



---

BERICHTE ZUR  
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

2014

# FORST WIRTSCHAFT

# Inhalt

- 07** Private Forest Adapt  
Kleinstwaldbesitzer sind oft fachfremde Personen, die den Forstbetrieb extensiv im Nebenerwerb führen oder gar nicht bewirtschaften. Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald, wie zum Beispiel schnell wachsende Schädlingspopulationen, sind ihnen nicht bewusst. Im Projekt werden Grundlagen für künftige Informationskampagnen erarbeitet.
- 13** FIRIA  
Das Ziel des Projekts FIRIA ist es, die Feuergefährdung der österreichischen Wälder unter sich ändernden Klimabedingungen zu beurteilen sowie eine mögliche Gefährdung von Infrastruktur im Falle einer Entwaldung durch Feuer aufzuzeigen. Das engere Untersuchungsgebiet ist das Bundesland Tirol.
- 21** AdaptTree  
Im Projekt AdaptTree wird überprüft, inwieweit die natürlichen Schwankungen der Wetterbedingungen zum Zeitpunkt der Baumblüte und Samenreifung einen Einfluss auf die adaptiven Eigenschaften der jungen Bäume haben. Die Erkenntnisse sollten bei der Planung der zukünftigen Versorgung mit Saatgut einbezogen werden.
- 27** Disturbance  
Um Störfaktoren in die Waldbewirtschaftung einzubeziehen, werden integrierte Störungsmodelle für Waldökosysteme entwickelt, die sowohl klimatische Treiber (z.B. Hitze, Dürre oder Stürme), Merkmale von Waldbeständen sowie die Wechselwirkungen von Störungen durch Wind und Borkenkäfer einbeziehen.
- 33** DouglAS  
Der Klimawandel stellt eine große Herausforderung für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung dar. Eine mögliche Anpassung ist der Einsatz von alternativen und nicht heimischen Baumarten, wie der Douglasie als alternative Wirtschaftsbaumart.
- 39** CAFEE  
Leistungen, die agrarische oder forstliche Ökosysteme hervorbringen (z.B. Landschaftsbild, Biodiversität, monetärer Nutzen etc.) werden als Ökosystemdienstleistungen bezeichnet. Das Projekt CAFEE zeigt in verschiedenen Szenarien, wie sich Klimawandel und Politikmaßnahmen auf verschiedene Ökosystemdienstleistungen auswirken.
- 48** Alle geförderten Projekte im Überblick

” Selbst wenn die Empfehlung des Weltklimarates, den Temperaturanstieg auf plus 2°C zu begrenzen, eingehalten wird, müssen wir mit massiven Auswirkungen des Klimawandels rechnen. Je früher wir die Anpassung gestalten, desto erträglicher und ökonomisch tragbarer werden die Veränderungen sein.“

---

*Ingmar Höbarth*  
Geschäftsführer

## Vorwort

Hitze- und Dürreperioden, schmelzende Gletscher oder Starkniederschläge – die Auswirkungen des Klimawandels sind schon heute direkt spürbar. Neben der Minderung des Klimawandels und einer kurzfristigen, reaktiven Anpassung ist es notwendig langfristige Anpassungsstrategien zu entwickeln, um eine hohe Anpassungsfähigkeit zu erreichen und die Kosten möglichst gering zu halten. Entscheidend für den Erfolg einer langfristigen Anpassung ist das Abwägen von Ziel- und Nutzungskonflikten in ihrer kurzfristigen, aber vor allem in ihrer langfristigen Wirkung.

Insbesondere in der Forstwirtschaft ist ein weitsichtiger Umgang mit Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Um eine nachhaltige Forstwirtschaft in Österreich zu gewährleisten, muss die Änderung des Klimas berücksichtigt und in die Bewirtschaftungspläne einbezogen werden. Auf Grund der langen Lebenszyklen von Wäldern ist es wichtig, lange Vorlaufzeiten von Anpassungsmaßnahmen einzurechnen.

Die Grundlagen für diese Maßnahmen werden durch das Förderprogramm „Austrian Climate Research Programme (ACRP)“ des Klima- und Energiefonds geschaffen. Seit 2007 wurden 126 Projekte gefördert, die die wissenschaftliche Basis für die nationale Anpassung an den Klimawandel liefern.

Im Folgenden stellen wir Ihnen ausgewählte Forschungsberichte vor, die durch ihre wissenschaftlichen Fragestellungen mit Bezug auf den Sektor Forstwirtschaft eine Grundlage für die notwendigen Schritte zur Klimawandelanpassung bilden.

---

Eine anregende Lektüre wünscht Ihnen  
*Ihr Klima- und Energiefonds Team*



## Projektleitung

Dipl.-Ing. Dr. **Robert Jandl**

Bundeforschungszentrum für Wald (BFW), Wien  
Institut für Waldökologie und Boden, Fachbereich Klima-Forschungskoordination



## Beteiligte Institutionen

- Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)  
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung  
(U. Pröbstl, N. Mostegl, V. Melzer)  
Institut für Meteorologie (Herbert Formayer)
- TU München, Lehrstuhl für Wald- und Umweltpolitik (Michael Suda)
- Slovenian Forest Institute (Andrej Breznikar)



## Gute Gründe für das Projekt

- Der Klimawandel hat enorme Auswirkungen auf langlebige Ökosysteme. Die heutigen Entscheidungen über die Bewirtschaftung bestimmen das Waldbild, das wir am Ende des Jahrhunderts vorfinden werden.
- Durch gesellschaftliche Veränderungen gehört Kleinprivatwald oft Personen, die fachlich wenig Beziehung zur Forstwirtschaft haben und deren Lebensmittelpunkt auch räumlich vom eigenen Wald weit weg liegt. Der Anteil dieser ‚waldfernen Waldbesitzer‘ nimmt zu.
- Die Einstellung dieser schwer erfassbaren Gruppe zur Waldbewirtschaftung muss bekannt sein, um sie bei Bedarf gezielt ansprechen zu können. Derzeit ist die Gruppe an die fachlichen Informationskanäle nur marginal angeschlossen.

# Private Forest Adapt

Verstehen und steuern des Zuganges von Kleinstwaldbesitzern zu den Herausforderungen des Klimawandels.

Sind die österreichischen Klein-Waldbesitzer auf die Folgen des Klimawandels ausreichend vorbereitet?

Wir haben diese Frage in mehrere Themen gegliedert:

- Unser Wissen über die Folgen des Klimawandels für die Forstwirtschaft
- Unser Zugang zum Erheben der Haltung von Kleinstwaldbesitzern
- Regionale Relevanz des Waldzustandes für die Gesellschaft

Folgen des Klimawandels

Ein Waldbestand, der heute begründet wird, kann erst etwa am Ende des Jahrhunderts geerntet werden. Folgt man den unterschiedlich optimistischen Szenarien der Klimaveränderung, so werden diese Wälder zum Ende ihres Lebenszyklus hin erheblich veränderte Wachstumsbedingungen vorfinden. Unter Experten wird diskutiert, welche Maßnahmen jetzt empfohlen werden sollen, sodass die Wälder für diese Veränderungen gerüstet sind. Die Empfehlungen sind aufgrund der grossen Unsicherheiten nicht besonders konkret.

Das Konzept der ‚adaptiven Waldbewirtschaftung‘ setzt ganz besonders auf den Dialog zwischen Waldpraktikern und Forstwissenschaftlern.

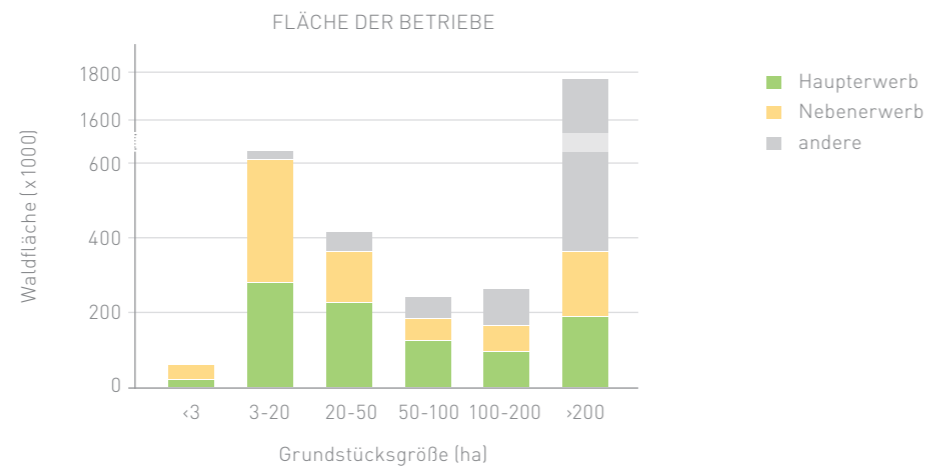


Abb. 1

Kleinwälder stellen einen erheblichen Teil der österreichischen Waldfläche dar. Sie werden überwiegend im Nebenerwerb bewirtschaftet. (Agrarstrukturerhebung 2010, Statistik Austria)

