel und liefert damit wertvolle Beiträge zur Erstellung und Umsetzung der nationalen Anpassungsstrategie für Österreich.

Die Projekte in StartClim2011 befassen sich insbesondere mit dem Themenfeld Wald. Verschiedene Aspekte, die für die Anpassung an den Klimawandel für den Wald von Bedeutung sind, werden in vier Teilprojekten behandelt. Darin geht es um Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf Voltinismus und Ausbreitung des Buchdruckers im alpinen Raum, um die Analyse des Störungsanstiegs in Österreichs Wäldern, um Auswirkungen von Bodentrockenheit auf die Transpiration österreichischer Baumarten und schließlich um die Erfassung und Nutzung des Potentials der autochthonen Baumarten Österreichs beim aktuellen und künftigem Klimastress.

Im vorliegenden, zusammenfassenden Kurzbericht werden die Ergebnisse aller Teilprojekte kurz und allgemein verständlich beschrieben. Dieser Bericht erscheint auch in englischer Sprache. Die ausführlichen Berichte der einzelnen Teilprojekte sind in einem eigenen Sammelband zusammengefasst, der ebenso wie die Teilprojekte auf der StartClim-Webpage (www.austroclim.at/startclim/) elektronisch erhältlich ist. Zusätzlich werden eine CD-ROM mit allen StartClim-Berichten und ein Folder mit einer Kurzzusammenfassung der Ergebnisse in beschränkter Auflage erstellt.

2 StartClim2011.A: Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf Voltinismus und Ausbreitung des Buchdruckers, *Ips typographus*, im alpinen Raum

Massenvermehrungen des Buchdruckers (*Ips typographus*) stellen derzeit für die fichtendominanten Wälder in Mitteleuropa das größte forstwirtschaftliche Problem dar. Neben der hohen Vermehrungskapazität der Käferart selbst sind es hauptsächlich klimatische Bedingungen, die die Anzahl der möglichen Käfergenerationen im Jahr (Voltinismus der Käferart) und somit das Zustandekommen hoher Populationsdichten des Insekts beeinflussen. Voraussetzung für Massenvermehrungen des Buchdruckers ist eine ausreichende Menge an bruttauglichem Baummaterial, wie es häufig nach Sturm-, Schneebruch- oder Lawinenereignissen auftritt. In Folge können dann warme und trockene Witterungsbedingungen zu einem raschen Populationsanstieg des Käfers führen. Neben der hohen Vermehrungskapazität der Borkenkäferart selbst sind es hauptsächlich klimatische Bedingungen, die die Entwicklung und Generationenzahl des Insekts beeinflussen. Für die Abschätzung des Risikos von Borkenkäfer-Massenvermehrungen und das Einleiten von rechtzeitigen Bekämpfungsmaßnahmen ist sowohl die Kenntnis über die Störungsanfälligkeit des Standorts und der Bestände hinsichtlich des Auftretens extremer Witterungsereignisse (Prädisposition) als auch das Wissen über die Anzahl der möglichen Käfergenerationen im Jahr (Voltinismus der Käferart) und das Ausbreitungsverhalten der Käferpopulation von entscheidender Bedeutung.

Ziel dieser Studie war es, in einem überschaubaren Kar des Wildnisgebietes Dürrenstein („Hundsau“) den Einfluss von kleinklimatischen Standorts- und Bestandesbedingungen auf die Dynamik der Populationsdichte des Buchdruckers und sein Ausbreitungsverhalten ohne Störung durch forstwirtschaftliche Schutzmaßnahmen zu erheben. Dazu diente einerseits eine retrospektive Analyse der Populationsdichte des Käfers, in der die Anzahl der käferbefallenen Fichten während der Jahre 2003-2011 mit den entwicklungsbeeinflussenden klimatischen Faktoren (Temperatur und Einstrahlungsintensität) sowie den für den Befall ausschlaggebenden prädisponierenden Faktoren des Standortes und der Bestände verglichen wurde. Andererseits wurde die Ausbreitung des Buchdruckers von Brutstämmen untersucht, die nach dem Befall durch den Buchdrucker mit fluoreszierendem Farbstoff behandelt wurden. Die Flugrichtung und Flugentfernung der sich beim Ausschlüpfen selbst markierenden Käfer wurden anschließend mit Hilfe von Lockstofffallen (Pheromonfallen) bestimmt, die konzentrisch mit unterschiedlichen Abständen um die Brutstämme aufgestellt waren. Letztendlich dienten auch die aus dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse dazu, ein Szenario über die Ausbreitung des Käfers bei einer Klimaerwärmung von +1,6°C bzw. +3,4°C zu simulieren.

Die Ergebnisse der retrospektiven Analyse zeigen, dass hohe Schadholzmengen durch Borkenkäferbefall in dem Untersuchungsgebiet nur nach Extremereignissen, wie z.B. das Lawinenereignis 2009, auftraten, wenn eine enorme Menge an bruttauglichen Bäumen den Käfern zur Verfügung stand. Dagegen konnte kein direkter oder zeitlich verzögert wirkender Zusammenhang zwischen Temperaturbedingungen während der Vegetationsperiode oder der errechneten Anzahl potentieller Käfergenerationen und der Neubefallsrate von Bäumen festgestellt werden. So wirkte sich auch der überdurchschnittlich warme Sommer im Jahr 2003 nicht auf eine Zunahme der Populationsdichte des Käfers aus.

Von der Gesamtfläche des Wildnisgebietes Dürrenstein zeigten vor allem die südexponierten Hänge höhere Prädispositionsklassen. Über den Zeitraum von 2003-2011 wurden von den insgesamt 3788 Rasterzellen (30 x 30 m) der Aufnahmefläche Hundsau 423 durch den Buchdrucker befallen (Abb. 1), das sind ca. 7 % der Gesamtfläche. Rasterzellen, bei denen das Prädispositionsmodell PAS eine hohe Gefahrenstufe aufgrund des Fichtenanteils, des Bestandesalters, der Sturmgefährdung sowie der Standortvariablen Geländemorphologie und Schneebruchgefährdung errechnet hatte, wurden bevorzugt befallen. Jedoch erreichte der Buchdrucker in dem Untersuchungsgebiet niemals solche Populationsdichten, dass alle Flächen mit hoher Gefährdungsbewertung befallen wurden.

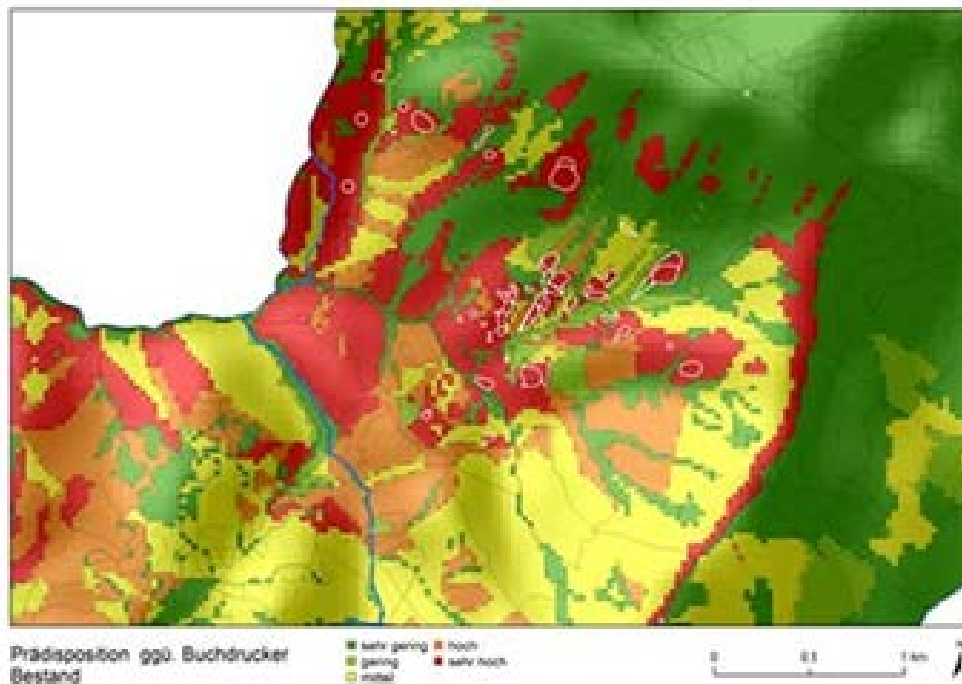


Abb. 1: Einteilung der Aufnahmefläche "Hundsau" in Prädispositionsklassen „sehr gering“ (dunkelgrün), „gering“ (hellgrün), „mittel“ (gelb), „hoch“ (orange), „sehr hoch“ (rot). Weiße Umrandung: Flächen die zwischen 2003-2011 vom Buchdrucker befallen wurden.

Um die Faktoren zu erfassen, die das Ausbreitungsverhalten des Käfers für einen Neubefall beeinflussen, wurden Markierungsexperimente durchgeführt.

Mehr als 50 % aller markierten, gefangenen Buchdrucker wurden im Umkreis von 100 m, vorwiegend in südwestlicher Richtung um die Schlüpfstelle der Käfer gefangen. In einem Radius von 500 m wurden 93 % der markierten Käfer in den Fallen gefunden. Insgesamt wurden in den elf Pheromonfallen im Hundsau-Gebiet 1478 markierte Buchdrucker gefangen (Abb. 2). Dies entspricht einer Fangrate von ca. 22 % der aus den Brutstämmen geschlüpfte Käfer. Die Ergebnisse über die Ausbreitungsentfernung bestätigen somit die bisher beobachteten Werte aus einer retrospektiven Untersuchung über die räumlich-zeitliche Dispersion von Befallsflächen des Buchdruckers im Nationalpark Bayerischer Wald.

Bezüglich des Einflusses des Klimawandels lieferte das Jahr 2012 wichtige Daten. Obwohl die Monatsmitteltemperaturen von Mai bis August 2012 um 1,8°C über dem Normalwert von 1971-2000 lagen (Klimastation Mariazell), entwickelte sich im Untersuchungsgebiet nur eine Generation des Buchdruckers inklusive Geschwisterbrut. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hohen Niederschlagsmengen im Juli die Flugaktivität und somit auch die Fortpflanzungsbereitschaft der Käfer sicherlich negativ beeinflusst haben, wie die Fangraten markierter Käfer in diesem Zeitraum zeigten. Es dokumentiert jedoch, dass nicht nur die Temperatur für den Entwicklungszyklus des Buchdruckers ausschlaggebend ist. Ob eine für dieses Gebiet erwartete Temperaturzunahme von +1°- 2°C in der Periode 2021 bis 2050 die bis dato vorherrschende univoltine Entwicklung des Buchdruckers wirklich beeinflusst, ist daher eher fraglich. Da ein einziges Fallbeispiel jedoch keine schlüssige Aussagen zulässt, bedarf diese Frage weiterer Untersuchungen. Dazu bieten sich Modellberechnungen an, die zunächst an den vergangenen Fallbeispielen kalibriert werden müssen. Der Datensatz der Hundsau kann dabei wertvolle Hilfe leisten. Modelle werden auch gebraucht, um abzuschätzen, ob und wann es in einem Szenarium mit +3°- 4°C für der Periode 2050-2071 zu einer Umstellung kommt.

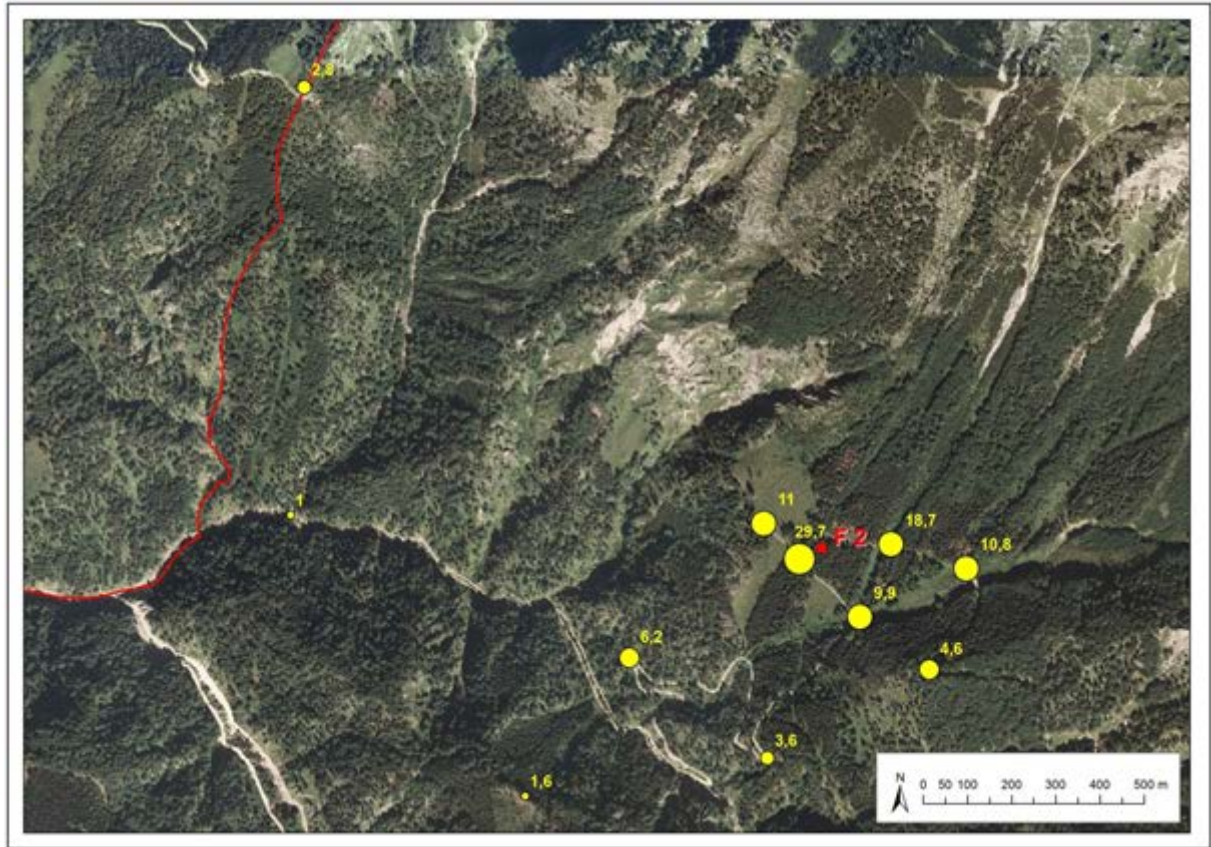


Abb. 2: Fangrate markierter Buchdrucker über den Versuchszeitraum 13.06. bis 30.08.2012 im "Hundsau"-Gebiet 2012; Angabe in % je Pheromonfalle. F2 = Stelle des Ausschlüpfens markierter Käfer aus den Brutstämmen.

3 StartClim2011.B: Analyse des Störungsregimes in Österreichs Wäldern als Grundlage zur Ableitung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel

Störungsfrequenz und –magnitude haben in Österreichs Wäldern in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen, wobei sowohl Klimawandel als auch Änderungen in Waldstruktur und –zusammensetzung zu diesem Anstieg beigetragen haben. Wind, Borkenkäfer und Schnee sind die bedeutendsten Störungsursachen in Österreich. In den Jahren 2002 - 2010 bewirkten sie Schäden von jeweils durchschnittlich 3,1 Mio. m³, 2,2 Mio. m³ und 0,6 Mio m³ pro Jahr (i.e. 33,7 % des durchschnittlichen Holzeinschlages der gleichen Periode). Darüber hinaus lassen Szenarioanalysen eine weitere, klimabedingte Intensivierung von Waldschäden in Zukunft erwarten. Eine derartige Entwicklung würde nicht nur die nachhaltige Holzproduktion beeinträchtigen, sondern auch Ökosystemleistungen, wie z.B. den Schutz vor Naturgefahren (z.B. Lawinen, Muren, Steinschlag) oder die Sequestrierung von Kohlenstoff (i.e., Klimaschutz-Funktion des Waldes), gefährden. Somit gewinnt das Management von Störungen (deren Vorbeugung und Bewältigung) in Waldökosystemen stark an Relevanz. Vor allem für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen ist Störungsmanagement von zentraler Bedeutung: So führt der Aktionsplan zur Österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel die Verbesserung des Störungs- und Kalamitätsmanagements als ein wichtiges Handlungsfeld im Rahmen von Anpassungsmaßnahmen im Wald an. Auch auf europäischer Ebene hat die Ministerkonferenz zum Schutz des Waldes in Europa in der jüngst unterzeichneten Osloer Erklärung einen verstärkten Fokus auf Störungen gefordert, um die Nachhaltigkeit europäischer Wälder und ihrer Funktionen auch in Zukunft zu gewährleisten.

Ziel der vorliegenden Studie war es, durch ein verbessertes quantitatives Verständnis von Österreichs Störungsregime zur Entwicklung von Anpassungsstrategien in der Waldbewirtschaftung beizutragen und somit die Implementierung dieser politischen Anpassungsziele zu unterstützen. Analysiert wurde dazu die räumliche und zeitliche Variation von Wind-, Borkenkäfer- und Schneeschäden in Österreich auf der Ebene von Forstbezirken (n=72) für die Periode 2002 - 2010. Im Speziellen sollten die Haupteinflussgrößen auf Störungsprädisposition (i.e., das langfristige, durch Klima, Waldzusammensetzung und -bewirtschaftung geprägte Schadrisko) analysiert und darauf aufbauend räumliche "Hotspots" identifiziert werden, um Gebiete mit hoher Priorität für Anpassungsmaßnahmen auszuweisen. Weiters war das Ziel, zusätzlich zu langfristig wirksamen Prädispositionsfaktoren auch kurzfristig wirkende, auslösende Faktoren (z.B. Wetterextreme, Wechselwirkungen mit Schäden im Vorjahr oder solchen einer anderen Störungsursache) zu untersuchen und auf mögliche Frühwarnindikatoren für das Störungsmanagement hin zu analysieren.

Als Datengrundlage wurden die Daten der Österreichischen Dokumentation von Waldschädigungsfaktoren sowie der Österreichischen Waldinventur herangezogen und mit Klima- und Wetterdaten kombiniert. Die statistische Analyse der Daten stützte sich nach einer explorativen Korrelationsanalyse in einem zweistufigen Analyseverfahren auf eine Hauptkomponentenregression (Prädisposition - räumliche Variation) sowie eine dieser nachgeordneten multiplen linearen Regression (auslösende Faktoren - zeitliche Variation).

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass ein bedeutender Teil der räumlichen Variation von Störungsschäden in Österreich durch prädisponierend wirkende Faktoren erklärt werden kann (Wind: 34,4%, Borkenkäfer: 44,0%, Schnee: 21,1%). Ein Großteil dieser Faktoren ist durch Waldbewirtschaftung entweder unmittelbar (z.B. durch waldbauliches Steuern von Waldzusammensetzung und -struktur) oder mittelbar (z.B. durch Verringerung von Stamm-schäden, geänderte Waldbausysteme) beeinflussbar. Den mit Abstand stärksten Einfluss auf alle drei Schadarten hatte die Baumartenzusammensetzung, wobei ein erhöhter Fichten- bzw. Koniferenanteil den größten verstärkenden Effekt auf Störungsschäden hatte. Eine Anpassung der Bewirtschaftung in Richtung gemischter und weniger stark nadelholzdominierter

Bestände kann daher gemäß der vorliegenden Analysen zu einer deutlichen Reduktion der Störungsprädisposition (simultan für Wind-, Borkenkäfer-, und Schneeschäden) beitragen. Weitere wichtige durch Waldbewirtschaftung beeinflussbare Prädispositionsindikatoren waren der stehende Vorrat (v.a. für Wind, Borkenkäfer), die Abweichung von der potentiell natürlichen Waldgesellschaft (v.a. für Borkenkäfer) sowie Stammschäden durch Ernte und Wild (v.a. für Schnee). Die bedeutendsten klimatischen Einflussfaktoren auf Prädisposition waren die Variabilität in der Wasserversorgung sowie die Temperatur, welche beide stark positiv mit Borkenkäferschäden assoziiert waren.

Um die Prioritätensetzung in der Entwicklung und Implementierung von Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen, wurden auf Basis der Ergebnisse der Hauptkomponentenregression räumliche Störungshotspots identifiziert (Abb. 3). Dabei zeigte sich, dass vor allem weite Teile Oberösterreichs sowie Niederösterreichs westlich der Traisen hohe Wind- und Käferprädisposition aufweisen. Anpassungsmaßnahmen mit dem Ziel eines verbesserten Störungsmanagements in diesen Bereichen sind daher von spezieller Bedeutung. Der sommerwarme Osten Österreichs weist hingegen eine niedrige Prädisposition gegenüber allen drei in StartClim2011.B untersuchten Schadfaktoren auf.

Im Gegensatz zu den signifikant beeinflussbaren (aber sehr trägen) prädisponierenden Faktoren zeigte die Analyse von kurzfristig auftretenden, auslösenden Faktoren, dass diese vor allem mit Wetter und Wechselwirkungen im Störungsregime assoziiert sind, und daher nur geringfügig durch Anpassungsmaßnahmen beeinflussbar sind. Die große Bedeutung von zeitlichen Störungsinteraktionen auf Borkenkäferschäden kann jedoch als Frühwarnindikator von Bedeutung für die Bewirtschaftung sein. Die Analyse ergab diesbezüglich, dass für jeden Festmeter Borkenkäferschaden über dem Hintergrundschadniveau im Folgejahr weitere 0,56 Festmeter Schadholz erwartet werden müssen und unterstreicht damit die Bedeutung und das Potential von verstärktem Monitoring und Bekämpfung in Ausbruchphasen. In Summe konnten durch auslösende Faktoren weitere 11,1% und 23,1% der Variation in Wind- und Borkenkäferschäden erklärt werden - die vorliegende Analyse dieser beiden Schadfaktoren deckt somit 45,5% bzw. 67,1% ihrer räumlichen und zeitlichen Variation in Österreich 2002 - 2010 ab.

In Hinblick auf die Klimasensitivität kann auf Basis der vorliegenden Analysen gefolgert werden, dass steigende Temperaturen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem weiteren Anstieg von Borkenkäferschäden in Österreich führen werden. Zudem können eine steigende Variabilität in den Niederschlägen und eine gebietsweise steigende Wahrscheinlichkeit von Nassschneeereignissen zu einer Erhöhung der Borkenkäfer- bzw. Schneepreädisposition beitragen. Diesbezüglich weist die komplementäre, auf Bestandes- bis Landschaftsebene durchgeführte Fallstudie StartClim2011.A jedoch auf die Bedeutung von regionalen Gegebenheiten (z.B. Topographie, Seehöhe) hin und unterstreicht, dass die Klimasensitivität von Störungsregimes, nicht zuletzt aufgrund ihrer Nichtlinearität, lokal sehr unterschiedlich ausfallen kann. Weiters ist zu berücksichtigen, dass der Klimawandel nicht nur die langfristigen Klimabedingungen ändern, sondern auch kurzfristige Wetterereignisse beeinflussen wird. So kann zum Beispiel eine Abnahme von Winterfrost-Bedingungen die Gefährdung gegen Winterstürme erhöhen, da gefrorener Boden die Stabilität von Bäumen gegenüber Wind signifikant erhöht. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass dynamische Interaktionen in Zeit und Raum (z.B. Wind – Borkenkäfer, oder Borkenkäfer im Vorjahr zu Borkenkäfer im Folgejahr) zu einer zusätzlichen Verstärkung von klimasensitiven Prozessen beitragen können. Dies unterstreichen auch die Ergebnisse von StartClim2011.A, in welchen Windwurf als Hauptauslöser für Borkenkäferschäden im montanen Raum identifiziert wurde. Die beträchtliche Klimasensitivität von Störungsregimes unterstreicht die Bedeutung von Anpassungsmaßnahmen im Bereich des Störungsmanagements in Österreich, um Waldfunktionen auch für die Zukunft nachhaltig zu sichern. Die vorliegende Studie zeigt diesbezügliche mögliche (methodische sowie räumliche) Ansatzpunkte auf. Sie dokumentiert das große Potential des Waldbaus im Störungsmanagement (z.B. durch die Förderung von diversen, an die standört-

lichen Gegebenheiten angepassten Beständen), unterstreicht aber auch die Notwendigkeit, die diesbezüglich langen Vorlaufzeiten zu berücksichtigen.

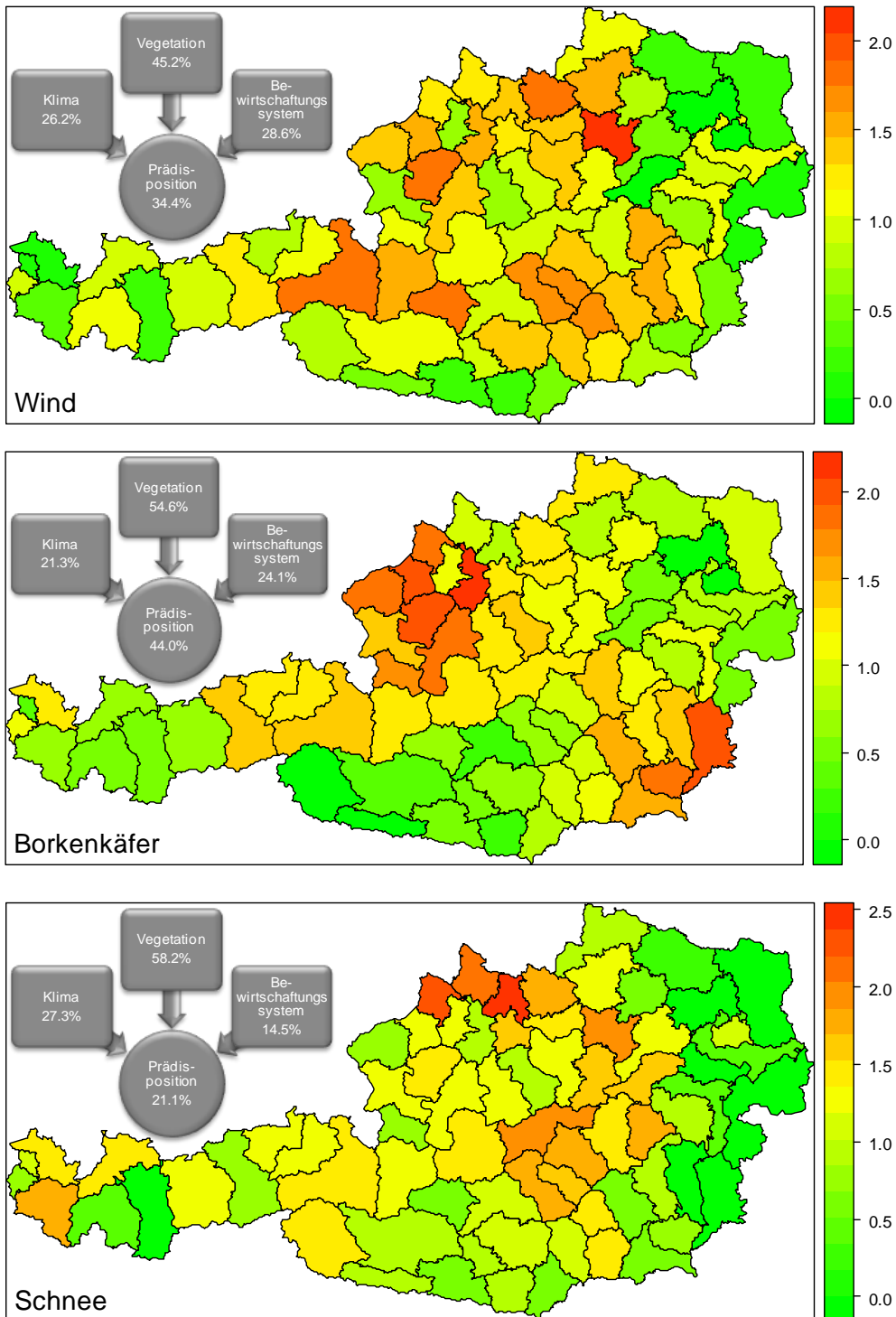


Abb. 3: Störungsprädisposition österreichischer Forstbezirke relativ zum Bundesmittelwert. Ein Wert von 1,5 bedeutet etwa, dass prädispositionsbedingt ein 50% höheres Schadniveau als im Bundesschnitt erwartet werden kann. Die Inserts zeigen den statistisch ermittelten Einfluss einzelner Faktorenkomplexe auf die Prädisposition, sowie den insgesamt durch die Prädispositionsanalyse erklärten Varianzanteil.

4 StartClim2011.C: Auswirkungen von Bodentrockenheit auf die Transpiration österreichischer Baumarten

Während regionale Klimaszenarien noch äußerst unsicher in Bezug auf die Größenordnung der zu erwartenden Niederschlagsänderungen sind, stimmt ein Großteil der aktuellen Modelle darin überein, dass sich der Trend zu sommerlicher Trockenheit in der Zukunft fortsetzen und weiter nach Norden verschieben wird. Gleichzeitig könnte der Niederschlag vermehrt in Form von Starkregenereignissen erfolgen, mit längeren Trockenperioden dazwischen. Hinzu kommt, dass etwaige erhöhte Niederschläge während des Winters durch die Temperaturzunahme vermehrt in flüssiger Form fallen und es daher auch zu Veränderungen in der Menge und dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit von Schmelzwasser kommt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass es zukünftig in Österreich während der Vegetationsperiode zu häufigeren, länger andauernden und/oder intensiveren Phasen von Trockenheit kommen wird.