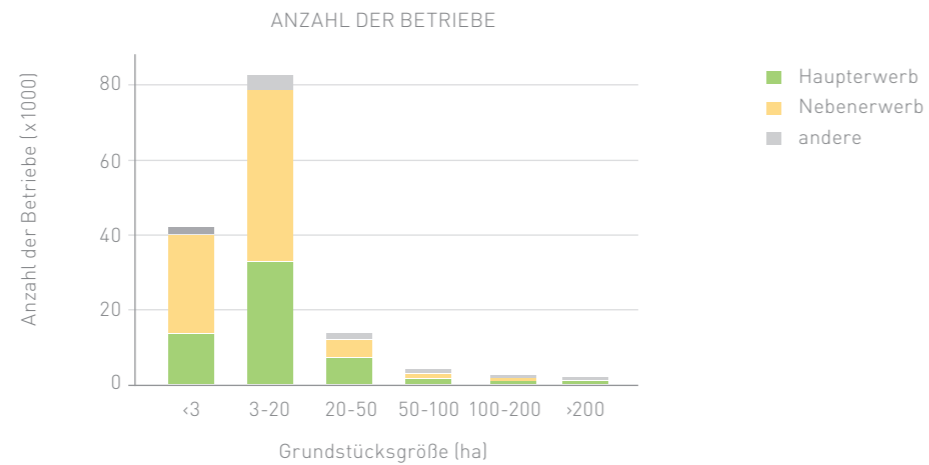


Abb. 2

Der österreichische Wald ist auf eine enorme Anzahl von Waldbesitzern verteilt. Die Betriebsgrößen sind überwiegend kleiner als 20 ha. (Agrarstrukturerhebung 2010, Statistik Austria)

In der Tat besteht ein konstruktiver Austausch zwischen großen Forstbetrieben, der regionalen, nationalen und internationalen Forstpolitik und der Forstwissenschaft. Kleinstwaldbesitzer nehmen an der Diskussion überwiegend nicht teil. Das liegt überwiegend am gesellschaftlichen Wandel, der die Strukturen in der Land- und Forstwirtschaft seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges grundlegend verändert hat. Als Ausdruck der Urbanisierung haben viele Personen aus dem ländlichen Raum Berufe außerhalb des traditionellen Spektrums ergriffen. Deren Wälder, die früher als Teilbetrieb eines landwirtschaftlichen Betriebes eine wichtige Funktion zur Deckung von Rohstoffen (Brennholz, Bauholz) hatten, werden von den neuen Besitzern oft extensiv oder gar nicht bewirtschaftet. Durch die starke emotionale Bindung an Grund und Boden werden die Wälder nur in wenigen Fällen verkauft sondern verbleiben im Familieneigentum.

Diese Gruppe der ‚neuen waldfernen Waldbesitzer‘ wird durch die traditionell erfolgreichen Informationsanbieter (Berufsverbände und Interessenverbände mit ihren Publikationen und der Beratungstätigkeit) nicht erreicht.

Die besonderen Herausforderungen, die der Klimawandel für die Waldbewirtschaftung hat, sind dieser Gruppe daher nicht unbedingt bewusst. Die Gruppe ist auch durch die Kleinheit der einzelnen Waldparzellen und damit der Unregelmäßigkeit der Holzerteile in den regionalen Holzmarkt nicht gut eingebunden. Den Kleinstwaldbesitzern fehlt häufig auch die erforderliche technische Ausrüstung und die Kenntnisse in der Handhabung. Da für viele Waldarbeiten die Hilfe Dritter in Anspruch genommen werden müsste, entfällt der ökonomische Anreiz für die Waldbewirtschaftung weitgehend.

#### Haltung der Kleinstwaldbesitzer

Die Herausforderung an die Projektpartner war zuerst die Auswahl von repräsentativen Regionen. Wir haben Gegenden gesucht, in welchen der Waldbesitz stark parzelliert ist und in welchen die Forstbehörden die erforderlichen Informationen über die Waldbesitzer erheben und bereitstellen können. Wir haben eine Region in der Südweststeiermark und zwei Regionen in Tirol ausgesucht. Die Regionen repräsentieren einen relevanten Teil des österreichischen Kleinprivatwaldes.

Zur Erfassung der Haltung der Kleinstwaldbesitzer bedienen wir uns der Technik des Choice-Experiments. Dabei wird der Teilnehmer mit einer strukturierten Befragung charakterisiert. Er wird mit der Frage konfrontiert, welchen Waldzustand er für erstrebenswert hält. Dabei wird der Waldzustand durch Beschreibungen, ökologische und ökonomische Kennwerte und durch grafische Darstellungen charakterisiert.

Es muss bedacht werden, dass die Adressaten der Befragung keine Forstexperten sind. Daher werden viele fachspezifische Kennwerte nicht richtig interpretiert. Die Fragestellung darf aber auch nicht trivial sein, da sonst nur Gemeinplätze über den Wert von Wald in Erfahrung gebracht werden und der Wissensfortschritt gering ist. Der Fragebogen muss auch so konzise sein, dass die Beantwortung der Fragen innerhalb einer kurzen Zeit möglich ist.

Ein wichtiges Element des Choice-Experiments ist der Test des Fragebogens mit einer Gruppe, die auch bereit ist den Fragebogen zu entwickeln und dafür wichtiges Feedback zur Verfügung zu stellen. Die Testgruppe wurde innerhalb der professionellen Netzwerke der Projektpartner gefunden. Gerade unter den Absolventen der Universität für Bodenkultur finden sich viele so genannte ‚neue waldferne Waldbesitzer‘.

Die Waldbilder für das Choice-Experiment werden aus Waldwachstums-Simulationen, die von verschiedenen Klimaszenarien angetrieben werden, abgeleitet. Je nach der artikulierten Präferenz für Waldbehandlungen, werden die Wälder im Simulationsmodell behandelt. Die Stabilität bzw. Gefährdung der

simulierten Waldbestände wird gutachterlich beurteilt, durch Kennzahlen und Grafiken charakterisiert und dem Beantworter des Fragebogens als Ergebnis seiner virtuellen Waldbehandlung vorgelegt. Dann wird abgefragt, ob das simulierte Ergebnis zufriedenstellend ist. Die Datengrundlage für die Parameter des verwendeten Waldwachstumsmodells Caldis sind die Ergebnisse der Österreichischen Waldinventur. ([www.waldinventur.at](http://www.waldinventur.at))

Die Ergebnisse aus den österreichischen Testregionen werden um Fallstudien in Bayern und Slowenien erweitert. In beiden Ländern wurde seitens der Politik die Herausforderung erkannt, dass die wesentliche Gruppe der Kleinstwaldbesitzer nicht ausreichend definiert ist. Die Verhältnisse in Bayern sind mit jenen in Tirol und dem nördlichen Oberösterreich gut vergleichbar. Die Fichte ist die dominierende Baumart, die Ressourcen aus dem Kleinstprivatwald werden trotz großen Bemühungen der Administration nicht effizient mobilisiert. Trotz vieler Ähnlichkeiten zwischen den Wäldern der Steiermark und Sloweniens bestehen zwischen den beiden Ländern Unterschiede in der Baumartenwahl. Aufgrund der spezifischen Entwicklung des Forstsektors und der Formulierung von forstlichen Leitlinien ist die Bewirtschaftung von laubholzreichen Wäldern in Slowenien bestens verankert. Die Marktsituation in der Steiermark führte in der Vergangenheit zur Dominanz von fichtenreichen Wäldern.

#### Regionale Relevanz von Kleinstwaldbesitzern

Der Klimawandel verändert die Wachstumsbedingungen für die einzelnen Baumarten. Das hat primär Auswirkungen für die Waldbesitzer. Angesichts der geringen Relevanz des erwirtschafteten Ertrages aus der Holzproduktion für Kleinstwaldbesitzer wird sich daraus keine Veränderung der Motivation für oder gegen bestimmte Formen der Waldbewirtschaftung ergeben.

Gerade für Waldbesitzer gilt aber eine erhebliche Sozialbindung des Eigentums. Der Wald kann von der Öffentlichkeit bei Einhaltung von gesetzlich festgelegten Einschränkungen genutzt werden. **Um diese Benutzung zu gewährleisten, muss der Waldzustand bestimmte Standards erfüllen,** die von der örtlichen Forstbehörde kontrolliert und eingefordert werden. **Die völlige Nicht-Bewirtschaftung eines Waldes ist daher keine Option.** Besonders bei der Störung von Waldökosystemen durch Naturereignisse wie Sturmschäden, Schneebruch sowie das Absterben von Bäumen durch Konkurrenz im Waldbestand werden Pforten für Schadorganismen geöffnet.

In Österreich ist der Borkenkäfer ein gefürchteter Schädling. Seine Bekämpfung ist langwierig und teuer. Ein Waldbesitzer ist daher gut beraten Maßnahmen zu treffen, welche die Gefahr einer Massenverbreitung von Borkenkäfern minimieren.

**Durch den Klimawandel steigt der Schädlingsdruck. Es wird befürchtet, dass in Zukunft die Schädlingspopulationen schneller wachsen können und auch auf Gebiete übergreifen, die derzeit von den Schädlingen noch nicht befallen sind.** Außerdem wird erwartet, dass über kurz oder lang Schädlinge auftreten werden, die derzeit in den Regionen noch nicht beobachtet werden (Beispiel: Auftreten des Asiatischen Laubholzbockkäfers im Bezirk Braunau).

Es wäre für Waldbesitzer in der Tat eine schwierige Situation, wenn von ihrer kleinen Waldfläche eine Gefahr für die regionalen Wälder ausgeht und wenn geeignete Gegenmaßnahmen seitens der Behörde vorgeschrieben werden.

Wir wollen betonen, dass unser Projekt kein Bildungsprogramm für den Umgang von Kleinstwaldbesitzern mit dem Klimawandel darstellt. Vielmehr wollen wir die Motivation von Kleinstwaldbesitzern für die von ihnen gewählte Form der Waldbewirtschaftung erfassen. Auf dieser Grundlage können später gezielte Informationskampagnen gefahren werden.



## Projektleitung

Prof. Dr. **Oliver Sass**

Karl-Franzens-Universität Graz

Institut für Geographie und Raumforschung



## Beteiligte Institutionen

- Karl-Franzens-Universität, Graz
- Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU)
- Zentrum für Naturgefahren GmbH, Innsbruck (alpS)



## Gute Gründe für das Projekt

- Die Waldbrandgefahr in Österreich ist relativ gering, wird jedoch durch den aktuellen Klimawandel zunehmen.
- Waldbrände können Naturgefahren wie zum Beispiel Lawinen, Steinschläge oder Muren nach sich ziehen.
- Im Projektgebiet Tirol liegen die am stärksten gefährdeten Gebiete in den warmen und trockenen Tallagen in der Nähe von Siedlungen.

## FIRIA

Waldbrandgefahr in Österreich  
unter den Vorzeichen des Klimawandels

### Feuer in Österreich – das FIRIA-Projekt

Im Vergleich zur Situation in den südeuropäischen Ländern sind Waldbrände in Österreich ein relativ seltenes Phänomen. Bis vor etwa zehn Jahren gab es noch keine zentral zusammengeführten Statistiken, zumal die Schäden durch Feuer im Vergleich zu jenen durch Windwurf oder Borkenkäferbefall zu vernachlässigen sind.

Es konnte jedoch **in trockenen Sommern** (z.B. im „Jahrhundertsommer“ 2003) eine merkliche **Steigerung der Waldbrandhäufigkeit** festgestellt werden. Das lässt befürchten, dass sich die Problematik aufgrund einer anzunehmenden Häufung von warm-trockenen Wetterperioden im Laufe des 21. Jahrhunderts verschärfen wird. Bekannt sind Fälle von spektakulärer Entwaldung in Folge von Waldbränden in Tirol: Einige steile Hänge der Nordtiroler Kalkalpen sind heute

noch, Jahrzehnte nach Großfeuern in den 1940er Jahren, nahezu völlig vegetationslos.

**Die Folge der Entwaldung sind verstärkte sekundäre Naturgefahren wie Steinschlag, Murgänge und Lawinen.**

**Das ACRP-Projekt FIRIA beschäftigt sich mit folgenden Fragen:**

- Räumliche und zeitliche Verteilung der Waldbrände
- Steuerparameter der Waldbrand-Verteilung
- Regeneration von Waldbrandhängen
- Mögliche Veränderungen durch den aktuellen Klimawandel
- Sekundäre Naturgefahren (Steinschlag und Lawinen) an den zukünftigen *Hot Spots* des Waldbrandgeschehens

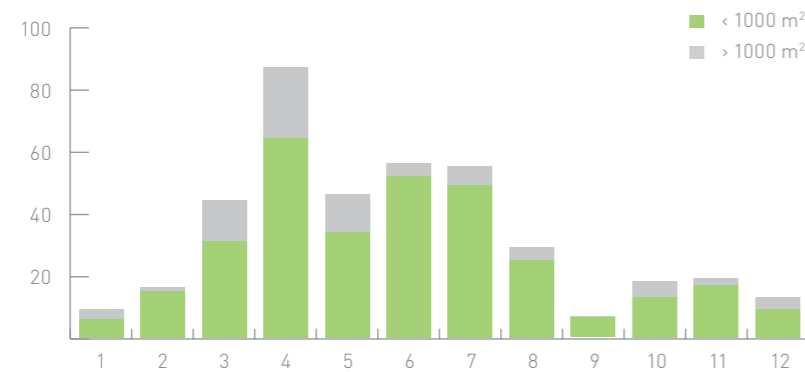


Abb. 1  
Jahreszeitliche Verteilung der untersuchten Brände in Tirol (1993 – 2011)

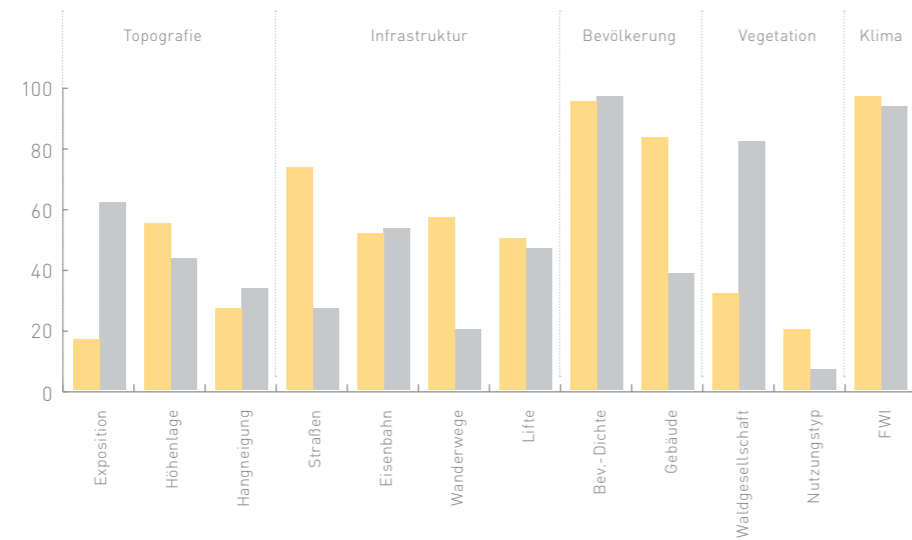


Abb. 2  
Bedeutung der Einflussfaktoren für Waldbrände in den Algorithmen MaxEnt und Random Forests (mögliches Maximum 100%, Mittel aus je zehn Testläufen)

### Ergebnisse – Verteilung der Waldbrände

Eine im Laufe von mehreren Projekten (AFFRI, ALP FFIRS, FIRIA) zusammengestellte Datenbank von Waldbränden in Österreich ist inzwischen an der BOKU Wien auch öffentlich verfügbar (<http://fire.boku.ac.at>).

Für das Projektgebiet Tirol wurde ein möglichst homogener Datensatz von Waldbränden für die weitere Untersuchung zusammengestellt (400 Waldbrände aus den Jahren 1993 – 2011). Während Datum, Größe und Ursache der Brände meistens recht verlässlich vorliegen, ist der genaue Startpunkt des Feuers oft nur ungenau bekannt, was zu Unschärfen in der Auswertung führt. Die jahreszeitliche Verteilung der Brände zeigt ein ausgeprägtes Frühjahrsmaximum.

Abb. 1

Zur Analyse der Steuerparameter wurden in der zugehörigen Datenbank verschiedene potenzielle Einflussfaktoren zusammengestellt, z.B. Hangneigung, Exposition, betroffene Vegetation sowie die Lagebeziehungen zu Siedlungen und Infrastruktur. Alle Daten wurden für ganz Tirol in Gitterzellen von 100x100 Metern berechnet. Ferner wurden die klimatischen Verhältnisse in einem 1x1 km-Raster mit einbezogen. Die klimatischen Verhältnisse wurden als die mittlere Anzahl von Tagen mit der Überschreitung eines bestimmten Feuer-Wetter-Indizes (*Build Up Index, BUI*) als ein Teil des Kanadischen Feuer-Wetter-Indizes dargestellt. Alle Tage mit einem BUI > 4 wurden jeder Zelle als potenzielle Feuertage (*pot.fire days*) zugeordnet und als Modellierungsinput verwendet.

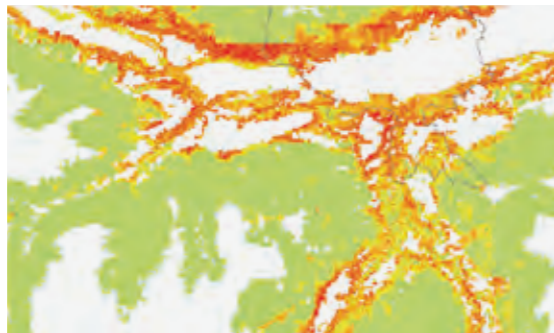
Die steuernden Faktoren für die räumliche Verteilung der beobachteten Waldbrände wurden dann mittels multivariater Statistik bestimmt. Es wurden die aus der Habitatmodellierung bekannten selbstlernenden Algorithmen Maximum Entropy (*MaxEnt*) und Random Forests (*RF*) verwendet.

Die Ergebnisse zeigen für beide Modellierungsalgorithmen übereinstimmend, dass Klima (Anzahl der Tage mit BUI > 4) und anthropogene Faktoren (Bevölkerungsdichte, Nähe zu Siedlungen) die wichtigsten Steuerparameter darstellen.

Abb. 2



RANDOM FOREST



MAXIMUM ENTROPY

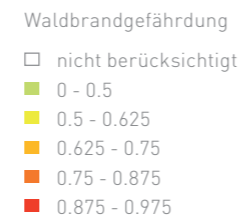
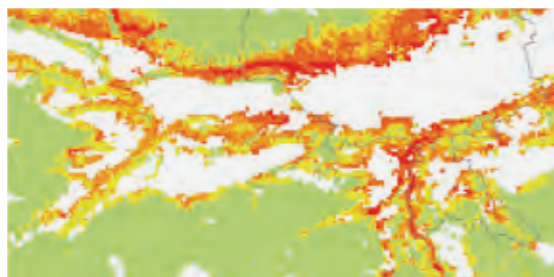


Abb. 3

Karte der Waldbrandgefährdung von Tirol (Ausschnitt um Innsbruck).  
Relative Werte – Maximum 100%

Letzteres wird auch durch den Anteil von ca. 85% an anthropogen verursachten Feuern wiedergespiegelt. Hinsichtlich der Rolle der aktuellen Vegetation weichen die Modelle geringfügig voneinander ab: *MaxEnt* sieht die Waldgesellschaften als drittwichtigste Variable (mit einer überproportionalen Branddichte in Fichten- und Fichten-Föhren-Wäldern), während *RF* diese Variable als wenig wichtig einstuft. Die Exposition wird von *MaxEnt* mit mittlerer Wichtigkeit eingestuft, während sie von *RF* als unwichtigster Parameter gesehen wird. Infrastruktur wie Bahnlinien, Straßen und Aufstiegshilfen werden übereinstimmend als von mittlerer Wichtigkeit eingestuft. Hangneigung sowie funktionaler Waldtyp (Wirtschaftswald, Schutzwald) spielen keine bedeutende Rolle.