Ob und wie Bäume und Pflanzen im Allgemeinen auf Bodentrockenheit reagieren, hängt - neben standörtlichen Faktoren - von ihrem Wasserbilanztyp ab: Sogenannte hydrostabile Arten sind bezüglich ihrer Wasserbilanz auf Sicherheit bedacht und reagieren bereits auf geringfügige Reduktionen des Blattwasserpotentials (Verfügbarkeit des Wassers im Blatt) mit Schließen der Spaltöffnungen, um weiterem Wasserverlust Einhalt zu gebieten. Im Gegensatz dazu riskieren sogenannte hydrolabile Arten größere Wasserverluste bevor die Spaltöffnungsweite reduziert wird. Die Reaktion der Spaltöffnungen auf zunehmende Bodentrockenheit und damit die Regulation der Transpiration hat eine Reihe von Auswirkungen:

Erstens für die Bäume selbst, da durch die Schließung der Spaltöffnung Trockenschäden vermieden werden. In dieser Hinsicht ist die konservativere Strategie von hydrostabilen Wasserbilanztypen jenen von hydrolabilen überlegen. Andererseits ist die Kohlendioxidassimilation und in weiterer Folge das Wachstum bei verengten Spaltöffnungen eingeschränkt, was hydrolabilen Wasserbilanztypen, vor allem bei nicht allzu extremer Bodentrockenheit, Vorteile verschaffen kann. Diese Aspekte sind für den forstlichen Ertrag von Relevanz. Es können sich dadurch über längere Sicht aber auch Verschiebungen der Artenzusammensetzung und Artenvielfalt ergeben. Mehr bzw. weniger Biomasseproduktion bedeutet auch vermehrte bzw. reduzierte Kohlenstoffspeicherung.

Ein zweiter Aspekt betrifft die Energiebilanz von Wäldern und das bodennahe Klima. Zur Verdunstung von Wasser wird Energie benötigt und die Transpiration führt daher zu einer Kühlung. Eine rasche Reduktion der Transpiration in Phasen von Trockenheit, welche häufig (in Form sog. Hitzewellen) mit erhöhten Temperaturen gekoppelt sind, führt daher zu einer positiven Rückkoppelung, d.h. hydrostabile Baumarten geben während kombinierten Phasen von Trockenheit und Hitze vermehrt Energie als fühlbare Wärme ab, d.h. dass die kühlende Wirkung von Vegetation sehr eingeschränkt ist, und hydrostabile Baumarten daher weniger als Anpassungsmaßnahme von Städten an den Klimawandel geeignet sind.

Drittens beeinflusst das unterschiedliche stomatare Regulationsverhalten von hydrostabilen und -labilen Baumarten die Wasserbilanz des Ökosystems Wald. Vereinfacht ausgedrückt wird Niederschlag entweder verdunstet oder speist den Abfluss. In Phasen geringer Niederschläge trägt das Offenhalten der Spaltöffnungen (d.h. hohe Transpirationsraten) durch hydrolabile Pflanzenarten daher zu einem (weiteren) Rückgang des Abflusses bei. Dadurch können Fernwirkungen für tiefer gelegene Regionen, deren Fließgewässer vom Abfluss aus Österreich bzw. den Alpen gespeist werden, entstehen, was der Fragestellung eine weitere, geopolitische Dimension verleiht.

Während baumartenspezifische Unterschiede in der Reaktion auf Bodentrockenheit vor allem aus ertragswirtschaftlicher Sicht untersucht wurden, fehlt bisher eine Betrachtung der Auswirkungen auf die Wasserbilanz von Bäumen, welche es erlaubt über den reinen Ertragsaspekt hinaus die oben genannten gesellschaftlichen und geopolitischen Implikationen zu quantifizieren.

Das übergeordnete Ziel des Projektes ist es daher die Datenlage und -konsistenz zur Reaktion österreichischer Baumarten auf Bodentrockenheit zu verbessern und damit wichtige Entscheidungsgrundlagen, unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte, für forstliche Maßnahmen betreffend der Baumartenzusammensetzung zu liefern. Im Detail geht es darum, Unterschiede in der Reaktion verschiedener Baumarten auf Bodentrockenheit und damit einhergehende funktionelle und strukturelle Pflanzenmerkmale zu quantifizieren. Dabei wird die Hypothese getestet, dass es interspezifische Unterschiede in der Reaktion auf Bodentrockenheit gibt und dass diese sich auf funktionelle und strukturelle Pflanzenmerkmale zurückführen lassen.

Zur Erreichung dieser Zielsetzung wurden zwei Strategien verfolgt: Erstens, wurde eine Meta-Analyse der relevanten wissenschaftlichen Literatur durchgeführt. Ziel dieser Strategie war es, die bestehende, umfangreiche Literatur zu dieser Thematik synthetisch auszuwerten. Der Nachteil dieses Ansatzes ist eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Daten auf Grund unterschiedlicher Untersuchungsmethoden, Versuchsbedingungen und anderer Faktoren, welche die Ergebnisse beeinflussen. Daher wurden in einem zweiten Ansatz 12 in Österreich vorkommenden Baumarten und solchen, von denen man annimmt, dass diese mittelfristig in Österreich häufiger auftreten bzw. einwandern werden, in einem Trockenexperiment unter gleichen Umweltbedingungen und mittels konsistenter Methodik auf ihr Spaltöffnungsverhalten während zunehmender Bodentrockenheit getestet.

Aus der Meta-Analyse geht hervor, dass - wie angenommen - eine große Zahl von Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt und publiziert wurde (>1800 Treffer in der Literatursuche), aber die Daten in weniger als 20% der Fälle eine Aufnahme in die Datenbank erlaubte. In den anderen Fällen lieferten allgemeine Beschreibungen, unvollständige Datensätze zwar Anhaltspunkte, aber keine quantitative, auf andere Situationen übertragbare Ergebnisse. Hier gibt es sicherlich auf forschungspolitischer Ebene Bedarf, für eine nachhaltige Verfügbarkeit von Daten, deren Erhebung in der Regel aus öffentlichen Mitteln finanziert wurde, zu sorgen. Als Konsequenz der relativen geringen Anzahl von auswertbaren Studien, waren kaum aussagekräftige und (statistisch) signifikante Erkenntnisse aus der Meta-Analyse zu gewinnen. Dafür verantwortlich war in erster Linie der Umstand, dass nur für eine geringe Anzahl von Baumarten ausreichende Stichprobengrößen (>30) vorhanden waren. Hinzu kam, dass nur wenige Studien die gleichen Parameter und vor allem Parameterkombinationen untersucht haben. Die Kombination dieser beiden Aspekte führte dazu, dass Faktoren wie Untersuchungsbedingungen, Alter der Bäume, Untersuchungsmethoden, etc. offensichtlich die gesuchten Effekte der Artidentität überlagerten. Während dies ein ernüchterndes Ergebnis dieser Arbeit darstellt, belegt es die Notwendigkeit der gewählten Strategie, die Meta-Analyse mit einem Austrocknungsexperiment, in dem unter den gleichen äußeren Bedingungen mit konsistenter Methodik gearbeitet wurde, zu koppeln.

Das Austrocknungsexperiment zeigt, dass die einzelnen Baumarten in ihrem Transpirationsverhalten sehr unterschiedlich reagieren (Abb. 4). Es gibt sehr „vorsichtige“ Arten, die bereits bei einem geringen Abfall der Wasserpotentiale die Spalten schließen. Alle untersuchten Koniferen sind dieser hydrostabilen Strategie zuzuordnen. Einige Laubholzarten, wie Bergahorn oder Esche, reagieren ebenfalls mit raschem Spaltenschluss auf zunehmendem Trockenstress, andere Laubholzarten sind hingegen als hydrolabil zu bezeichnen: sie riskieren tiefe Wasserpotentiale durch langes Offenhalten der Spalten, können jedoch noch über längere Zeit Photosynthese betreiben. Die Regulation der Spaltöffnungen stellt damit einen zentralen Aspekt des pflanzlichen Wasserhaushaltes mit weit reichenden Konsequenzen für die Pflanze und Ökosysteme dar.

Warum jedoch sind alle Arten gezwungen, bei Erreichen bestimmter Wasserpotentiale die Transpiration einzuschränken? Bei allen untersuchten Arten etwa war die stomatäre Leitfähigkeit unter -30 bar bereits vernachlässigbar gering (Abb. 4), keine der untersuchten Arten konnte sich ein Offenhalten der Stomata bei dieser Trockenstressintensität leisten. Ein Absinken des Wassergehaltes hat Auswirkungen auf zelluläre Strukturen und Funktionen, von größerer Bedeutung sind jedoch Schäden im Bereich des Transportsystems. Diese Embolien blockieren die Wasserversorgung der Pflanze und intensivieren so den Trockenstress, auch

wenn sich die Wasserverfügbarkeit im Boden wieder verbessert. Manche Pflanzen scheinen in der Lage zu sein, derartige Embolien zu reparieren. Dieser noch wenig untersuchte und kaum verstandene Prozess dürfte jedoch sehr energieaufwändig sein. Manche Arten, insbesondere Koniferen, dürften keine effizienten Reparaturmöglichkeiten besitzen – für diese Arten ist die Vermeidung von Embolien besonders wichtig.

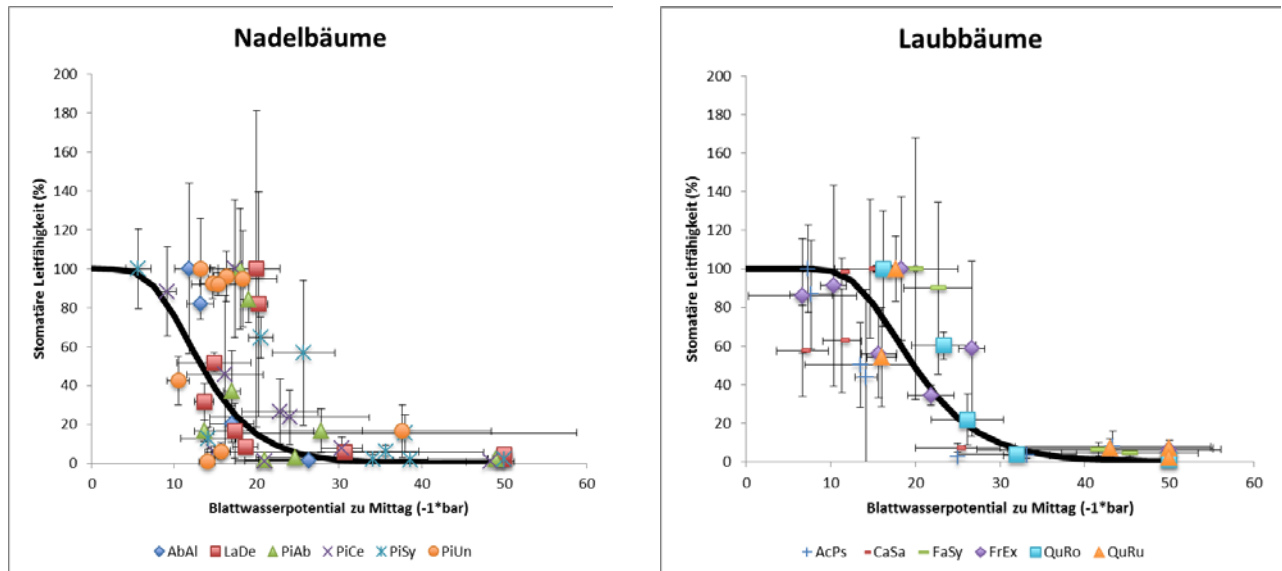


Abb. 4: Stomatäre Leitfähigkeit versus Wasserpotential zu Mittag (je stärker negativ das Wasserpotential ist, desto größer der Wasserstress) bei Nadelbäumen (links) und Laubbäumen (rechts). Es handelt sich um während des Austrocknungsexperimentes gemessene Werte (Mittelwerte \pm Standardabweichung). Die Baumartennamen wurden wie folgt abgekürzt: Tanne (AbAl), Lärche (LaDe), Fichte (PiAb), Zirbe (PiCe), Föhre (PiSy), Spirke (PiUn), Bergahorn (AcPs), Kastanie (CaSa), Buche (FaSy), Esche (FrEx), Stieleiche (QuRo) und Roteiche (QuRu).

Mit den durchgeführten Messungen konnte eine zentrale Komponente des pflanzlichen Wasserhaushaltes – das Transpirationsverhalten - analysiert werden. Für eine Übertragung der Ergebnisse auf die Situation am natürlichen Standort ist jedoch zu beachten, dass weitere wichtige Aspekte noch nicht berücksichtigt wurden: Die Ausdehnung und Effizienz des Wurzelsystems beeinflusst maßgeblich die Wasserversorgung einer Pflanze und damit Dauer und Intensität des Trockenstresses während niederschlagsarmer Perioden. In diesem Zusammenhang von großer Bedeutung ist auch das Verhältnis der transpirierenden Blattfläche zur Größe des Wurzelsystems. Wie auch im Experiment beobachtet, kann die transpirierende Fläche durch Blattwurf verringert werden (Abb. 5), wodurch der Stress für zentrale Pflanzenteile (Achsen) reduziert wird. Die Ergebnisse des Experiments können vermutlich auch nicht unmittelbar auf ausgewachsene Bäume übertragen werden, da sich diese in ihrer Hydraulik von Jungbäumen generell unterscheiden und die eingetopften Pflanzen in ihrem Wurzelraum mit Sicherheit limitiert waren. Nicht zuletzt sind die intraspezifische Variabilität hydraulischer Eigenschaften und mögliche Anpassungsstrategien von Bäumen noch unzureichend erforscht.

Dennoch stellen die erhobenen Daten eine wichtige Grundlage für weiterführende Untersuchungen dar, in denen insbesondere auch Langzeiteffekte und Auswirkungen von Trockenstress an natürlichen Standorten mit Mischbeständen berücksichtigt werden sollten. Schon jetzt lassen sich einige Empfehlungen ableiten: Eine Charakterisierung der Trockenheitsresistenz von Baumarten (und Ökotypen) ist grundsätzlich möglich und als Basis für die Auswahl geeigneter Bäume zur Aufforstung in trockenheitsgefährdeten Gebieten geeignet. Für die Waldbewirtschaftung bedeutet dies, dass manche Nadelbaumarten für Aufforstung an Bedeutung gewinnen werden. Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Analysen und die notwendigen, weiteren Studien werden zu verbesserten forstlichen Managementstra-

tegien (Arten- und Sortenauswahl für Aufforstungen, Bewirtschaftungstechniken etc.) unter sich ändernden klimatischen Bedingungen führen.

Rotbuche (*Quercus rubra*)

Spirke (*Pinus uncinata*)



Abb. 5: Auswirkungen des Trockenstresses auf die untersuchten Baumarten. Exemplarisch dargestellt sind die Rotbuche (*Quercus rubra*; links) und die Spirke (*Pinus uncinata*; rechts). Das linke Teilbild zeigt jeweils eine trockenheitsgestresste Pflanze, das rechte die (bewässerte) Kontrolle.

5 StartClim2011.D: Erfassung und Nutzung des Potentials der autochthonen Baumarten Österreichs hinsichtlich ihrer Performance beim aktuellen und zukünftigen Klimastress

Die gängigsten Klimamodelle (ECHAM5, etc.) lassen für Mitteleuropa zu allen Jahreszeiten steigende Temperaturen erwarten. So soll die Jahresmitteltemperatur im Alpenraum bis 2050 um 2 bis 2,5 °C steigen. Bezüglich des Niederschlages ist das Bild weniger einheitlich, ein gewisser Trend scheint in einer ungünstigeren zeitlichen Verteilung der Niederschläge erkennbar zu sein. Heruntergebrochen auf Österreich sind etwa auf Basis des Modells ECHAM5 deutliche Abnahmen für den Sommer und den Herbst anzunehmen. Sowohl gleichbleibende Niederschlagsmengen in weniger Ereignissen (entspricht einer höheren Intensität je Einzelereignis) als auch Niederschlagsabnahmen würden bei steigender Temperatur gleichermaßen zu Wassermangel und damit zu Trockenheitsstress führen, weil die unvollständige Auffüllung des Bodenwasserspeichers mit einem gesteigerten Verdunstungsanspruch der Pflanzen einhergeht.