Abb. 2

Auf Basis der berechneten Daten wurde eine Karte der Feuergefährdung erstellt, die eine starke Konzentration auf die Täler zeigt. Dies ist auf ein Zusammentreffen von Siedlungsnähe und Klima (geringerer Niederschlag, größere Wärme) zurückzuführen. Leicht modifizierende Einflüsse sind die Exposition in Ost-West-verlaufenden Tälern sowie die relativ trockenen Föhngassen im Tiroler Oberland.

Abb. 3

Das Waldbrand-Dispositionsmodell wurde anschließend unter Einfluss von zwei möglichen Klimaszenarien (ALADIN und RegCM3) in die Jahre 2040, 2070 und 2100 projiziert. Die Veränderung in der Fläche von erhöhtem Feuerrisiko durch häufigere Dürre und höhere Temperaturen im Untersuchungsgebiet wurde quantifiziert.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das räumliche Muster der Feuergefährdung weitgehend gleich bleibt (es entstehen also keine gänzlich neuen *Hot Spots*), sich jedoch der Grad der Gefährdung fast überall erhöht. Die Waldbrandgefährdung an den bereits bekannten *Hot Spots* (z.B. Inntal in Talnähe, Tiroler Oberland) verschärft sich dadurch weiter.

Die Ergebnisse müssen noch mit Vorsicht interpretiert werden, da weder sich verändernde Vegetationsmuster (z.B. Waldgrenzverschiebung, Baumartenwechsel) noch eventuell steigender anthropogener Einfluss berücksichtigt wurden. Dabei ist davon auszugehen, dass sowohl eine Veränderung der Vegetation unter permanentem Trockenstress als auch eine Erhöhung der Bevölkerungsdichte eine Erhöhung der Brandgefahr nach sich ziehen würden.

Abb. 4

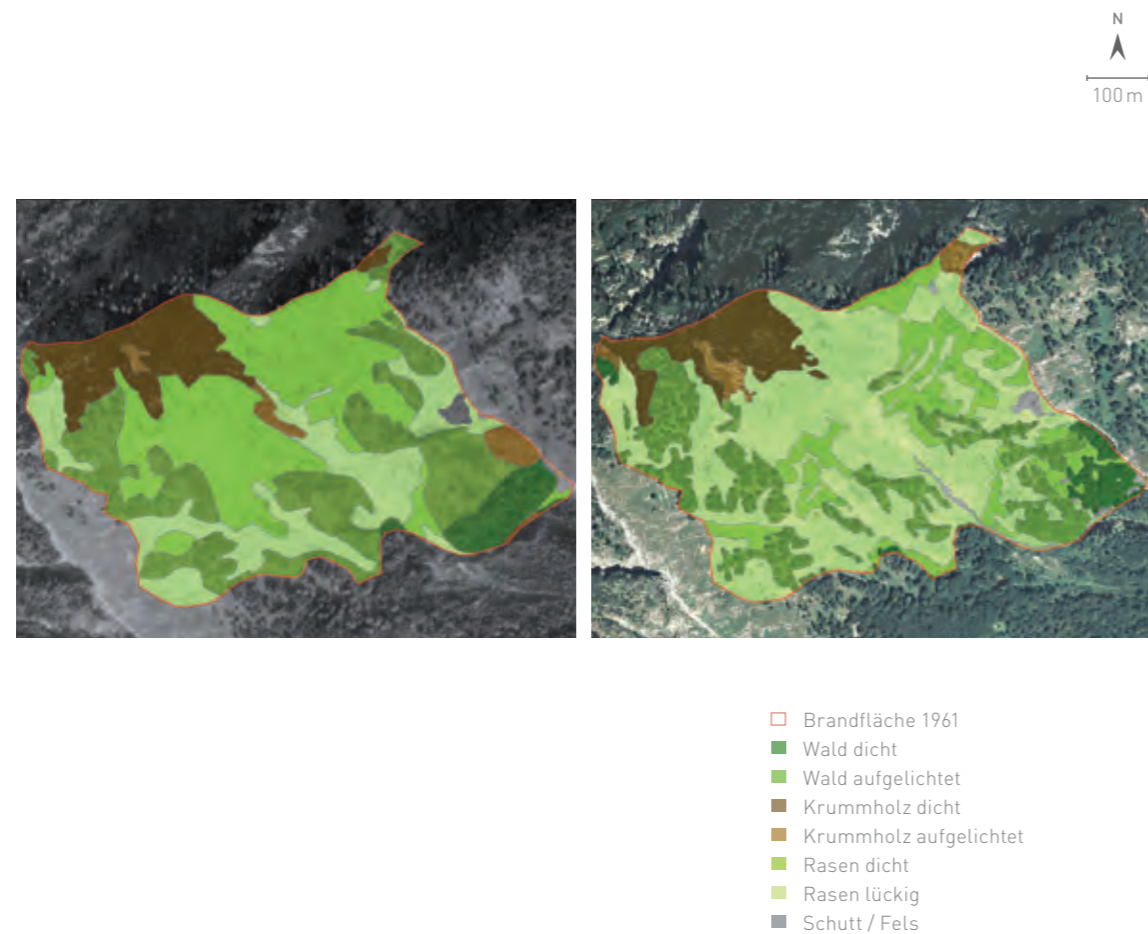


Abb. 4

Retrograde Vegetationsentwicklung auf dem Gimbach-Waldbrandhang (OÖ)

Brandjahr: 1961; links: Zustand 1965; rechts: Zustand 2001.

An 28 großen, historischen Brandflächen (ca. 1800 – 1970) und an sieben jüngeren Flächen (1990 – 2010) wurden Vegetationskartierungen aus Luftbildern durchgeführt, bei 16 davon auch aus multitemporalen Luftbildern, d.h. aus Luftbildern von verschiedenen Aufnahmezeitpunkten [Abb. 4](#). Aus den Ergebnissen lassen sich Zeitreihen der Wiederbewaldung ableiten, wobei sich zeigt, dass von Hang zu Hang extreme Unterschiede zu verzeichnen sind. Um die steuernden Parameter für divergente Entwicklungen herauszuarbeiten, wurden auch hier GIS-gestützte, multivariate statistische Untersuchungen durchgeführt. Es wurden in 10x10 m großen Zellen die Parameter Höhe, Exposition, Hangneigung, Gesteinsart, verschiedene Nachbarschaftsbeziehungen sowie die verstrichene Zeit seit dem Waldbrand berücksichtigt.

Eine überraschende Erkenntnis ist, dass die verstrichene Zeit eine nur sehr untergeordnete Bedeutung spielt. Es sind sogar retrograde Entwicklungen – also eine fortschreitende Verschlechterung der Vegetation noch Jahrzehnte nach dem Brand – möglich. Der Wiederbewuchs mit Wald findet leichter in geringerer Höhe und bei geringerer Hangneigung statt und ist in Rinnen deutlich erschwert. Für Grasbewuchs und Krummholz sind die Beziehungen jedoch teilweise genau gegenläufig: Krummholz fasst z.B. in sehr steilen Felshängen oft sogar leichter Fuß. Nachbarschaftsbeziehungen zu bereits bewaldeten Zellen sowie die Nähe zum Rand der Fläche haben keine signifikante Auswirkung auf die Regeneration.

## Sekundäre Naturgefahren

Aufbauend auf der Identifikation der *Hot Spots*, an denen Waldbrände überdurchschnittlich wahrscheinlich sind, wurde untersucht, inwieweit durch Brand entwaldete Flächen neue Anbruchflächen bzw. höhere Intensitäten für Naturgefahrenprozesse entstehen lassen und ob sich die Anbruchflächen in puncto Dimension und Häufigkeit durch ein erhöhtes Waldbrandrisiko verändern.

Dazu wurden zunächst, basierend auf regionalen Modellierungen der Gefahrenprozesse, die Überschneidungsbereiche mit Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen für ganz Tirol ermittelt. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass nach einem potenziellen Waldbrand in 17 Einzugsgebieten mit einer erhöhten Gefährdung durch Steinschlag (6), Lawinen (3) oder beide (8) Prozesse zu rechnen ist. Zehn der betroffenen Gebiete liegen im zentralalpinen Bereich (Paznauntal, Ötztal, Stubaital und Zillertal), vier im Inntal und drei in den Nördlichen Kalkalpen. Für die betroffenen Gebiete, in denen von einer Gefährdung infrastruktureller Einrichtungen auszugehen ist, werden zurzeit prozessspezifische Modellberechnungen, Gefahrenanalysen und -beurteilungen durchgeführt.



## Projektleitung

Dr. **Silvio Schüller**

Bundeforschungszentrum für Wald (BFW), Wien  
Institut für Waldgenetik



## Gute Gründe für das Projekt

- Die sehr junge Wissenschaft der Epigenetik untersucht wie Umweltfaktoren die Übersetzung des genetischen Codes in das morphologische und physiologische Erscheinungsbild von Tieren und Pflanzen beeinflussen. Bisher werden diese Untersuchungen vor allem an Modellorganismen (Fruchtfliegen, Ackerschmalkraut) vorgenommen.
- Bei AdaptTree wird an Bäumen untersucht, ob die am jeweiligen Wuchsort anzutreffenden Klimabedingungen während der Baumblüte und Samenreifung einen Einfluss auf die epigenetische Variation und somit auf die Erscheinungsmerkmale (z.B. Wurzeldurchmesser, das Überleben unter Trockenstressbedingungen etc.) der nächsten Baumgeneration haben.
- Ein umfassendes Wissen über epigenetische Prozesse von Waldbäumen hilft dabei, die Folgen der Klimaerwärmung für die nachfolgende Baumgeneration abzuschätzen, und die Adaptationsmaßnahmen für die Forstwirtschaft zu entwickeln. Zum Beispiel könnte man Forstsaatgut für zukünftige Wälder in bereits heute wärmebegünstigten Regionen Österreichs produzieren.

## AdaptTree

Die Bedeutung epigenetischer Variation für die natürliche Anpassung von Bäumen an den Klimawandel

Obwohl nicht alle Bäume ein so biblisches Alter erreichen wie der älteste Baum der Welt – eine 9950 Jahre alte Fichte im Fulufjället National Park in Schweden – ist ihre Lebensdauer lange genug, um den von Menschen gemachten Klimawandel zu erleben.

Daher scheint eine natürliche Anpassung von Waldbeständen an die Klimaveränderungen durch die bekannten evolutionären Anpassungsmechanismen wie Mutation, Selektion und Migration unmöglich.

Neuere Studien zeigen allerdings, dass neben dem genetischen Code (DNA) auch die Genexpression<sup>1</sup> für das Erscheinungsbild eines Baumes, für wichtige Lebensfunktionen und das Überleben unter bestimmten Umweltbedingungen verantwortlich ist. **Und im Gegensatz zu der sich nur langsam anpassenden DNA, wird die Genexpression von Umwelt- und Klimafaktoren beeinflusst.** Zudem wird diese als epigenetische Variation<sup>2</sup> bezeichnete Steuerung der Genexpression vererbt und erlaubt daher eine **vergleichsweise rasche Anpassung von Baumpopulationen innerhalb weniger Generationen.**

1)  
Genexpression bezeichnet den Prozess der Übersetzung des genetischen Codes in Eiweißmoleküle, die das morphologische und physiologische Erscheinungsbild eines jeden Individuums darstellen.

2)  
Epigenetik bezeichnet diejenigen erblichen Veränderungen des Phänotyps, die nicht durch den genetischen Code (die DNA Sequenz) erklärt werden können. Der britische Wissenschaftler Bryan Turner erläutert das wie folgt: „DNA ist wie ein Tonband, auf dem Informationen gespeichert sind, und ein Tonband nützt uns ohne ein Abspielgerät gar nichts. Die Epigenetik befasst sich mit dem Tonbandgerät.“

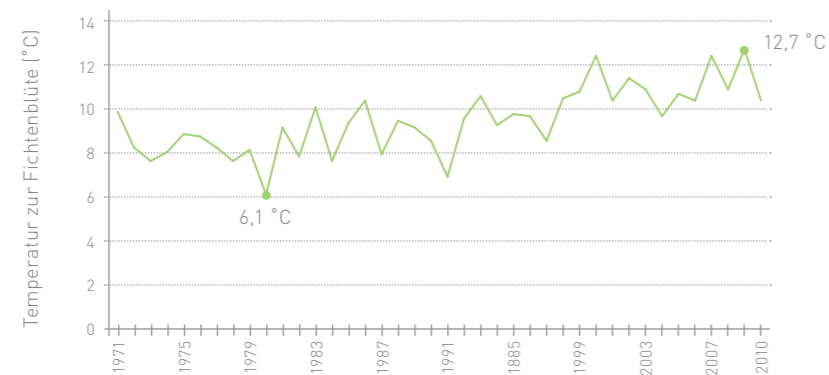


Abb. 1

Mittlere Temperatur während der Blühperiode der Fichte für einen Fichtenbestand im Waldviertel.

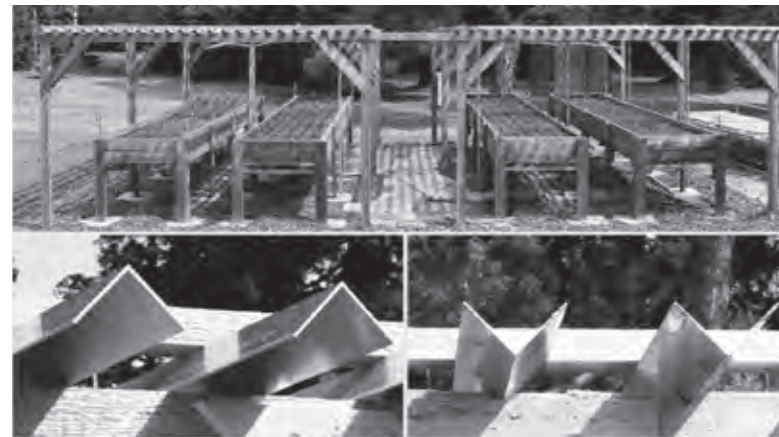


Abb. 2

Experimenteller Aufbau des Sämlingsexperiments.

Der Anbau der Sämlinge unter verschiedenen Niederschlagsszenarien erlaubt nicht nur die Messung zahlreicher Wachstumsparameter, sondern auch die Abschätzung der Plastizität, d.h. der Fähigkeit eines (Epi)-Genotyps, in unterschiedlichen Umwelten verschiedene Phänotypen auszubilden.

Beispielsweise zeigen Untersuchungen an der Fichte, dass die Bedingungen während der Blüte und Samenbildung (z.B. Tageslänge, Temperatur) wichtige adaptive Merkmale der jungen Pflanzen wie Blattaustrieb und Wachstumsabschluss beeinflussen können. Bisherige Erkenntnisse wurden unter experimentell gesteuerten Umweltbedingungen und durch die Verbringung von Pflanzgut über größere geographische Breiten gewonnen. Doch wie geht es unseren ‚fest verwurzelten‘ Bäumen? Die meisten Waldbäume blühen im April und Mai und entwickeln ihre Samen bis zum darauf folgenden Herbst. Dabei können sich die klimatischen Voraussetzungen zur Blütezeit und während der Samenreife von Jahr zu Jahr stark unterscheiden. <sup>Abb.1</sup>

Daher stellt sich die Frage, ob die am jeweiligen Wuchsort anzutreffende Klimavariabilität einen Einfluss auf das Wachstum und Klimaeignung der jungen Bäume hat, deren Samen in den betreffenden Jahren gebildet wurden.

Diese Fragestellung war Ausgangspunkt für das Projekt AdaptTree und bildet die Basis für die zentralen Hypothesen des Projekts:

- Die unterschiedlichen Klimabedingungen zur Blüte und Samenreife führen zu bestimmten Veränderungen des Phänotyps der nächsten Baumgeneration
- Epigenetische Anpassung unterstützt die Anpassung von Baumbeständen an den Klimawandel

Der wichtigste Teil des AdaptTree Experiments fand schon vor Projektbeginn statt, denn die extrem unterschiedlichen Klimabedingungen des letzten Jahrzehntes erlaubten die wiederholte Beerntung einiger Saatguterntebestände und Saatgutplantagen von Fichte, Lärche und Kiefer.

Bei der Auswahl der Reifejahre wurden von jedem Waldbestand diejenigen Jahre ausgewählt, die sich klimatisch stark unterscheiden und vereinfacht in warm-trocken und kühl-frisch eingeteilt werden können. Eine Stichprobe dieses, aus kommerziellen Beerntungen stammenden Saatgutes, wurde im Versuchsgarten des BFW in einem zweijährigen Baum-schulversuch angebaut. Die im Jahr 2011 ausgesäten Samen verschiedener Herkünfte wurden unter zwei verschiedenen Behandlungen angebaut: die Hälfte der Pflanzen unter ‚normalen‘ (Niederschlag Wien Maria-brunn), die andere Hälfte unter ‚reduzierten‘ Niederschlagsbedingungen (50% des Niederschlages). <sup>Abb.2</sup>

Am Ende jeder Vegetationsperiode wurden Pflanzen entnommen und zahlreiche quantitative Merkmale gemessen. Dazu gehören Parameter der Wuchsleistung (Trockengewicht, Nadelgewicht, Wurzelhalsdurchmesser etc.) ebenso wie Merkmale die für das Überleben unter Trockenstressbedingungen bedeutsam sind, zum Beispiel das Verhältnis der Wurzellänge zur Gesamtlänge oder die Länge der längsten Seitenwurzeln. Zudem wurden Trockenstressversuche im Glashaus durchgeführt und die Frostresistenz im Winter bzw. Frühjahr durch Nadeluntersuchungen geprüft.

Abb. 3

## Kiefersämling

Bereits junge Sämlinge zeigen wichtige Eigenschaften der späteren Waldbäume, die für das Überleben wichtig sind. Zum Beispiel entscheidet der Zeitpunkt des Nadelaustriebs im Frühjahr darüber, wie stark der Baum durch Spätfröste geschädigt werden kann aber auch über die Länge der Wachstumsperiode. Viele dieser Eigenschaften können durch Umweltfaktoren „epigenetisch“ modifiziert werden und ermöglichen so eine schnellere Anpassung an den Klimawandel als bisher gedacht. (Foto: Thalmayr, BFW)

Die experimentellen Arbeiten und Messungen wurden im Sommer 2013 abgeschlossen. Für die statistische Analyse wurden sowohl unabhängige Vergleiche zwischen den Reifejahren der jeweiligen Samenherkunft als auch allgemeine lineare Modelle verwendet.