In dem von Larcher modifizierten Stresskonzept nach Seley und Stocker kann gleichbleibende andauernde Belastung zu gesteigerter Resistenz und so letztendlich zu Anpassung führen. Lokale Populationen, die aus standörtlichen Gründen schon seit Generationen unter Trockenstress gelitten haben, unterliegen damit einem Selektionsdruck in Richtung stressangepasster Ökotypen. Eben diese gilt es ausfindig zu machen und sie auf ihren Nutzen für die waldbauliche Praxis zu prüfen.

Ungeachtet des möglicherweise zukünftig auftretenden, geänderten Niederschlagsregimes stellen Trockenperioden ein ganz gewöhnliches Klimaphänomen dar. Daher haben Bäume im Zuge der Evolution zum Teil artspezifische morphologische und physiologische Anpassungsmechanismen entwickelt, um akutem Stress kurz- bis mittelfristig zu begegnen (siehe auch StartClim2011.C). Die Literatur unterscheidet zwischen Vermeidungs- und Toleranzstrategien, wobei Vermeidung den ersten Schutzmechanismus darstellt.

Umgelegt auf einen Baum bedeutet Vermeidung von Trockenstress die Fähigkeit, Austrocknung zu verzögern, wobei die Struktur des Wurzelsystems, das Wasserspeichervermögen im bzw. die Leitfähigkeit des Xylems sowie die stomatare Kontrolle über den Wasserverlust entscheidende Parameter sind. Im Falle lang anhaltender Trockenheit kann mit dem Spaltöffnungsschluss auch die Verringerung der Blattoberfläche einhergehen. Je nach Art werden einzelne Blattorgane oder Zweige abgeworfen, wodurch diffuse Kronenverlichtungsmuster entstehen. Andere Arten hingegen reagieren mit dem Absterben einzelner Äste oder ganzer Kronenteile („branch sacrifice“, s. Abb. 6).

Im Sinne der „Pipe Model Theory of Tree Form“ nach Shinozaki würde bei anhaltender Trockenheit mittelfristig das Versorgungssystem des Baumes (Wurzelsystem und Wasser leitende Xylem- bzw. Gefäßquerschnittsfläche) an die verkleinerte Krone angeglichen werden, d.h. das Wurzelsystem und die leitende Xylemquerschnittsfläche würden nicht zuletzt wegen der Zuwachsabnahme kleiner werden. Auf Gefäßebene bedeutet Trockenheitsanpassung, dass die Querschnittsflächen der Einzelgefäße deutlich abnehmen, die Gefäßdichte aber überproportional steigt.

Angesichts der relativ breiten ökologischen Amplitude heimischer Waldbäume ist es naheliegend, dass es innerhalb einer Art trockenheitstolerante Populationen gibt, die durch lang andauernde Besiedlung und Anpassung an einen hydrologisch ungünstigen Standort, etwa auf Kuppen und Rücken mit kleinem Bodenwasserspeicher und hohem Verdunstungsanspruch, über lange Zeiträume entstanden sind. Die Suche nach solchen trockenheitsangepassten Populationen war Gegenstand dieser Studie.



Abb. 6: Links: durch Trockenheit zurück sterbende Äste an Pappel; rechts: Wasserleitungsgefäße von Hybridpappel (zerstreutporig) bei 40-facher Vergrößerung

In Österreich gibt es zwei Datensätze, aus denen Informationen zu Baumbestand und Standortverhältnissen verfügbar sind. Einerseits die Forstinventur mit sehr detaillierten biometrischen Erhebungen zum Baumbestand und einer groben Standortsansprache. Andererseits existiert ein Fundus von knapp 20.000 vollständigen Waldvegetationsaufnahmen mit Daten zur Bestandesstruktur, der von Willner & Grabherr (2007) als Basis für die Klassifikation der Wälder und Gebüsche Österreichs verwendet wurde. Die Vegetationszusammensetzung an einem Standort ist unter natürlichen Gegebenheiten Ausdruck des jeweils zur Verfügung stehenden Artenpools, gefiltert durch die bis dahin wirksamen Standortmerkmale. Die Pflanzendecke bringt integrativ alle Standortseinflüsse zum Ausdruck. Die Tatsache, dass die meisten Arten bestimmte Ausprägungen der Standortmerkmale anzeigen, wurde von Ellenberg in ein Zeigerwertsystem gegossen. Mittelt man nun diese den Pflanzen zugeordneten Zeigerwerte für einen Standort, so kann man umgekehrt eine pauschale Aussage über am Ort verfügbare Ressourcen (Licht, Wasser, Nährstoffe) treffen. Diese Art der indirekten Bioindikation ermöglichte es über die Feuchtezahl, die jeweils trockensten Standorte aus dem riesigen Datenpool von Willner & Grabherr für jede Baumart mit ausreichend repräsentativem Aufnahmematerial auszuweisen. Ziel war es, an Trockenheit gut angepasste Herkünfte für die Entnahme von forstlichem Vermehrungsgut auszuweisen, um sie einer waldbaulich Nutzung zugänglich zu machen, etwa zur Bestandesumwandlung in Richtung besser an zukünftigen Klimastress angepasster Waldökosysteme.

Die Analyse umfasste 22 wichtige einheimische Baumarten. Es wurden mittlere Feuchtezahlen für all jene Standorte errechnet, an denen die betreffende Art dominant oder co-dominant auftrat. In Abb. 7 sieht man als Beispiel die räumliche Verteilung aller erfassten Rotbuchenbestände sowie die Lage jener 10 % der Aufnahmen, die die niedrigsten mittleren Feuchtezahlen aufwiesen. Letztere können als Quellpopulationen für die Selektion von trockenstresstoleranten Herkünften betrachtet werden, die in weiterer Folge zur Gewinnung von forstlichem Vermehrungsgut dienen könnten. Diese Vorgangsweise kann auch differenziert nach forstlichen Wuchsgebieten durchgeführt werden, wie in Abb. 8 am Beispiel der Rotbuche: Trockenheitsangepasstes Vermehrungsgut, das im Wuchsgebiet 4.1 (Nördliche Randalpen, Westteil) eingesetzt werden soll, ist möglichst von den rot markierten Beständen aus Abb. 8 links zu entnehmen, jenes für den Ostteil der Nördlichen Randalpen (4.2) von den roten markierten Beständen in Abb. 8 rechts. Nach dem österreichischen Gesetz für die Verwendung von forstlichem Vermehrungsgut ist es ein Ziel, möglichst gut geeignetes Saatgut aus dem engeren Wuchsgebiet zu verwenden.

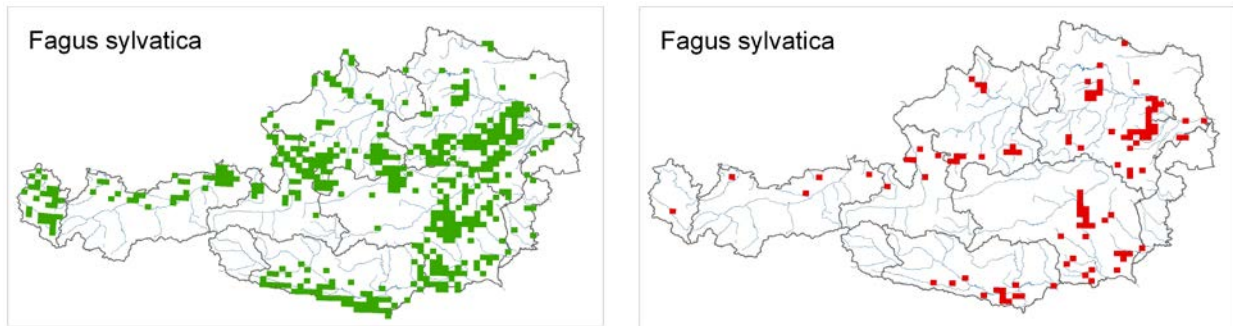


Abb. 7: Rasterfelder mit Vegetationsaufnahmen der Rotbuche; grün: alle verortbaren Vegetationsaufnahmen (91 % sind Rasterfeldern zugeordnet.), rot: Vegetationsaufnahmen auf den trockensten 10 % der Standorte (91 % sind Rasterfeldern zugeordnet).

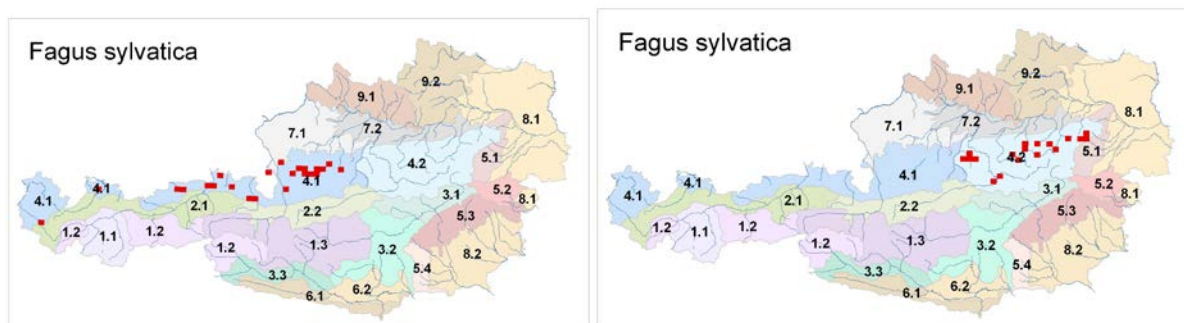


Abb. 8: Rasterfelder mit Vegetationsaufnahmen der Rotbuche; rot: Vegetationsaufnahmen auf den jeweils trockensten 10 % aller Standorte im Wuchsgebiet 4.1 (links) und 4.2 (rechts).

Die verwendeten Vegetationsaufnahmen stammen aus verschiedenen weit zurückliegenden Jahren, sodass man im Nutzungsfall immer die aktuellen Bestandeszustände eruieren muss. Auch sind Aufnahmen aus jüngeren Phasen der Bestandesentwicklung mit dichtem Kronenschluss und damit geringer Lichtverfügbarkeit in der Krautschicht artenarm und können aus diesem Grund nicht zur Mittelung der Zeigerwerte herangezogen werden. Die ökologischen Zeigerwerte der Pflanzen sind jedoch tlw. stark korreliert. Allenfalls können Vegetationsaufnahmen aus stärker gedüngten Wäldern im östlichen Tiefland durch die Korrelation von Stickstoff- und Feuchtezahlen eigentlich trockenere Standorte frischer erscheinen lassen. Als schwierig erwies sich auch die Interpretation der Daten für die Fichte. Manche Aufnahmen wurden auch in mit standortsfremdem Vermehrungsgut künstlich begründeten Fichtenbeständen gemacht und somit sind die Daten gerade in den warmen Tieflagen (außerhalb des natürlichen Fichtenareals) wenig nutzbar. In jenen Gebieten, wo die oft genutzten Baumarten Fichte oder Lärche keine trockenheitsangepassten natürlichen Vorkommen aufweisen (vgl. Schüler & al. 2010, Wolfslehner & al. 2011) ist wohl ein gänzlicher Wechsel der Baumart zu anderen bekannt trockenheitsresistenten Gattungen aus dem jeweiligen Wuchsgebiet zu empfehlen. Dafür spricht auch, dass lt. Schüler et al. (2010) bei einer weitergehenden Klimaerwärmung gerade die teilweise naturfernen Randvorkommen der Fichte keinen Vorteil (erhöhte Zuwächse durch höhere Temperaturen in den Vegetationsperiode) davon erfahren werden, sondern vermehrt gegen Trockenstress, Dürre und Schädlingsbefall kämpfen müssen.

Durch die Nutzung besser angepasster Herkünfte derselben Art (= konspezifisch) würden die mit einem Baumartenwechsel oft verbundenen Standortsveränderungen (z.B. Rückwirkung der Streuqualität auf das Bodenleben) gering gehalten werden. In einem nächsten Schritt kann man natürlich auch die Baumart wechseln, allerdings vorzugsweise innerhalb dersel-

ben Gattung. Dies zeigt das Beispiel der Eichen, wo man mit zunehmend schlechterer Wasserversorgung allmählich von Stieleiche über Traubeneiche bis zu Flaumeiche wechseln kann. Damit unterliegen viele abhängige Biozönosen (Krautschicht, Moosschicht) und Nahrungsketten (Destruenten) nur geringfügigen Änderungen. Auch die lieferbaren Holzsortimente blieben so im Wesentlichen erhalten.

„Gewusst woher nehmen“ heißt es also, wenn man die wohl unvermeidlichen waldbaulichen Anpassungen an den Klimawandel in einem ökologisch ausgewogenen und ertragskundlich akzeptablen Rahmen abwickeln möchte. Die verwendeten Datenpools dieses Projektes stehen allen interessierten Nutzern zwecks Herkunftssuche zur Verfügung.

6 Literaturverzeichnis

StartClim2011.A

- ANNILA, E. (1969): Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). Ann. Zool. Fennici 6, 161-208.
- BAIER, P.; PENNERSTORFER, J.; SCHOPF, A. (2007): PHENIPS—A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. Forest Ecol Manag 249, 171-186.
- BAIER, P., PENNERSTORFER, J., SCHOPF, A. (2011): Evaluation of climate change induced effects on the predisposition of forests of the water protection zone “Wildalpen” to disturbances by bark beetles. A contribution to the final report of CC-WaterS work package 5: „Land Uses and Water Resources Safety“. pp. 32.
- BLACKWELL, E. (2011): Risk assessment of bark beetle outbreaks after an avalanche occurrence in the Dürrenstein Wilderness Area. Diploma thesis, pp 80.
- BÖHM-BEZING, A. (1998): Untersuchungen über die Auswirkungen einer Berieselung von Fichtenrundholz (*Picea abies* Karst.), befallen mit Buchdrucker (*Ips typographus* L.). Diploma thesis, pp 85.
- DUELLI, P., ZAHRADNIK, P., KNIZEK, M., KALINOVA, B. (1997): Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. J. Appl. Ent. 121: 297-303.
- FACCOLI, M. (2009): Effect of Weather on *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) Phenology, Voltinism and Associated Spruce Mortality in the Southeastern Alps. Environ. Entomology. 38, (2): 307-316.
- FRANKLIN, A.J., DEBRUYNE, C., GRÉGOIRE, J-C. (2000): Recapture of *Ips typographus* L. (Col. Scolytidae) with attractants of low release rates: localized dispersion and environmental influences. Agriculture and Forest Entomology 2, 259-270.
- FRIEDL, S. (2008): Zum Einfluss von Niederschlag und Feuchtigkeit auf die Entwicklung von *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytinae). Diploma thesis, pp 103.
- KAUTZ, M., DWORSCHAK, K., GRUPPE, A., SCHOPF, R. (2011): Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. For Ecol Manag 262:598–608.
- LAUSCH, A., FAHSE, L., HEURICH, M. (2011): Factors affecting the spatio-temporal dispersion of *Ips typographus* (L.) in Bavarian Forest National Park: A long-term quantitative landscape-level analysis. For Ecol Manag 261 (2011) 233–245.
- NETHERER, S., NOPP-MAYR, U. (2005): Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management—rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. Forest Ecol Manag, 207, 99-107.
- SCHOPF, A., BAIER, P., NETHERER, S., PENNERSTORFER, J. (2004): Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Kalkalpen.
- WILD, M. (1953): Die Entwicklung des großen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. im Hochschwarzwald (1000-1200 m ü.M.) und ihre Abhängigkeit vom Klima 1947-1950. Bericht Naturforsch. Ges. Freiburg i.Br. 43, 121-176.

StartClim2011.B

- AFI (2012). Austrian Forest Inventory. Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW). available online <http://bfw.ac.at/rz/wi.auswahl?cros=3> (accessed 10/08/2012)
- Albrecht, A., Schindler, D., Grebhan, K., Kohnle, U., Mayer, H. (2009). Storminess over the north-atlantic european region under climate change – A review. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Vol. 180 (5-6), 109-118

- Angst, A., Rüegg, R., Forster, B. (2012). Declining Bark Beetle Densities (*Ips typographus*, Coleoptera: Scolytinae) from Infested Norway Spruce Stands and Possible Implications for Management. *Psyche* doi:10.1155/2012/321084
- Baier, P., Pennerstorfer, J., Schopf, A. (2007). PHENIPS – A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management* 249, 171-186
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., et al. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecol. Appl.* 15, 2084–2096
- BFW (2012). Österreichisches Borkenkäfer-Monitoring. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft. <http://bfw.ac.at/db/bfwcms.web?dok=5312> (accessed 2012-09-21)
- Bivand, R.S., Pebesma, E.J., Gomez-Rubio, V. (2008). *Applied spatial data analysis with R*. New York: Springer. 374 pp
- Blennow, K., Andersson, M., Bergh, J., Sallnäs, O., Olofsson, E. (2010). Potential climate change impacts on the probability of wind damage in a south Swedish forest. *Clim. Change*. 99, 261-278
- BMLFUW (2012a). Datensammlung 2012 zum Österreichischen Waldbericht. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- BMLFUW (2012b). Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 2 – Aktionsplan. Handlungsempfehlungen für die Umsetzung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien
- Botterweg, P.F. (1982). Dispersal and flight behavior of the spruce bark beetle *Ips typographus* in relation to sex, size and fat content. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 94, 466-489
- Brang, P., Schöneberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., Thormann, J.J., et al. (2006). Management of protection forests in the European Alps: an overview. *For. Snow Landsc. Res.* 80, 23-44
- Breiman, L. (2001) Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32
- Bugmann, H., Lindner, M., Lasch, P., Flechsig, M., Ebert, B., Cramer, W. (2000) Scaling issues in forest succession modelling. *Clim Change* 44:265-289
- Canadell, J.G., Raupach, M.R. (2008). Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science* 320, 1456-1457
- Christiansen, E., Waring, R.H., Berryman, A.A. (1987). Resistance of conifers to bark beetle attack: Searching for general relationships. *For. Ecol. Manage.* 22, 89-106
- Danjon, F., Fourcaud, T., Bert, D. (2005). Root architecture and wind-firmness of mature *Pinus pinaster*. *New Phytologist* 168, 387-400
- Fekedulegn, B.D., Colbert, J.J., Hicks Jr., R.R., Schuckers, M.E. (2002). Coping with Multicollinearity: An Example on Application of Principle Component Regression in Dendroecology. *USDA Forest Service*, 1-42
- Forest Europe (2011). Oslo Ministerial Decision: European Forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Oslo, June 14-16 2011
- Führer, E., Nopp, U. (2001). Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden. *Facultas*, Vienna, Austria.
- Fürst, J., Nachtnebel, H.P. (2007): *Hydrological Atlas of Austria (HAÖ)*. Institute for Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering - University of Natural Resources and Life Science, Vienna
- Gardiner, B., Byrne, K., Hale, S., Kaminura, K., Mitchell, S.J. et al. (2008). A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests. *Forestry* 81, 447–463
- Gardiner, B., Blennow, K., Carnus, J.M., Fleischer, P., Ingemarson, F. et al. (2010) *Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts*. Final report to European Commission–DG Environment. EFIATLANTIC, European Forest Institute. 138 pp

- Glynn, C., Herms, D.A., Orians, C.M., Hansen, R.C., Larsson, S. (2007). Testing the growth-differentiation balance hypothesis: dynamic responses of willows to nutrient availability. *New Phytologist* 176, 623-634
- Grace, J.B. (2006). *Structural Equation Modeling and Natural Systems*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Hanewinkel, M., Breidenbach, J., Neeff, T., Kublin, E. (2008). Seventy-seven years of natural disturbances in mountain forest area - the influence of storm, snow and insect damage analysed with a long-term time series. *Ca. J. For. Res.* 38, 2249-2261
- Hannah, P., Palutikof, J.P., Quine, C.P. (1995). Predicting windspeeds for forest areas in complex terrain. In: Coutts, M.P., Grace, J. (eds.) *Wind and Trees*. University of Edinburgh. pp. 113-130
- Hasenauer, H. (2011). The Carbon balance of Forest ecosystems. *Austr. J. For. Sci.* 128, 33-52
- Hedderich, J., Sachs, L. (2011). *Angewandte Statistik – Methodensammlung mit R*. Springer, Berlin-Heidelberg. ISBN 978-3-642-24400-1, p. 702f
- Hedgren, O.P., Schroeder, M.L., Weslien, J. (2003). Tree killing by *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at stand edges with and without colonized felled spruce trees. *Agricultural and Forest Entomology* 5, 67-74
- Hlasny, T., Kristek, S., Holusa, J., Trombik, J., Urbanova (2011). Snow disturbance in secondary Norway spruce forests in Central Europe: Regression modeling and its implications for forest management. *Forest Ecology and Management* 262, 2151-2161
- Holling, C.S., Gunderson, L.H. (2002) Resilience and adaptive cycles. edited in Gunderson LH, Holling CS (eds) *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington DC, pp 25-62
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solmon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M, Miller, H.L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 996 pp
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 594pp
- Jactel, H., Nicoll, B.C., Branco, M., Gonzalez-Olabarria, J.R., Grodzki, W., et al. (2009). The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Ann. For. Sci.* 66, 1–18
- Jolliffe, I.T. (2002). *Principle Component Analysis, Second Edition*. Springer, 173-177
- Kantor, P., Karl, Z., Sach, F., Cernohous, V. (2009). Analysis of snow accumulation and snow melting in a young mountain spruce and beech stand on the Orlické hory Mts., Czech Republic. *Journal of Forest Science* 55, 437-451
- Kautz, M., Dworschak, K., Gruppe, A., Schopf, R. (2011). Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management* 262, 598-608
- Kilpeläinen, A., Gregow, H., Strandman, H., Kellomäki, S., Venäläinen, A., Peltola, H. (2010). Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland. *Climatic Change* 99, 193-209
- Kostal, V., Dolezal, P., Rozsypal, J., Moravcova, M., Zahradnickova, H., Simek, P. (2011). Physiological and biochemical analysis of overwintering and cold tolerance in two Central European populations of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Journal of Insect Physiology* 57, 1136-1146
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., et al. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature* 452, 987-990
- Lexer MJ (1995) Beziehungen zwischen der Anfälligkeit von Fichtenbeständen (*Picea abies* (L.) Karst.) für Borkenkäferschäden und Standorts- und Bestandesmerkmalen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserversorgung. Dissertation, University of Natural Resource Management and Applied Life Sciences (BOKU) Vienna, pp 210

- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., et al. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 259, 698–709
- Littell, J.S., McKenzie, D., Peterson, D.L., Westerling, A.L. (2009). Climate and wildfire area burned in western U.S. ecoprovinces, 1916–2003. *Ecol. Appl.* 19, 1003-1021
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S.R., Alberti, M., Folke, C. et al. (2007). Complexity of Coupled Human and Natural Systems. *Science* 317, 1513-1516.
- MacQuarrie, C.J.K., Cooke, B.J. (2011). Density-dependent population dynamics of mountain pine beetle in thinned and unthinned stands. *Can. J. For. Res.* 41, 1031-1046
- Manion, P.D. (1981). *Tree disease concepts*. Prentice-Hall, New Jersey
- Marini, L., Ayres, M.P., Battisti, A., Faccoli, M. (2012). Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Clim. Change* DOI 10.1007/s10584-012-0463-z
- Mayer, H., Ott, E. (1991). *Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege*- Fischer, Stuttgart.
- McCallum, D.J., Mason, E.G., Whitley, B. (2007). Influence of exposure and elevation on radiate pine branch size, log velocity, sweep, taper and value. *NZ Journal of forestry* Nov. 2007, 10-16
- Metsämäki, S., Anttila, S. (2005). Snow Covered Area Algorithm in Boreal Forest. *EnviSnow EVC1-CT-2001-00052*, 1-38
- Millar, C.I., Stephenson, N.L., Stephens, S.L., (2007). Climate change and forests of the future: Managing in the face of uncertainty. *Ecol. Appl.* 17, 2145-2151
- Missbach, K. (1985). Beeinträchtigung der Biege- und Knickfestigkeit durch Wildschäden. edited in *Beurteilung und Bewertung der Stabilität von Fichtenökosystemen*. F/E-Bericht TU Dresden, Sekt. Forstw. Tharandt
- Morzuch, B.J., Ruark, G.A. (1991). Principle Components Regression to Mitigate the Effects of Multicollinearity. *Forest Science*, Vol. 37, No. 1, 191-199
- Netherer, S., Nopp-Mayr, U., (2005). Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management—rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *For. Ecol. Manage.* 207, 99–107
- Netherer, S., Schopf, A., (2010). Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests—general aspects and the pine processionary moth as specific example. *For. Ecol. Manage.* 259, 831–838
- Nykänen, M-L., Peltola, H., Quine, C.P., Kellomäki, S., Broadgate, M. (1997). Factors Affecting Snow Damage of Trees with Particular Reference to European Conditions. *Silva Fennica* 31 (2), 1-21
- ÖFJ (2009). *Österreichisches Forstjahrbuch*. Österreichischer Agrarverlag, Wien
- Økland, B., Bjørnstad, O.N., (2006). A resource-depletion model of forest insect outbreaks. *Ecology* 87, 283-290
- Overbeck, M., Schmidt, M. (2012). Modelling infestation risk of Norway spruce by *Ips typographus* (L.) in the Lower Saxon Mountains (Germany). *Forest Ecology and Management* 266, 115-125
- Peltola, H. (1996). Model computations on wind flow and turning moment by wind for Scots pines along the margins of clear-cut areas. *Forest Ecology and Management* 83, 203-215
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H. (1999). Model computations of the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. *Clim Change* 41, 17 – 36
- Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.-J., Schuck, A., (2003). Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Glob. Change Biol.* 9, 1620–1633
- Schelhaas, M.J., Hengeveld, G., Moriando, M., Reinds, G.J., Kundzewicz, Z.W., et al. (2010). Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 15, 681-701
- Schmidt-Vogt, H. (1997). Wachstum und Schneebruchresistenz von Fichtenherkünften des Bayerischen Alpenvorlandes, der Bayerischen Alpen und des Bayerischen Waldes *Forstwissenschaftliches Centralblatt* Volume 91. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, p. 339

- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I.C., Araújo, M.B., et al. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310, 1333–1337.
- Schütz, J.P., Götz, M., Schmid, W., Mandallaz, D. (2006). Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for sil-viculture. *Eur. J. Forest Res.* 125, 291–302
- Seidl, R., Rammer, W., Jäger, D., Lexer, M.J. (2008). Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *For. Ecol. Manage.* 256, 209-220
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Lindner, M., Lexer, M.J., (2009). Modelling bark beetle disturbances in a large scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies. *Reg. Environ. Chang.* 9, 101–119
- Seidl, R., Rammer, W., Lexer, M.J. (2011a). Climate change vulnerability of sustainable forest management in the Eastern Alps. *Clim. Change* 106, 225-254
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Lexer, M.J. (2011b). Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Glob. Change Biol.* 17, 2842-2852
- Seidl, R., Fernandes, P.M., Fonseca, T.F., Gillet, F., Jönsson, A.M., et al. (2011c). Modelling natural disturbances in forest ecosystems: a review. *Ecol. Model.* 222, 903-924
- Seidl, R., Rammer, W., Scheller, R.M., Spies, T.A. (2012). An individual-based process model to simulate landscape-scale forest ecosystem dynamics. *Ecol. Model.* 231, 87-100
- Skogsstyrelsen. (2006). Stormen 2005 – en skoglig analys. Meddelande 1-2006, Skogsstyrelsens förlag, Jönköping, Sweden. ISSN 1100-0295
- Starlinger, F. in Lexer, M.J., Hönninger, K., Scheifinger, H., Matulla, Ch., Groll, N. et al. (2001): The Sensitivity of the Austrian forests to Scenarios of Climatic Change. A Large-scale Risk Assessment (Sensitivität des österreichischen Waldes unter Klima-änderungsszenarien - Deutsche Zusammenfassung). Umweltbundesamt Monographien, Band 132 (M-132), Umweltbundesamt Wien. ISBN 3-85457-556-1
- Swanson, M.E., Franklin, J.F., Beschta, R.L., Crisafulli C.M., DellaSala, D.A., et al. (2011). The forgotten stage of forest succession: early-successional ecosystems on forest sites. *Front. Ecol. Environ.* 9, 117–125
- Tomiczek, C., Cech, T.L., Fürst, A., Hoyer-Tomiczek, U., Krehan, H. et al. (2009). Waldschutzsituation 2008 in Österreich. *AFZ-Der Wald* 2009, 373-376
- Tomiczek, C., Cech, T.L., Fürst, A., Hoyer-Tomiczek, U., Krehan, H. et al. (2011). Waldschutzsituation 2010 in Österreich. *Forstschutz aktuell* 52, 3-9
- Tomiczek, C., Schweiger, C. (2012). Gelbe Karte für das Forstschutz-Grundrisiko. Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW). available online <http://bfw.ac.at/db/bfwcms.web?dok=9204> (accessed 04/09/2012)
- Turner, M.G. (2010). Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91, 2833-2849
- Urban, D.L., O'Neill, R.V., Shugart, H.H. (1987) Landscape ecology: A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience* 37:119-127
- Usbeck, T., Wohlgemuth, T., Dobbertin, M., Pfister, C., Bürgi, A., et al. (2010). Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agric. For. Met.* 150, 47–55
- Vacik, H., Lexer, M.J. (2001). Application of a spatial decision support system in managing the protection forests of Vienna for sustained yield of water resources. *For. Ecol. Manage.* 143, 65-76
- Wermelinger, B., Seifert, M. (1998). Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolitidae). *Journal of Applied Entomology* 122, 185-191
- Wermelinger, B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management* 202, 67-82
- Wermelinger, B., Rigling, A., Schneider Mathis, D., Dobbertin, M. (2008). Assessing the role of bark- and wood-boring insects in the decline of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in the Swiss Rhone valley. *Ecological Entomology* 33, 239-249