Beide statistische Verfahren belegen eindeutig, dass eine Vielzahl von quantitativen Merkmalen der Sämlinge von den Wetterbedingungen des Saatgutjahres abhängen. So wurden für alle drei Baumarten signifikante Unterschiede im Pflanzengewicht sowie in der Spross- und Wurzellänge gefunden. Dabei zeigt sich, dass Saatgut aus warm-trockenen Jahren Sämlinge ergibt, die tendenziell leichter und kleiner sind. Bei der Baumart Kiefer konnte zudem eine bessere Wurzelbildung nachgewiesen werden. Im Trockenstressversuch wiesen die Sämlinge warmer Jahre von einigen Herkünften geringere Trockenschäden auf als Sämlinge aus kühl-frischen Jahren. Allerdings zeigten die verschiedenen Baumarten unterschiedliche Reaktionen und die einzelnen Herkünfte reagierten in unterschiedlichem Ausmaß auf die klimatischen Einflüsse der Reifejahre.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist der Vergleich der beiden Niederschlagsvarianten für einzelne Samenherkünfte und Reifejahre. Aus diesem Vergleich lässt sich die Plastizität der Herkünfte abschätzen. Als Plastizität bezeichnen Genetiker die Fähigkeit eines Genotyps bzw. Epigenotyps in unterschiedlichen Umwelten verschiedene Phänotypen auszubilden. Sind die phänotypischen Unterschiede, zum Beispiel in der Wachstumsleistung zwischen den Niederschlagsvarianten groß, so kann die Samenherkunft als sehr plastisch gelten. Zeigen sich aber nur sehr wenige Unterschiede, so weist die Herkunft eine geringe Plastizität auf. Im

AdaptTree Experiment erwiesen sich Samenherkünfte von Fichte und Kiefer aus kühl-feuchten Jahren als weitaus plastischer als Herkünfte aus warm-trockenen Jahren. Bei der Lärche zeigte sich der entgegengesetzte Effekt: hier zeigten die Samenherkünfte aus warm-trockenen Jahren die höchste Plastizität.

Insgesamt konnte das vorliegende Projekt die aufgestellten Hypothesen zu einem gerichteten Einfluss der Klimabedingungen während Blüte und Samenreife auf die Ausprägung von adaptiven Merkmalen von Waldbäumen erstmalig *in situ*, im natürlichen Umfeld, bestätigen. Dabei erstreckte sich der Einfluss nicht nur auf die einzelnen Messparameter, sondern auch auf Plastizität der Samenherkünfte. Für Planungen über die zukünftige Versorgung mit Forstsaatgut, beispielsweise bei der Neuanlage und dem Management von Saatgutplantagen oder für Herkunftsempfehlungen müssen diese neuen Erkenntnisse dringend berücksichtigt werden. Zudem erweitern die Ergebnisse unser Wissen über die Anpassungsfähigkeit von Wäldern und Waldökosystemen an sich ändernde Klimabedingungen. Anscheinend erlaubt die umweltgesteuerte Ausprägung von adaptiven Merkmalen Waldbäumen eine raschere Anpassung an sich ändernde Bedingungen als bisher vermutet. Ob das Ausmaß dieser epigenetischen Variation allerdings ausreicht, um die erwarteten Klimaveränderungen vollständig auszugleichen ist noch ungewiss, denn letztlich können durch epigenetische Steuerungsmechanismen nur diejenigen Gene und Genvarianten exprimiert werden, die im genetischen Code vorhanden sind.

Silvio Schüller



### Projektleitung

Ao.Univ.Prof. Dr **Manfred J. Lexer**

Universität für Bodenkultur, Wien  
Institut für Waldbau



### Beteiligte Institutionen

- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)  
Fachabteilung Klimaforschung, Bereich Daten, Methoden, Modelle
- Österreichische Bundesforste AG



### Gute Gründe für das Projekt

- Das Projekt liefert empirisch begründete Zusammenhänge von Waldzustand, Wetter und Störungsereignissen durch Wind und Borkenkäfer für österreichische Waldökosysteme.
- Der Einbau von Störungsmodulen in Computersimulationsmodelle für Waldökosysteme ermöglicht bessere Analysen von Klimawandelfolgen und die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen, die das Risiko von Störungen minimieren.
- Das Wissen über wechselseitige Einflüsse verschiedener Störungsfaktoren trägt zu einer besseren Planung von Waldbewirtschaftungskonzepten zur Bereitstellung von wichtigen Ökosystemleistungen unter Klimawandelbedingungen bei.

## Disturbance

Modellierung von Störungsereignissen durch Wind und Borkenkäfer im österreichischen Wald

### Relevanz von Störungsereignissen im österreichischen Wald

Störungen sind Ereignisse, die schlagartig die Struktur und Artenzusammensetzung in Waldökosystemen verändern und die damit zusammenhängenden Ökosystemprozesse wie Nettoprimärproduktion, Zersetzung von Totholz oder den Wasserkreislauf beeinflussen. Aus der Sicht von Waldbewirtschaftung und Gesellschaft wirken sich Störungsereignisse auf die Holzproduktion und eine Vielzahl anderer Ökosystemleistungen wie z.B. Schutzwirkung gegen Steinschlag, Muren und Lawinen durch Störungsereignisse negativ aus.

Zu den wichtigsten Störungsfaktoren in Waldökosystemen im Ostalpenraum zählen Sturm und Borkenkäfer. In Österreich werden nach langjährigen Statistiken jedes Jahr 0,5–2,5 mill. m<sup>3</sup> Holz wegen Borkenkäferbefall und 1–2.5 mill. m<sup>3</sup> wegen Sturm und Schnebruchereignissen erzwungenermaßen geerntet. In der Periode von 2004 bis 2012 beliefen sich die Schäden aufgrund von Borkenkäferbefall auf 10–20 % der jährlich genutzten Gesamtmenge an Holz aus österreichischen Wäldern, die Sturmschäden betragen nochmals 5–55 %. Dies bedeutete in einzelnen Jahren, dass österreichweit über 60 % der Holzmenge ungeplant geerntet wurde. Einzelne Waldbesitzer und Forstbetriebe mussten wegen solcherart erzwungener Holzernten teilweise das Vielfache eines Jahreseinschlags nutzen.



Abb. 1

Erzwungene Nutzungen aufgrund von Schäden durch Wind und Borkenkäfer im Vergleich zu planmäßigen Nutzungen in vier Beispielforstbetrieben in Österreich während der Periode 1999-2008.

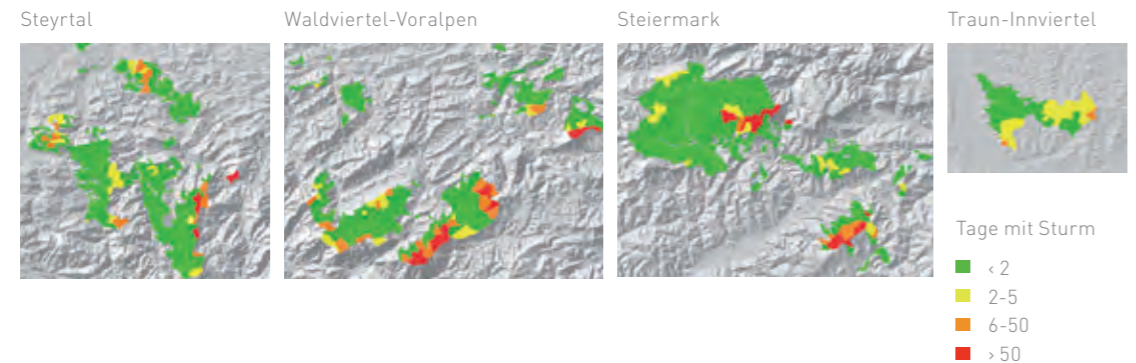


Abb. 2

Anzahl der Sturmtage (Tagesmaximum der Zwei-Sekunden-Böen über 30 m/sec) während der Periode 2003-2008 für vier Beispielforstbetriebe in Österreich.

Bei beiden Störungsfaktoren wird davon ausgegangen, dass sie unter Klimawandelbedingungen in Zukunft häufiger und intensiver auftreten könnten. Dementsprechend groß ist das Interesse an Modellen, die es ermöglichen, vorausschauend die Gefährdung von Waldbeständen und die davon abhängenden Ökosystemleistungen abzuschätzen.

### Forschungsansatz

Mit experimentellen Ansätzen wurden von verschiedenen Forschungsgruppen insbesondere im Falle von Fichtenborkenkäfern in den vergangenen Jahren große Fortschritte beim Verständnis von physiologischen Prozessschritten zu Entwicklung und Vermehrung der Insekten gemacht. Was allerdings bisher weitgehend für österreichische Verhältnisse fehlt, sind empirisch belegte Zusammenhänge zwischen Merkmalen von Waldbeständen, Wetterextremen und Klima einerseits und dem Auftreten von Störungsereignissen andererseits. Besonders relevant für die praktische Waldbewirtschaftung sind solche Zusammenhänge auf der Ebene von Waldbeständen, da hier Bewirtschaftungsmaßnahmen geplant und umgesetzt werden. Insbesondere die wechselseitigen Einflüsse verschiedener Störungsfaktoren, einschließlich geplanter Holznutzungen, sind von besonderem praktischen Interesse.

Für das vorliegende DISTURBANCE Projekt standen dem Projektteam Daten der Österreichischen Bundesforste (ÖBf AG) zur Verfügung. Es handelte sich um Forsteinrichtungsdaten von zwei aufeinanderfolgenden Einrichtungsperioden aus vier Forstbetrieben sowie die Aufzeichnungen der erfolgten Holznutzungen auf Bestandesebene nach Jahr und Menge.

Zusätzlich wurde aufgezeichnet, ob die Nutzung wegen bestimmter Störungsereignissen oder als geplante Holzernte durchgeführt wurde. Insgesamt betrug die repräsentierte Waldfläche in der Datenbasis mehr als 40 000 ha. Aus Abb. 1 geht hervor, wie vielfältig das Störungsregime in den vier Forstbetrieben während der Periode 1999 bis 2008 war bzw. wie hoch die dadurch verursachten Schäden waren.