- Wiens, J.A. (1989) Spatial scaling in ecology. *Funct Ecol* 3:385-397.
- With, K.A. (2002). The landscape ecology of invasive spread. *Cons. Biol.* 16, 1192–1203
- ZAMG (2012a). Wind risk and wind energy potential. Central Institute for Meteorology and Geodynamics. available online <http://wms1.zamg.ac.at/beauvort/index.php> (accessed 10/08/2012)
- ZAMG (2012b). Climate data Austria between 1971 – 2000. Central Institute for Meteorology and Geodynamics. available online http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm
- ZAMG (2012c). Surface synoptic observations. Central Institute for Meteorology and Geodynamics.
- ZAMG (2012d). Extreme weather report. Central Institute for Meteorology and Geodynamics. available online http://www.zamg.at/klima/klima_monat/unwetterbericht (accessed 10/08/2012)
- Zemek, F., Cudlin, P., Bohac, J., Moravec, I., Herman, M. (2003). Semi-natural Forested Landscape under a Bark Beetle Outbreak: a case study of the Bohemian Forest (Czech Republic). *Landscape Research*, Vol. 28, No. 3, 279-292

StartClim2011.C

- Beikircher, B., Ameglio, T., Cochard, H., Mayr, S., 2010. Limitation of the Cavitron technique by conifer pit aspiration. *Journal of Experimental Botany*, 61(12): 3385-3393.
- Beikircher, B., Mayr, S., 2009. Intraspecific differences in drought tolerance and acclimation in hydraulics of *Ligustrum vulgare* and *Viburnum lantana*. *Tree Physiology*, 29(6): 765-775.
- Berry, J.A., Beerling, D.J., Franks, P.J., 2010. Stomata: key players in the earth system, past and present. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(3): 232-239.
- Bréda, N., Huc, R., Granier, A., Dreyer, E., 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63(6): 625-644.
- Brilli, F. et al., 2011. Leaf and ecosystem response to soil water availability in mountain grasslands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12): 1731-1740.
- Brunetti, M. et al., 2006. Precipitation variability and changes in the greater Alpine region over the 1800-2003 period. *Journal of Geophysical Research*, 111(D11): D11107.
- Ciais, P. et al., 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058): 529-533.
- Cochard, H., 2002. A technique for measuring xylem hydraulic conductance under high negative pressures. *Plant, Cell & Environment*, 25(6): 815-819.
- Cochard, H., Bréda, N., Granier, A., Aussenac, G., 1992. Vulnerability to air embolism of three European oak species (*Quercus petraea* (Matt) Liebl, *Q pubescens* Willd, *Q robur* L). *Annals of Forest Science*, 49(3): 225-233.
- Cochard, H., Lemoine, D., Dreyer, E., 1999. The effects of acclimation to sunlight on the xylem vulnerability to embolism in *Fagus sylvatica* L. *Plant, Cell & Environment*, 22(1): 101-108.
- Gartner, K., Nadezhkina, N., Englisch, M., Čermak, J., Leitgeb, E., 2009. Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. *Forest Ecology and Management*, 258(5): 590-599.
- Granier, A. et al., 2007. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143(1–2): 123-145.
- Larcher, W., 2001. *Ökophysiologie der Pflanzen*. Ulmer-Verlag Stuttgart.
- Nardini, A., Salleo, S., 2000. Limitation of stomatal conductance by hydraulic traits: sensing or preventing xylem cavitation? *Trees - Structure and Function*, 15(1): 14-24.
- Pammenter, N.W., Van der Willigen, C., 1998. A mathematical and statistical analysis of the curves illustrating vulnerability of xylem to cavitation. *Tree Physiology*, 18(8-9): 589-593.
- Rotach, M.W. et al., 1997. Nested regional simulation of climate change over the Alps for the scenario of a doubled greenhouse forcing. *Theoretical and Applied Climatology*, 57(3): 209-227.

- Smiatek, G., Kunstmann, H., Knoche, R., Marx, A., 2009. Precipitation and temperature statistics in high-resolution regional climate models: Evaluation for the European Alps. *Journal of Geophysical Research*, 114(D19): D19107.
- Sperry, J.S., 2004. Coordinating stomatal and xylem functioning – an evolutionary perspective. *New Phytologist*, 162(3): 568-570.
- Sperry, J.S., Donnelly, J.R., Tyree, M.T., 1988. A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. *Plant, Cell & Environment*, 11(1): 35-40.
- Teuling, A.J. et al., 2010. Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(10): 722-727.
- Tyree, M.T., Davis, S.D., Cochard, H., 1994. Biophysical perspectives of xylem evolution: Is there a tradeoff of hydraulic efficiency for vulnerability to dysfunction? *International Association of Wood Anatomists Journal*, 15: 25.
- Tyree, M.T., Zimmermann, M.H., 2002. *Xylem structure and the ascent of sap*. Springer, Berlin.
- Viviroli, D., Dürre, H.H., Messerli, B., Meybeck, M., Weingartner, R., 2007. Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research*, 43(7): W07447.
- Wieser, G., Hammerle, A., Wohlfahrt, G., 2008. The Water Balance of Grassland Ecosystems in the Austrian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40(2): 439-445.

StartClim2011.D

- AICHINGER, E. 1967. *Pflanzen als Forstliche Standortszeiger*, Vienna, Österr. Agrarverlag.
- ALLEN, C. D., MACALADY, A. K., CHENCHOUNI, H., BACHELET, D., MCDOWELL, N., VENNETIER, M., KITZBERGER, T., RIGLING, A., BRESHEARS, D. D., HOGG, E. H., GONZALEZ, P., FENSHAM, R., ZHANG, Z., CASTRO, J., DEMIDOVA, N., LIM, J.-H., ALLARD, G., RUNNING, S. W., SEMERCI, A. & COBB, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660-684.
- ARANDA, I., GIL, L. & PARDOS, J. A. 2005. Seasonal changes in apparent hydraulic conductance and their implications for water use of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and sessile oak [*Quercus petraea* (Matt.) Liebl] in South Europe. *Plant Ecology*, 179, 155-167.
- AUER, I., HIEBL, J., REISENHOFER, S., BÖHM, R. & SCHÖNER, W. 2010. ÖKLIM 1971–2000 Aktualisierung des digitalen Klimaatlas Österreichs 1961–1990. Vienna: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG).
- BADALOTTI, A., ANFODILLO, T. & GRACE, J. 2000. Evidence of osmoregulation in *Larix decidua* at Alpine treeline and comparative responses to water availability of two co-occurring evergreen species. *Ann. For. Sci.*, 57, 623-633.
- BODIN, P. & WIMAN, B. L. B. 2007. The usefulness of stability concepts in forest management when coping with increasing climate uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 242, 541-552.
- BOISVENUE, C. & RUNNING, S. W. 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity - evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12, 862-882.
- BOLTE, A., AMMER, C., LÖF, M., NABUURS, G.-J., SCHALL, P. & SPATHELF, P. 2010. Adaptive Forest Management: A Prerequisite for Sustainable Forestry in the Face of Climate Change. In: SPATHELF, P. (ed.) *Sustainable Forest Management in a Changing World: A European Perspective*. Springer Netherlands.
- BRÉDA, N., HUC, R., GRANIER, A. & DREYER, E. 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63, 625-644.
- BROADMEADOW, M. S. J., RAY, D. & SAMUEL, C. J. A. 2005. Climate change and the future for broadleaved tree species in Britain. *Forestry*, 78, 145-161.

- CHARRA-VASKOU, K., CHARRIER, G., WORTEMANN, R., BEIKIRCHER, B., COCHARD, H., AMEGLIO, T. & MAYR, S. 2012. Drought and frost resistance of trees: a comparison of four species at different sites and altitudes. *Ann. Forest Science*, 69, 325-333.
- CHRISTENSEN, J. H., HEWITSON, B., BUSUIOC, A., CHEN, A., GAO, X., HELD, I., JONES, R., KOLLI, R. K., KWON, W.-T., LAPRISE, V., MAGAÑA REUDA, V., MEARN, L., MENÉDEZ, C. G. R., J. RINKE, A., SARR, A. & WHETTON, P. 2007. Regional Climate Projections. In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M. & MILLER, H. L. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- COCHARD, H. 1992. Vulnerability of several conifers to air embolism. *Tree Physiol*, 11, 73-83.
- COCHARD, H., BRÉDA, N. & GRANIER, A. 1996. Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation in *Quercus* during drought: evidence for stomatal control of embolism? *Ann. For. Sci.*, 53, 197-206.
- CREGG, B. M. & ZHANG, J. W. 2001. Physiology and morphology of *Pinus sylvestris* seedlings from diverse sources under cyclic drought stress. *Forest Ecology and Management*, 154, 131-139.
- CRUIZIAT, P., COCHARD, H. & AMÉGLIO, T. 2002. Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. *Ann. For. Sci.*, 59, 723-752.
- DIEKMANN, M. 2003. Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review. *Basic and Applied Ecology*, 4, 493-506.
- DIXON, H. H. & JOLY, J. 1896. On the ascent of sap. *Royal Society (London) Philosophical Transactions*, B 186, 563-576.
- DORREN, L. K. A., BERGER, F., IMESON, A. C., MAIER, B. & REY, F. 2004. Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management*, 195, 165-176.
- DREXLER, W. & WALENTOWSKI, H. 2011. Auswirkungen von sommerlichen Klimaextremen auf nemorale Laubwälder – Baumarten, Waldlebensgemeinschaften und Ökosystem. unpubl. Research application.
- ELLENBERG, H. 1979. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas *Scripta Geobotanica*, 9, 1-122.
- ELLENBERG, H., WEBER, H. E., DULL, R., WIRTH, V., WERNER, W. & PAULISEN, D. 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa *Scripta Geobotanica*, 18, 1-248.
- ENGELMARK, O., SJÖBERG, K., ANDERSSON, B., ROSVALL, O., ÅGREN, G. I., BAKER, W. L., BARKLUND, P., BJÖRKMAN, C., DESPAIN, D. G., ELFVING, B., ENNOS, R. A., KARLMAN, M., KNECHT, M. F., KNIGHT, D. H., LEDGARD, N. J., LINDELÖW, Å., NILSSON, C., PETERKEN, G. F., SÖRLIN, S. & SYKES, M. T. 2001. Ecological effects and management aspects of an exotic tree species: the case of lodgepole pine in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 141, 3-13.
- ENGLISCH, M. & KARRER, G. 2001. Zeigerwertsysteme in der Vegetationsanalyse - Anwendbarkeit, Nutzen und Probleme in Österreich. *Ber. d. R. Tüxen Ges.*, 13, 83-102.
- ENGLISCH, M., KARRER, G. & WAGNER, H. 1991. Bericht über den Zustand des Waldbodens in Niederösterreich. FORSTL. BUNDESVERSUCHSANSTALT. Vienna.
- ENGLISCH, M., KILIAN, W., GÄRTNER, M., HERZBERGER, E. & STARLINGER, F. 1998. Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich. *FBVA-Berichte*. Vienna, Austria: Forstliche Bundesversuchsanstalt.
- FAO 2010. *Global Forest Resources Assessment 2010* Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO 2011. *State of the World's Forests*, Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FISCHLIN, A., MIDGLEY, G. F., PRICE, J. T., LEEMANS, R., GOPAL, B., TURLEY, C., ROUNSEVELL, M. D. A., DUBE, O. P., TARAZONA, J. & VELICHKO, A. A. 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. In: PARRY, M. L., CANZIANI, O. F., PALUTIKOF, J. P., VAN DER LINDEN, P. J. & HANSON, C. E. (eds.) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.

- Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- GEßLER, A., KEITEL, C., KREUZWIESER, J., MATYSSEK, R., SEILER, W. & RENNENBERG, H. 2006. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21, 1-11.
- HAMRICK, J. L. 2004. Response of forest trees to global environmental changes. *Forest Ecology and Management*, 197, 323-335.
- HASENAUER, H., NEMANI, R. R., SCHADAUER, K. & RUNNING, S. W. 1999. Forest growth response to changing climate between 1961 and 1990 in Austria. *Forest Ecology and Management*, 122, 209-219.
- HAUK, E. 2011. Biodiversität in Österreichs Wald. *BFW Praxis Information*, 24, 17-21.
- HERZBERGER, E. & KARRER, G. 1992. Test der internen Konsistenz ökologischer Zeigerwerte am Beispiel der Vegetationsaufnahmen der Österreichischen Waldboden-Zustandsinventur. *FBVA-Berichte*. Vienna, Austria: Forstliche Bundesversuchsanstalt.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, U.K. and New York, USA, Cambridge University Press.
- IRVINE, J., PERKS, M. P., MAGNANI, F. & GRACE, J. 1998. The response of *Pinus sylvestris* to drought: stomatal control of transpiration and hydraulic conductance. *Tree Physiol*, 18, 393-402.
- KAPELLER, S., LEXER, M. J., GEBUREK, T., HIEBL, J. & SCHUELER, S. 2012. Intraspecific variation in climate response of Norway spruce in the eastern Alpine range: Selecting appropriate provenances for future climate. *Forest Ecology and Management*, 271, 46-57.
- KARRER, G. & KILIAN, W. 1990. Standorte und Waldgesellschaften im Leithagebirge Revier Sommerein. *Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt*. Vienna, Austria.
- KILIAN, W., MÜLLER, F. & STARLINGER, F. 1994. *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs: Eine Naturraumgliederung nach waldökologische Gesichtspunkten. Bericht 82*, Vienna, Austria, Forstliche Bundesversuchsanstalt.
- KIMMINS, J. P. 1987. *Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Management*, New Jersey, USA, Prentice Hall, Inc.
- KLEINSCHMIT, J. R. G., KOWNATZKI, D. & GREGORIUS, H.-R. 2004. Adaptational characteristics of autochthonous populations—consequences for provenance delineation. *Forest Ecology and Management*, 197, 213-224.
- KOZLOWSKI, T. T. 1979. *Tree Growth and Environmental Stresses*, Washington, USA, University of Washington Press.
- KOZLOWSKI, T. T., KRAMER, P. J. & PALLARDY, S. G. 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*, California, USA and London, U.K., Academic Press, Inc.
- LARCHER, W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, Berlin, Germany, Springer-Verlag.
- LINDNER, M., MAROSCHEK, M., NETHERER, S., KREMER, A., BARBATI, A., GARCIA-GONZALO, J., SEIDL, R., DELZON, S., CORONA, P., KOLSTRÖM, M., LEXER, M. J. & MARCHETTI, M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecol. Man.*, 259, 698-709.
- MAGNANI, F. 2009. Phenotypic variability: underlying mechanisms and limits do matter. *New Phytologist*, 184, 277-279.
- MAHERALI, H., POCKMAN, W. T. & JACKSON, R. B. 2004. Adaptive variation in the vulnerability of woody plants to xylem cavitation. *Ecology*, 85, 2184-2199.
- MANDRE, M., KIVISTE, A. & KÖSTER, K. 2011. Environmental stress and forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 262, 53-55.
- MARTINEZ-VILALTA, J., COCHARD, H., MENCUCCINI, M., STERCK, F., HERRERO, A., KORHONEN, J. F., LLORENS, P., NIKINMAA, E., NOLE, A., POYATOS, R., RIPULLONE, F., SASS-KLAASSEN, U. & ZWEIFEL, R. 2009. Hydraulic adjustment of Scots pine across Europe. *New Phytol*, 184, 353-64.