Neben den waldbezogenen Daten wurden vom Projektpartner ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) Zeitreihen des historischen Klimas (Minimum-, Maximum- und Mitteltemperaturen, Niederschlagsmengen, Globalstrahlung, Dampfdruckdefizit der Atmosphäre sowie Indikatoren für tägliche Windgeschwindigkeitsmaxima in einer räumlichen Auflösung von 100x100 m zur Verfügung gestellt. Ausgehend von diesem Raster wurde für jeden der über 8000 Waldbestände in der Datenbasis eine für das historische Klima der Periode 1999 bis 2008 repräsentative Klimazeitreihe interpoliert. Abb. 2 zeigt die regionalen Unterschiede im Sturmklima anhand der vier Forstbetriebe auf.

Mit dieser Datenbasis wurden binäre generalisierte gemischte Modelle (*Generalized Linear Mixed Models, GLMM*) für die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit von Sturm- oder Borkenkäferstörungen und lineare gemischte Modelle (*Linear Mixed Models, LMM*) für die Erklärung der Schadensintensität (erzwungene Nutzung in m³/ha) erstellt. Auf informationstheoretischen Überlegungen basierende Indikatoren wurden eingesetzt, um aus einer Vielzahl an optionalen Modellen die insgesamt besten Modellfunktionen auszuwählen.

	Wind		Borkenkäfer	
	P	I	P	I
Bestandsalter	+		+	+
Holzvorrat (vor einem Störungsereignis)	+	+	+	+
Anteil der Fichte an der Basalfläche		+	+	+
Schaden durch Sturm in den vergangenen vier Jahren	+	+	+	
Schaden durch Borkenkäfer in den vergangenen vier Jahren	+		+	+
Schaden durch Schneebruch in den vergangenen vier Jahren	+		+	
Geplante Holznutzungen in den vergangenen vier Jahren			+	
Seehöhe	+		+	-
Hangneigung			-	
Himmelsrichtung			+	
Anzahl der möglichen Borkenkäfergenerationen im Jahr vor einem Schadeneignis			+	+
Maximale Böengeschwindigkeit in einem Kalenderjahr	+			
Bodenzustand zum Zeitpunkt der maximalen Böengeschwindigkeit (gefroren, nicht gefroren)	-			

Tab. 1

Bestandes-, Standorts- und Wettermerkmale in den empirischen Schätzmodellen für das Auftreten (P) bzw. die Intensität (I) von Störungsereignissen.

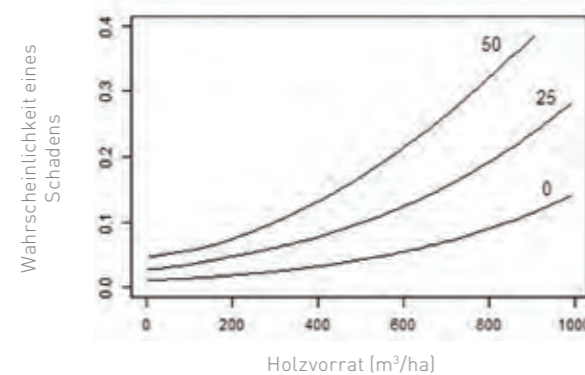


Abb. 3

Wahrscheinlichkeit eines Störungsereignisses durch Borkenkäferbefall in Abhängigkeit vom Holzvorrat und vorausgegangenen Borkenkäferschäden (0, 25, 50 = kein, 25 m³/ha, 50 m³/ha Schaden in den vergangenen vier Jahren).

Andere Bestandesmerkmale: Alter = 90 Jahre, Fichtenanteil = 70 %, Seehöhe = 900 m, Hangneigung 25°, Borkenkäfergenerationen (inkl. Geschwisterbruten) = 3-4.

### Modelle zur Abschätzen von Störungsereignissen

Sowohl für Sturm- als auch Borkenkäferstörungen konnten aussagekräftige Modelle erstellt werden.

Tab. 1

Die wichtigsten Merkmale, die mit den aufgetretenen Störungsereignissen korrelierten, waren in beiden Fällen der Vorrat sowie vorausgegangene Schäden durch Störungen. Wetterabhängige Parameter erwiesen sich ebenfalls als signifikante Einflussgrößen für das Auftreten und die Intensität von Schäden. Für Borkenkäferschäden ist die potentiell mögliche Anzahl von Generationen des Fichtenborkenkäfers (*Ips typographus*) eine wichtige Eingangsgröße für Schätzmodelle. In den Modellgleichungen für Sturmschäden sind die maximale Böengeschwindigkeit und der Zustand des Bodens (gefroren/ungefroren) während der Stürmergebnisse im Winterhalbjahr wichtige Eingangsgrößen.

Abb. 3 zeigt exemplarisch, wie sich unterschiedlich hohe vorausgegangene Schäden durch Borkenkäfer auf das Risiko auswirken, abhängig vom Holzvorrat im Folgejahr wiederum einen Schaden zu erleiden. So ist etwa bei durchschnittlichen Holzvorräten von 500 m³/ha das Risiko eines Borkenkäferschadens fünf Mal höher wenn in den vergangenen vier Jahren die Schadensmenge 50 m³/ha betrug.

Anhand der Abb. 3 wird ersichtlich, dass es sich um ein selbst verstärkendes System handelt. Je höher die Schäden desto höher auch das zukünftige Risiko. Da die Borkenkäfergenerationszahl stark von den Temperaturbedingungen bestimmt werden, ist unter Erwärmungsszenarien ein weiteres Ansteigen der Schäden zu erwarten.

Anhand der in den Modellgleichungen enthaltenen Information können Waldbewirtschaftungsstrategien entwickelt werden, die zum Ziel haben, das Risiko von Störungen zu mindern.

Die gefundenen Modellgleichungen können auch in dynamische Waldökosystemmodelle eingebaut werden und dann mittels Computersimulation zur längerfristigen Analyse der Entwicklung von Störungsregimen in Abhängigkeit von Waldmerkmalen, Klima und Störungsereignissen verwendet werden. Eine wesentliche Neuheit der in DISTURBANCE entwickelten Störungsmodellen liegt in der Berücksichtigung von wechselseitigen Abhängigkeiten verschiedener Störungsfaktoren.

Die in DISTURBANCE entwickelten Modellgleichungen zu Sturm- und Borkenkäferschäden wurden in ein erprobtes Waldökosystemmodell eingebaut und stehen in Zukunft für Analysen von Klimawandelfolgen und zur Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung.

Manfred J. Lexer





## Projektleitung

Dr. Silvio Schüller

Bundeforschungszentrum für Wald (BFW), Wien  
Institut für Waldgenetik



## Beteiligte Institutionen

- Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)  
Institut für Waldbau (Univ.Prof. Dr. M. J. Lexer)
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)  
Abteilung Klimaforschung (Dr. Ch. Matulla)
- University of British Columbia, Center for Forest Conservation Genetics (Dr. T. Wang)



## Gute Gründe für das Projekt

- Die aus dem Westen Nordamerikas stammende Douglasie wird als alternative Wirtschaftsbaumart im Klimawandel angesehen, denn aufgrund ihres großen natürlichen Verbreitungsgebietes besitzt sie Anpassungen an ein weites Spektrum von Klimabedingungen.
- Die heutigen Empfehlungen zur Verwendung von Samenherkünften basieren auf Herkunftsversuchen, auf denen über mehrere Jahrzehnte die Wuchseistung und die Überlebensrate der verschiedenen Herkünfte gemessen wurden. Im Projekt DouglAS wird untersucht, ob diese Empfehlungen auch für das Klima der Zukunft geeignet sind.
- Im ersten Teil des Projektes wurde eine Datenbank aufgebaut, in der die Ergebnisse von 58 Versuchsflächen und 298 geprüften Herkünften erfasst sind. Zudem wurden für alle Versuchsflächen und die geographische Orte des Samenherkünften Klimadaten zusammengestellt. Erste statistische Auswertungen belegen die hohe intraspezifische Variation der Klima-Wachstumsfunktion der Douglasie.

## DouglAS

Chancen und Risiken für den Douglasienanbau in Österreich:  
Nutzung der innerartlichen Variation für stabile und ertragreiche Douglasienwälder

Europäische Wälder besitzen im Vergleich zu anderen Waldgebieten der nördlichen Hemisphäre eine sehr geringe Baumartenvielfalt. Zum Beispiel finden sich im östlichen Nordamerika etwa 230 Baumarten, in Ostasien 570 Baumarten, in Europa dagegen nur rund 120 Baumarten. Als Ursache für diese geringe Baumartenvielfalt gelten die Klimaveränderungen der Eiszeiten in den letzten 2.5 Millionen Jahren: im Gegensatz zu anderen Kontinenten wurde in Europa der Rückzug von Baumarten in wärmere Refugialgebiete durch die in Ost-West Richtung orientierten Gebirge und das Mittelmeer behindert, so dass Baumarten mit höheren Klimaansprüchen nicht überleben konnten.

Die europäische Forstwirtschaft hat in den vergangenen Jahrhunderten gelernt, mit dem vorhandenen Baumartenspektrum nachhaltig zu wirtschaften. In Folge des Klimawandels muss allerdings davon ausgegangen werden, dass auf vielen Waldstandorten die derzeitigen Wirtschaftsbaumarten an ihre klimatischen Grenzen kommen und nicht mehr geeignet sind.

Und das betrifft nicht nur die heimische Fichte sondern auch einige Laubbäume wie zum Beispiel die Rotbuche. Insbesondere im sommerwarmen Osten Österreichs wird das verfügbare Baumartenspektrum auf sehr wenige einheimische Arten schrumpfen, die zudem nicht bestandsbildend sondern zerstreut vorkommen. Die bisher in Österreich vorherrschende multifunktionale Forstwirtschaft, die den Schutz von Wasser, Boden und Luft mit der Holzproduktion vereinbart hat, ist damit in Frage gestellt.