- MARTÍNEZ-VILALTA, J., SALA, A. & PIÑOL, J. 2004. The hydraulic architecture of Pinaceae – a review. *Plant Ecology*, 171, 3-13.
- MCDOWELL, N., POCKMAN, W. T., ALLEN, C. D., BRESHEARS, D. D., COBB, N., KOLB, T., PLAUT, J., SPERRY, J., WEST, A., WILLIAMS, D. G. & YEPEZ, E. A. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178, 719-739.
- MEEHL, G. A., STOCKER, T. F., COLLINS, W. D., FRIEDLINGSTEIN, P., GAYE, A. T., GREGORY, J. M., KITOH, A., KNUTTI, R., MURPHY, J. M., NODA, A., PRAPER, S. C. B., WATTERSON, I. G., WEEVER, A. J. & ZHAO, Z.-C. 2007. Global Climate Projections. In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M. & MILLER, H. L. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- MEINZER, F. C., CLEARWATER, M. J. & GOLDSTEIN, G. 2001. Water transport in trees: current perspectives, new insights and some controversies. *Environmental and Experimental Botany*, 45, 239-262.
- MILLAR, C. I., STEPHENSON, N. L. & STEPHENS, S. P. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecol. Appl.*, 17, 2145-2151.
- NIESE, G. 2011. Österreichs Schutzwälder sind total überaltert. *BFW Praxis Information*, 24, 29-31.
- NIINEMETS, Ü. 2010. Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: Past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. *Forest Ecology and Management*, 260, 1623-1639.
- NIINEMETS, Ü. & VALLADARES, F. 2006. Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs*, 76, 521-547.
- NIKLFIELD, H. 1994. Der aktuelle Stand der Kartierung der Flora Mitteleuropas und angrenzender Gebiete. *Floristische Rundbriefe*, 28, 200-220.
- O'BRIEN, E. K., MAZANEC, R. A. & KRAUSS, S. L. 2007. Provenance variation of ecologically important traits of forest trees: implications for restoration. *Journal of Applied Ecology*, 44, 583-593.
- ÖWI. 2007/2009. *Die Österreichische Waldinventur* [Online]. Available: <http://bfw.ac.at/rz/wi.home> [Accessed 15 July 2012].
- RAFTOYANNIS, Y. & RADOGLU, K. 2002. Physiological Responses of Beech and Sessile Oak in a Natural Mixed Stand During a Dry Summer. *Ann. Bot.*, 89, 723-730.
- RENNENBERG, H., LORETO, F., POLLE, A., BRILLI, F., FARES, S., BENIWAL, R. S. & GESSLER, A. 2006. Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant Biol (Stuttg)*, 8, 556-71.
- RICHARDSON, D. M. 1998. Forestry Trees as Invasive Aliens. *Conservation Biology*, 12, 18-26.
- RICHARDSON, D. M. & REJMÁNEK, M. 2011. Trees and shrubs as invasive alien species – a global review. *Diversity and Distributions*, 17, 788-809.
- ROSE, L., LEUSCHNER, C., KÖCKEMANN, B. & BUSCHMANN, H. 2009. Are marginal beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? *European Journal of Forest Research*, 128, 335-343.
- SCHULTZE, U. & RASCHKA, H.-D. 2002. Douglasienherkünfte für den "Sommerwarmen Osten" Österreichs. Ergebnisse aus Douglasien-Herkunftsversuchen des Instituts für Forstgenetik. Vienna: FBVA.
- SEIDL, R., RAMMER, W., JÄGER, D., CURRIE, W. S. & LEXER, M. J. 2007. Assessing trade-offs between carbon sequestration and timber production within a framework of multi-purpose forestry in Austria. *Forest Ecology and Management*, 248, 64-79.
- SEKOT, W. 2007. European forest accounting: general concepts and Austrian experiences. *European Journal of Forest Research*, 126, 481-494.
- SELYE, H. 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature*, 138, 32.
- SELYE, H. 1973. The evolution of the stress concept. *American Scientist*, 61, 693-699.

- SPERRY, J. S. 2000. Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104, 13-23.
- STEPPE, K. & LEMEURE, R. 2007. Effects of ring-porous and diffuse-porous stem wood anatomy on the hydraulic parameters used in a water flow and storage model. *Tree Physiol*, 27, 43-52.
- STOCKER, O. 1947. Probleme der pflanzlichen Dürre-resistenz. *Naturwissenschaften*, 34, 362-371.
- TANEDA, H. & SPERRY, J. S. 2008. A case-study of water transport in co-occurring ring- versus diffuse-porous trees: contrasts in water-status, conducting capacity, cavitation and vessel refilling. *Tree Physiol*, 28, 1641-1651.
- TYREE, M. T. & EWERS, F. W. 1991. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist*, 119, 345-360.
- TYREE, M. T. & SPERRY, J. S. 1989. Vulnerability of Xylem to Cavitation and Embolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 19-36.
- WIEDERMANN, R. 1995. Pflanzensoziologisches Datenmanagement mittels PC-Programm HITAB5. *Carinthia II*, 53, 133-134.
- WILLNER, W., BERG, C. & HEISELMAYER, P. 2012. *Austrian Vegetation Database* in Dengler J., Oldeland J., Jansen F., Chytrý M., Ewald J., Finckh M., Glöckler F., Lopez-Gonzalez G., Peet R.K. & Schaminée J.H.J. [Eds.]: *Vegetation databases for the 21st century*. – *Biodiversity & Ecology*, 4, 333
- WILLNER, W. & GRABHERR, G. (eds.) 2007. *Die Wälder und Gebüsche Österreichs. Ein Bestimmungswerk mit Tabellen*, Heidelberg, Germany: Spektrum Akad. Verlag.
- ZANG, C., PRETZSCH, H. & ROTHE, A. 2012. Size-dependent responses to summer drought in Scots pine, Norway spruce and common oak. *Trees - Structure and Function*, 26, 557-569.
- ZIMMERMANN, M. H. 1983. *Xylem Structure and the Ascent of Sap*, Berlin, Germany, Springer-Verlag.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

- Abb. 1: Einteilung der Aufnahme­fläche "Hundsau" in Prädispositions­klassen „sehr gering“ (dunkel­grün), „gering“ (hellgrün), „mittel“ (gelb), „hoch“ (orange), „sehr hoch“ (rot). Weiße Umrandung: Flächen die zwischen 2003-2011 vom Buchdrucker befallen wurden.----- 12
- Abb. 2: Fangrate markierter Buchdrucker über den Versuchszeitraum 13.06. bis 30.08.2012 im "Hundsau"-Gebiet 2012; Angabe in % je Pheromonfalle. F2 = Stelle des Ausschlüpfens markierter Käfer aus den Brutstämmen. ----- 13
- Abb. 3: Störungsprädisposition österreichischer Forstbezirke relativ zum Bundesmittelwert. Ein Wert von 1,5 bedeutet etwa, dass prädispositionsbedingt ein 50% höheres Schadniveau als im Bundesschnitt erwartet werden kann. Die Inserts zeigen den statistisch ermittelten Einfluss einzelner Faktorenkomplexe auf die Prädisposition, sowie den insgesamt durch die Prädispositionsanalyse erklärten Varianzanteil. ----- 16
- Abb. 4: Stomatäre Leitfähigkeit versus Wasserpotential zu Mittag (je stärker negativ das Wasserpotential ist, desto größer der Wasserstress) bei Nadelbäumen (links) und Laubbäumen (rechts). Es handelt sich um während des Austrocknungsexperimentes gemessene Werte (Mittelwerte \pm Standardabweichung). Die Baumartennamen wurden wie folgt abgekürzt: Tanne (AbAl), Lärche (LaDc), Fichte (PiAb), Zirbe (PiCe), Föhre (PiSy), Spirke (PiUn), Bergahorn (AcPs), Kastanie (CaSa), Buche (FaSy), Esche (FrEx), Stieleiche (QuRo) und Roteiche (QuRu).----- 19
- Abb. 5: Auswirkungen des Trockenstresses auf die untersuchten Baumarten. Exemplarisch dargestellt sind die Rotbuche (*Quercus rubra*; links) und die Spirke (*Pinus uncinata*; rechts). Das linke Teilbild zeigt jeweils eine Trockenheitsgestresste Pflanze, das rechte die (bewässerte) Kontrolle. ----- 20
- Abb. 6: Links: durch Trockenheit zurück sterbende Äste an Pappel; rechts: Wasserleitungsgefäße von Hybridpappel (zerstreutporig) bei 40-facher Vergrößerung----- 22
- Abb. 7: Rasterfelder mit Vegetationsaufnahmen der Rotbuche; grün: alle verortbaren Vegetationsaufnahmen (91 % sind Rasterfeldern zugeordnet.), rot: Vegetationsaufnahmen auf den trockensten 10 % der Standorte (91 % sind Rasterfeldern zugeordnet).----- 23
- Abb. 8: Rasterfelder mit Vegetationsaufnahmen der Rotbuche; rot: Vegetationsaufnahmen auf den jeweils trockensten 10 % aller Standorte im Wuchsgebiet 4.1 (links) und 4.2 (rechts).----- 23

Anhang

Alle folgenden Projekte wurden in StartClim2003 bis StartClim2010 bearbeitet. Die Berichte sind sowohl auf der StartClim2011-CD-ROM als auch auf der StartClim-Hompage (www.austroclim.at/startclim/) verfügbar

Projekte aus StartClim2003

- StartClim.1:** **Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tageswertbasis im Hinblick auf Extremwertanalysen**
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Wolfgang Schöner, Ingeborg Auer, Reinhard Böhm, Sabina Thaler
- StartClim.2:** **Zeitliche Repräsentativitätsanalyse 50jähriger Klimadatenätze im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten**
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Ingeborg Auer, Reinhard Böhm, Eva Korus, Wolfgang Schöner
- StartClim.3a:** **Extremereignisse: Ereignisbezogene Dokumentation- Prozesse Bergstürze, Hochwasser, Muren, Rutschungen und Lawinen**
Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen
Universität für Bodenkultur; Dieter Rickenmann, Egon Ganahl
- StartClim.3b:** **Dokumentation von Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf die landwirtschaftliche Produktion**
ARC Seibersdorf research
Gerhard Soja, Anna-Maria Soja
- StartClim.3c:** **Ereignisdatenbank für meteorologische Extremereignisse MEDEA (Meteorological extreme Event Data information system for the Eastern Alpine region)**
Umweltbundesamt, Martin König, Herbert Schentz, Johann Weigl
IIASA, Matthias Jonas, Tatiana Ermolieva
- StartClim.4:** **Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern**
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur
Andreas Frank, Petra Seibert
- StartClim.5:** **Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich**
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur
Herbert Formayer, Christoph Matulla, Patrick Haas
GKSS Forschungszentrum Geesthacht, Nikolaus Groll
- StartClim.6:** **Adaptionsstrategien der von extremen Wetterereignissen betroffenen Wirtschaftssektoren: Ökonomische Bewertung und die Rolle der Politik**
Austrian Humans Dimensions Programme (HDP-A)
Institut für Volkswirtschaftslehre Karl-Franzens-Universität Graz
Karl Steininger, Christian Steinreiber, Constanze Binder, Erik Schaffer
Eva Tusini, Evelyne Wiesinger

- StartClim.7:** **Hochwasser-bedingte Veränderungen des gesellschaftlichen Stoffwechsels: Fallstudie einer betroffenen Gemeinde**
Institut für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung,
Abteilung Soziale Ökologie
Willi Haas, Clemens Grünbühel, Brigitt Bodingbauer
- StartClim.8:** **Risk Management and Public Welfare in the Face of Extreme Weather Events: What is the Optimal Mix of Private Insurance, Public Risk Pooling and Alternative Risk Transfer Mechanisms**
Institut für Volkswirtschaftslehre Karl-Franzens-Universität Graz
Walter Hyll, Nadja Veters, Franz Pretenthaler
- StartClim.9:** **Hochwasser 2002: Datenbasis der Schadensbilanz**
Zentrum für Naturgefahren (ZENAR), Universität für Bodenkultur
Helmut Habersack, Helmut Fuchs
- StartClim.10:** **Ökonomische Aspekte des Hochwassers 2002: Datenanalyse, Vermögensrechnung und gesamtwirtschaftliche Effekte**
Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung
Daniela Kletzan, Angela Köppl, Kurt Kratena
- StartClim.11:** **Kommunikation an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung**
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur
Ingeborg Schwarzl
Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung,
Abteilung Soziale Ökologie; Willi Haas
- StartClim.12:** **Innovativer Zugang zur Analyse des Hochwasserereignisses August 2002 im Vergleich zu ähnlichen Extremereignissen der jüngeren Vergangenheit**
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien
Simon Tschannett, Barbara Chimani, Reinhold Steinacker
- StartClim.13:** **Hochaufgelöste Niederschlagsanalysen**
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien
Stefan Schneider, Bodo Ahrens, Reinhold Steinacker, Alexander Beck
- StartClim.14:** **Hochwasser 2002: Prognosegüte meteorologischer Vorhersagemodelle**
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Thomas Haiden, Alexander Kann
- StartClim.C:** **Erstellung eines langfristigen Klima-Klimafolgen-Forschungsprogramms für Österreich**
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur
Helga Kromp-Kolb, Andreas Türk
- StartClim.Literaturdatenbank:** **Aufbau einer umfassenden Literaturdatenbank zur Klima- und Klimafolgenforschung als allgemein zugängliche Basis für weitere Klimaforschungsaktivitäten**
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur
Patrick Haas

Projekte aus StartClim2004

- StartClim2004.A: Analyse von Hitze und Dürreperioden in Österreich; Ausweitung des täglichen StartClim Datensatzes um das Element Dampfdruck**
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Ingeborg Auer, Eva Korus, Reinhard Böhm, Wolfgang Schöner
- StartClim2004.B: Untersuchung regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer, Petra Seibert, Andreas Frank, Christoph Matulla, Patrick Haas
- StartClim2004.C: Analyse der Auswirkungen der Trockenheit 2003 in der Landwirtschaft Österreichs – Vergleich verschiedener Methoden**
ARC Seibersdorf research; Gerhard Soja, Anna-Maria Soja
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Josef Eitzinger, Grzegorz Gruszczynski, Mirek Trnka, Gerhard Kubu, Herbert Formayer
Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Universität für Bodenkultur; Werner Schneider, Franz Suppan, Tatjana Koukal
- StartClim2004.F: Weiterführung und Ausbau von MEDEA (Meteorological extreme Event Data information system for the Eastern Alpine region)**
Umweltbundesamt; Martin König, Herbert Schentz, Katharina Schleidt
IIASA; Matthias Jonas, Tatiana Ermolieva
- StartClim2004.G: „Hängen Hitze und Leistungsfähigkeit zusammen?“
Ein Projekt an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Ingeborg Schwarzl, Elisabeth Lang, Erich Mursch-Radlgruber

Projekte aus StartClim2005

- StartClim2005.A1a: Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien**
Medizinische Universität Wien, ZPH, Institut für Umwelthygiene
Hanns Moshhammer, Hans-Peter Hutter
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Andreas Frank, Thomas Gerersdorfer
Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen
Anton Hlava, Günter Sprinzl
Statistik Austria, Barbara Leitner
- StartClim2005.A1b: Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Thomas Gerersdorfer, Andreas Frank, Herbert Formayer, Patrick Haas
Medizinische Universität Wien, ZPH, Institut für Umwelthygiene
Hanns Moshhammer
Statistik Austria, Barbara Leitner

- StartClim2005.A4: Auswirkungen von Extremereignissen auf die Sicherheit der Trinkwasserversorgung in Österreich**
Institut für Siedlungswasserbau, Industrieressourcenmanagement und Gewässerschutz; Reinhard Perfler, Mario Unterwainig
Institut f. Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer
- StartClim2005.C2: Untersuchung zur Verbreitung der Tularämie unter dem Aspekt des Klimawandels**
Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum – Greßmann & Deutz OEG
Armin Deutz
HBLFA Raumberg-Gumpenstein Institut für artgerechte Tierhaltung und Tiergesundheit; Thomas Guggeberger
- StartClim2005.C3a: Einflüsse des Klimawandels auf landwirtschaftliche Schädlinge und Nützlinge im Biologischen Landbau Ostösterreichs**
Bio Forschung Austria; Bernhard Kromp, Eva Maria Grünbacher, Patrick Hann
Institut f. Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer,
- StartClim2005.C3b: Abschätzung des Risikos einer dauerhaften Festsetzung von Gewächsschädlingen im Freiland als Folge des Klimawandels am Beispiel des Kalifornischen Blüenthrupses (Frankliniella occidentalis)**
AGES, Institut für Pflanzengesundheit; Andreas Kahrer
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer,
- StartClim2005.C5: Ein allergener Neophyt und seine potentielle Ausbreitung in Österreich – Arealynamik der Ambrosie (Ambrosia artemisiifolia) unter dem Einfluss des Klimawandels**
VINCA – Institut für Naturschutzforschung und Ökologie GmbH
Ingrid Kleinbauer, Stefan Dullinger
Umweltbundesamt Ges.m.b.H.; Franz Essl, Johannes Peterseil
- StartClim2005.F: GIS-gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraumes alpiner Wildtierarten (Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild, Steinwild) bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung**
Joanneum Research; Heinz Gallaun, Jakob Schaumberger, Mathias Schardt
HBLFA Raumberg-Gumpenstein; Thomas Guggeberger, Andreas Schaumberger, Johann Gasteiner;
Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum - Greßmann & Deutz OEG
Armin Deutz, Gunter Greßmann

Beiträge aus StartClim2006

- StartClim2006.A: Feinstaub und Klimawandel - Gibt es Zusammenhänge in Nordostösterreich?**
Institut für Meteorologie, BOKU; Bernd C. Krüger, Irene Schicker, Herbert Formayer
Meduni Wien, ZPH, Institut für Umwelthygiene; Hanns Moshhammer
- StartClim2006.B: Risiko-Profil für das autochthone Auftreten von Viszeraler Leishmaniose in Österreich**
Abteilung für Medizinische Parasitologie, Klinisches Institut für Hygiene und Medizinische Mikrobiologie, Medizinische Universität Wien
Horst Aspöck, Julia Walochnik
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Thomas Gerersdorfer, Herbert Formayer
- StartClim2006.C: Auswirkung des Klimawandels auf die Ausbreitung der Engerlings-schäden (Scarabaeidae; Coleoptera) im österreichischen Grünland**
Bio Forschung Austria
Eva Maria Grünbacher, Patrick Hann, Claus Trska, Bernhard Kromp
Institut für Meteorologie, BOKU: Herbert Formayer
- StartClim2006.D1: Die Sensitivität des Sommertourismus in Österreich auf den Klimawandel**
Institut für touristische Raumplanung: Volker Fleischhacker
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Herbert Formayer
- StartClim2006.D2: Auswirkungen des Klimawandels auf das klimatische Tourismuspotenzial**
Meteorologisches Institut, Universität Freiburg
Andreas Matzarakis, Christina Endler, Robert Neumcke
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,
Elisabeth Koch, Ernest Rudel
- StartClim2006.D3: See-Vision: Einfluss von klimawandelbedingten Wasserschwankungen im Neusiedler See auf die Wahrnehmung und das Verhalten von Besucherinnen und Besuchern**
Institut für Landschaftsentwicklung, Naturschutz und Erholung, BOKU
Ulrike Pröbstl, Alexandra Jiricka, Thomas Schuppenlehner
Simon Fraser University, Burnaby, Canada
Wolfgang Haider
- StartClim2006.F: Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich**
Institut für Technologie- und Regionalpolitik, Joanneum Research (1);
Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz (2);
Institut für Geophysik, Astrophysik und Meteorologie, Universität Graz (3);
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien (4)
Institut für Energieforschung, Joanneum Research (5)
Franz Pretenthaler^{1,2}, Andreas Gobiet^{2,3}
Clemens Habsburg-Lothringen¹, Reinhold Steinacker⁴
Christoph Töglhofer², Andreas Türk^{2,5}

Beiträge aus StartClim2007

- StartClim2007.A: Erweiterung und Vervollständigung des StartClim Datensatzes für das Element tägliche Schneehöhe. Aktualisierung des existierenden StartClim Datensatzes (Lufttemperatur, Niederschlag und Dampfdruck) bis 2007 04**
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Ingeborg Auer,
Anita Jurković, Reinhard Böhm, Wolfgang Schöner, Wolfgang Lipa
- StartClim2007.B: Gesundheitsrisiken für die Österreichische Bevölkerung durch die Abnahme des stratosphärischen Ozons**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur Wien: Stana Simic
Institut für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien: Alois W. Schmalwieser
Institut für Umwelthygiene, Zentrum für Public Health, Medizinische Universität Wien: Hanns Moshhammer
- StartClim2007.C: Anpassungen der Schadinsektenfauna an den Klimawandel im ostösterreichischen Ackerbau: Konzepterstellung für ein Langfrist-Monitoringsystem**
Bio Forschung Austria: Eva-Maria Grünbacher, Patrick Hann, Bernhard Kromp
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur Wien: Herbert Formayer
- StartClim2007.D: Auswirkung der klimabedingten Verschiebung der Waldgrenze auf die Freisetzung von Treibhausgasen - Umsetzung von Kohlenstoff und Stickstoff im Boden**
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Robert Jandl, Andreas Schindlbacher,
Sophie Zechmeister-Boltenstern, Michael Pfeffer
Dept. Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien:
Klaus Katzensteiner; Umweltbundesamt: Sabine Göttlicher
Universität Wien: Hannah Katzensteiner; Tiroler Landesforstdirektion: Dieter Stöhr
- StartClim2007.E: Auswirkung von Klimaänderungen auf das Abflussverhalten von vergletscherten Einzugsgebieten im Hinblick auf Speicherkraftwerke**
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck:
Michael Kuhn, Marc Olefs, Andrea Fischer
- StartClim2007.F: ALSO WIKI – Alpiner Sommertourismus in Österreich und mögliche Wirkungen des Klimawandels**
Österreichisches Institut für Raumplanung: Cornelia Krajasits, Gregori Stanzer, Adolf Andel, Wolfgang Neugebauer, Iris Wach; Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Wolfgang Schöner, Christine Kroisleitner
- StartClim2007.G: Integrierte Modellierung von Wirtschaft und Klimaänderung in Umlageung des STERN-Reports**
Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz: Olivia Koland, Karl Steininger, Andreas Gobiet, Georg Heinrich, Claudia Kettner, Alexandra Pack, Matthias Themeßl, Christoph Töglhofer, Andreas Türk, Thomas Trink ; Joanneum Research, Institut für Technologie- und Regionalpolitik: Raimund Kurzmann; Universität für Bodenkultur Wien: Erwin Schmid

Beiträge aus StartClim2008

- StartClim2008.A: Einfluss von Adaptationsmaßnahmen auf das akute Sterberisiko in Wien durch Temperaturextreme**
Institut für Umwelthygiene, MUW: Hanns Moshammer, Hans-Peter Hutter ;
Institut für Meteorologie, BOKU: Thomas Gerersdorfer
- StartClim2008.B: Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?**
Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, BOKU:
Andreas Klink, Warakorn Rattanaarekul
Institut für Meteorologie, BOKU: Josef Eitzinger
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, BOKU: Peter Liebhard
- StartClim2008.C: Praxiserprobung des Monitoringkonzepts "Anpassungen der Schadinsektenfauna an den Klimawandel" (StartClim2007.C) anhand der Erhebung von aktuellen Erdräupenschäden (Agrotis segetum, Schiff.; Fam. Noctuidae) unter Berücksichtigung von Standortfaktoren und Klima**
Bio Forschung Austria: Patrick Hann, Claus Trska, Eva Maria Frauenschuh,
Bernhard Kromp
Institut für Meteorologie, BOKU: Herbert Formayer
- StartClim2008.D: Bio-Berglandwirtschaft in Tirol – Beitrag zur „Klimaentlastung“ und Anpassungsstrategien**
Institut für Ökologischen Landbau, BOKU: Dorninger Michael, Bernhard Freyer
- StartClim2008.E: Entwicklung und ökonomische Abschätzung unterschiedlicher Landschaftsstrukturen auf Ackerflächen zur Verringerung der Evapotranspiration vor dem Hintergrund eines Klimawandels unter besonderer Berücksichtigung einer Biomasseproduktion**
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- u. Naturschutzplanung, BOKU: Christiane Brandenburg, Sonja Völler, Brigitte Alex, Bernhard Ferner
Institut für Meteorologie, BOKU: Josef Eitzinger, Thomas Gerersdorfer
Institut für Ökologischen Landbau, BOKU: Bernhard Freyer, Andreas Surböck, Agnes Schweinzer, Markus Heinzinger
Institut für Agrar- und Forstökonomie, BOKU: Enno Bahrs
- StartClim2008.F: Wahrnehmung und Bewertung von Naturgefahren als Folge von Gletscherschwund und Permafrostdegradation in Tourismus-Destinationen am Beispiel des Tuxer Tals (Zillertaler Alpen/Österreich)**
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- u. Naturschutzplanung, BOKU: Ulrike Pröbstl
Universität Regensburg, Universität Eichstätt-Ingolstadt: Bodo Damm
- StartClim2008.G: Anpassung von Waldböden an sich ändernde Klimabedingungen**
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Barbara Kitzler, Verena Stingl, Sophie Zechmeister-Boltenstern
Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen: Arjan De Brujin, Ralf Kiese, Klaus Butterbach-Bahl

Beiträge aus StartClim2009

- StartClim2009.A: Klimatisch beeinflusste Vegetationsentwicklung und Nutzungsintensivierung von Fettwiesen im österreichischen Berggebiet. Eine Fallstudie aus dem Kerngebiet der österreichischen Grünlandwirtschaft**
Institut für Botanik, BOKU: Gabriele Bassler, Gerhard Karrer,
Institut für Meteorologie, BOKU: Herbert Formayer
LFZ-Raumberg-Gumpenstein Andreas Schaumberger, Andreas Bohner,
Walter Starz
Bio Ernte Steiermark: Wolfgang Angeringer
- StartClim2009.B: Klima-Response von Fichtenherkünften im Alpenraum – Eine Adaptionsmöglichkeit für die österreichische Forstwirtschaft**
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Silvio Schüller, Stefan Kapeller,
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Johann Hiebl
- StartClim2009.C: Analyse von Vulnerabilität und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Biosphärenpark Wienerwald**
Institut für Waldbau, BOKU: Stefan Schörghuber, Werner Rammer, Rupert Seidl, Manfred J. Lexer
- StartClim2009.D: Humusbilanzierung als praxisgerechtes Tool für Landwirte zur Unterstützung einer CO₂-speichernden Landwirtschaft**
Bio Forschung Austria: Wilfried Hartl, Eva Erhart
- StartClim2009.E: Adapting office buildings to climate change: Optimization of thermal comfort and Energy demand**
Danube University Krems: Tania Berger, Peter Pundy
- StartClim2009.F: AlpinRiskGP - Abschätzung des derzeitigen und zukünftigen Gefährdungspotentials für Alpintouristinnen/-touristen und Infrastruktur bedingt durch Gletscherrückgang und Permafrostveränderung im Großglockner-Pasterzengebiet (Hohe Tauern, Österreich)**
Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz:
Gerhard Karl Lieb, Katharina Kern, Gernot Seier,
Andreas Kellerer-Pirklbauer-Eulenstein, Ulrich Strasser,

Beiträge aus StartClim2010

- StartClim2010.A: Handlungsfelder und –verantwortliche zur Klimawandelanpassung öffentlicher Grünanlagen in Städten**
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung (ILEN), BOKU: Stephanie Drlik, Andreas Muhar
- StartClim2010.B: Anpassungsempfehlungen für urbane Grün- und Freiräume in österreichischen Städten und Stadtregionen**
PlanSinn Büro für Planung und Kommunikation GmbH: Erik Meinhardt; Umweltbundesamt GmbH: Maria Balas
- StartClim2010.C: Die gesellschaftlichen Kosten der Anpassung: Ansätze für eine Bewertung von Anpassungsoptionen (SALDO)**
Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz:

Birgit Bednar-Friedl, Olivia Koland, Janine Raab
Umweltbundesamt GmbH, Martin König

**StartClim2010.D: Integrative Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen für die Region
Marchfeld**

Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung, BOKU: Christine Heu-
messer, Mathias Kirchner, Erwin Schmid, Franziska Strauss

**StartClim2010.E: Ökologische und waldbauliche Eigenschaften der Lärche (*Larix deci-
dua* MILL.) - Folgerungen für die Waldbewirtschaftung in Öster-
reich unter Berücksichtigung des Klimawandels**

Institut für Waldbau, BOKU: Eduard Hochbichler, Gabriele Wolfsleh-
ner, Roland Koeck, F. Arbeiter,
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren
und Landschaft: Herfried Steiner, Georg Frank,
Institut für Meteorologie, BOKU: Herbert Formayer

**StartClim2010.F: Hot town, summer in the city – Die Auswirkungen von Hitzetagen auf
das Freizeit- und Erholungsverhalten sowie das Besichtigungs-
programm von StädtetouristInnen – dargestellt am Beispiel
Wiens**

Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzpla-
nung (ILEN), BOKU: Christiane Brandenburg, Brigitte Allex, Ursula
Liebl, Christina Czachs;
Institut für Meteorologie, BOKU: Thomas Gerersdorfer

**StartClim2010.G: Wissensbasierte Plattform zur Optimierung von Handlungsstrategien
im Umgang mit Naturgefahren
Österreichisches Rotes Kreuz: Jürgen Högl, Clemens Liehr, Ger-
ry Foitik**

Institut für Produktionswirtschaft und Logistik, BOKU: Manfred Gronalt,
Magdalena Schweiger, Patrick Hirsch