Aus diesem Grund wird die aus dem Westen Nordamerikas stammende Douglasie von vielen Forstbetrieben als alternative Wirtschaftsbaumart angesehen.

Abb. 3

## Kiefersämling

Bereits junge Sämlinge zeigen wichtige Eigenschaften der späteren Waldbäume, die für das Überleben wichtig sind. Zum Beispiel entscheidet der Zeitpunkt des Nadelaustriebs im Frühjahr darüber, wie stark der Baum durch Spätfröste geschädigt werden kann aber auch über die Länge der Wachstumsperiode. Viele dieser Eigenschaften können durch Umweltfaktoren „epigenetisch“ modifiziert werden und ermöglichen so eine schnellere Anpassung an den Klimawandel als bisher gedacht. (Foto: Thalmayr, BFW)

Die experimentellen Arbeiten und Messungen wurden im Sommer 2013 abgeschlossen. Für die statistische Analyse wurden sowohl unabhängige Vergleiche zwischen den Reifejahren der jeweiligen Samenherkunft als auch allgemeine lineare Modelle verwendet.

Beide statistische Verfahren belegen eindeutig, dass eine Vielzahl von quantitativen Merkmalen der Sämlinge von den Wetterbedingungen des Saatgutjahres abhängen. So wurden für alle drei Baumarten signifikante Unterschiede im Pflanzengewicht sowie in der Spross- und Wurzellänge gefunden. Dabei zeigt sich, dass Saatgut aus warm-trockenen Jahren Sämlinge ergibt, die tendenziell leichter und kleiner sind. Bei der Baumart Kiefer konnte zudem eine bessere Wurzelbildung nachgewiesen werden. Im Trockenstressversuch wiesen die Sämlinge warmer Jahre von einigen Herkünften geringere Trockenschäden auf als Sämlinge aus kühl-frischen Jahren. Allerdings zeigten die verschiedenen Baumarten unterschiedliche Reaktionen und die einzelnen Herkünfte reagierten in unterschiedlichem Ausmaß auf die klimatischen Einflüsse der Reifejahre.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist der Vergleich der beiden Niederschlagsvarianten für einzelne Samenherkünfte und Reifejahre. Aus diesem Vergleich lässt sich die Plastizität der Herkünfte abschätzen. Als Plastizität bezeichnen Genetiker die Fähigkeit eines Genotyps bzw. Epigenotyps in unterschiedlichen Umwelten verschiedene Phänotypen auszubilden. Sind die phänotypischen Unterschiede, zum Beispiel in der Wachstumsleistung zwischen den Niederschlagsvarianten groß, so kann die Samenherkunft als sehr plastisch gelten. Zeigen sich aber nur sehr wenige Unterschiede, so weist die Herkunft eine geringe Plastizität auf. Im

AdaptTree Experiment erwiesen sich Samenherkünfte von Fichte und Kiefer aus kühl-feuchten Jahren als weitaus plastischer als Herkünfte aus warm-trockenen Jahren. Bei der Lärche zeigte sich der entgegengesetzte Effekt: hier zeigten die Samenherkünfte aus warm-trockenen Jahren die höchste Plastizität.

Insgesamt konnte das vorliegende Projekt die aufgestellten Hypothesen zu einem gerichteten Einfluss der Klimabedingungen während Blüte und Samenreife auf die Ausprägung von adaptiven Merkmalen von Waldbäumen erstmalig *in situ*, im natürlichen Umfeld, bestätigen. Dabei erstreckte sich der Einfluss nicht nur auf die einzelnen Messparameter, sondern auch auf die Plastizität der Samenherkünfte. Für Planungen über die zukünftige Versorgung mit Forstsaatgut, beispielsweise bei der Neuanlage und dem Management von Saatgutplantagen oder für Herkunftsempfehlungen müssen diese neuen Erkenntnisse dringend berücksichtigt werden. Zudem erweitern die Ergebnisse unser Wissen über die Anpassungsfähigkeit von Wäldern und Waldökosystemen an sich ändernde Klimabedingungen. Anscheinend erlaubt die umweltgesteuerte Ausprägung von adaptiven Merkmalen Waldbäumen eine raschere Anpassung an sich ändernde Bedingungen als bisher vermutet. Ob das Ausmaß dieser epigenetischen Variation allerdings ausreicht, um die erwarteten Klimaveränderungen vollständig auszugleichen ist noch ungewiss, denn letztlich können durch epigenetische Steuerungsmechanismen nur diejenigen Gene und Genvarianten exprimiert werden, die im genetischen Code vorhanden sind.

Silvio Schüller

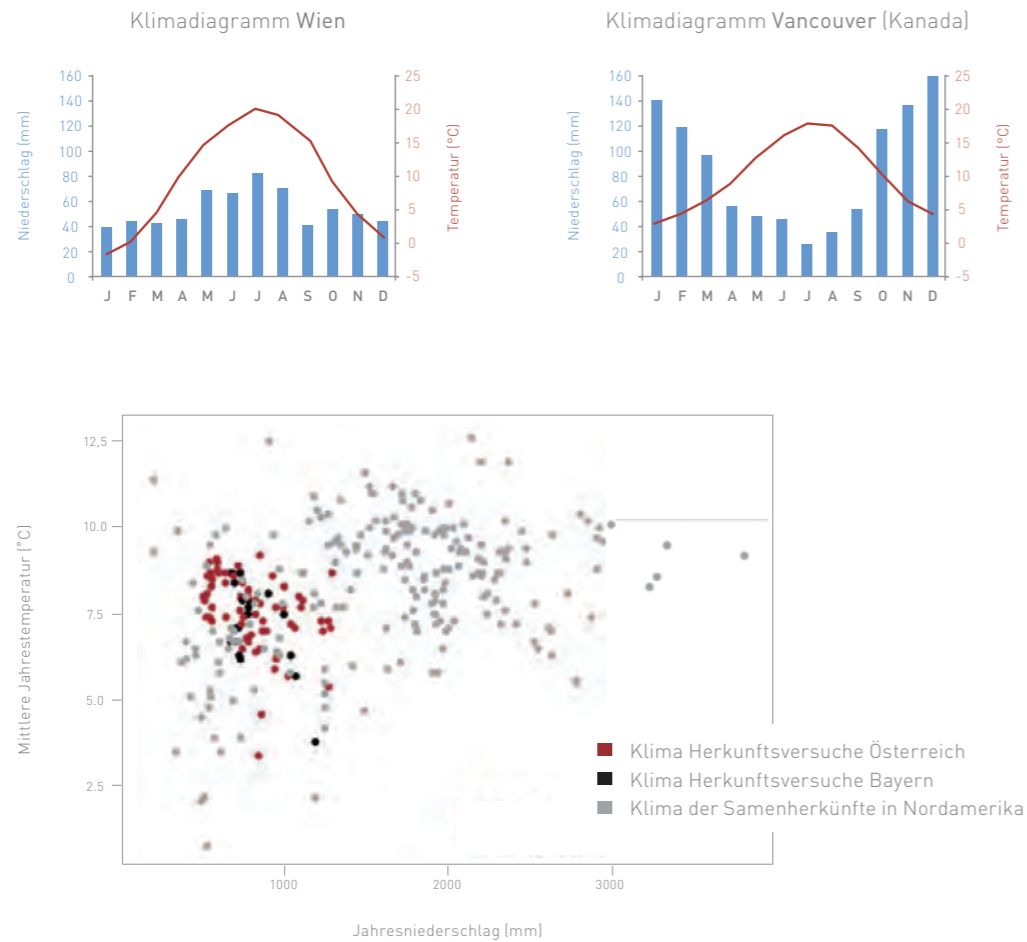


Abb. 3

Vergleich zwischen dem Klima des Douglasienursprungs in Nordamerika und den Versuchsflächen in Europa:

Obwohl in Europa ähnliche mittlere Jahrestemperaturen und Jahresniederschläge anzutreffen sind, gibt es große Klimaunterschiede. Im westlichen Nordamerika (z.B. Vancouver) herrscht ozeanisches Klima mit hohen Winterniederschlägen und moderaten Temperaturschwankungen. In österreichischen Anbaugebieten fällt der meiste Niederschlag dagegen im Sommer und das Klima ist stärker kontinental geprägt.

„Die Ergebnisse des Projekts sind nicht nur für neue Herkunftsempfehlungen wichtig, sondern können uns auch helfen zu verstehen, wie sich Baumarten in einem Klima verhalten, das sie in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet nicht kennen.“

Das im Herbst 2012 gestartete Projekt hat mittlerweile einige wichtige Meilensteine erreicht. Dazu gehört vor allem die Sammlung und Zusammenführung aller Daten österreichischer Douglasienherkunftsversuche in eine Datenbank. Zusätzlich wurden Ergebnisse von bayrischen Herkunftsversuchen durch eine Kooperation mit dem Bayerischen Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht Teisendorf in die Datenbank integriert. Damit umfasst die Datenbank jetzt die Ergebnisse von 58 Versuchsflächen auf denen in den letzten 40 Jahren 298 Herkünfte geprüft wurden. Als zweiter wichtiger Meilenstein wurden für alle Versuchsflächen Klimadaten (Temperatur, Niederschlag, tägliche Sonnenscheindauer, Globalstrahlung etc.) als fortlaufende Zeitreihe und als langjährige Mittelwerte zusammengestellt. Dazu wurden einerseits Daten der ZAMG Klimastationen, und andererseits der modellierte Datensatz des RECLIP-Projektes verwendet.

Die ersten statistischen Auswertungen der Douglasien-daten und der Klimadaten belegen die hohe innerartliche Variation der Douglasie, sind aber nur der erste Schritt der Analyse. Um das Projekt bei Forstpraktikern und forstwirtschaftlichen Entscheidungsträgern bekannt zu machen, wurde im Rahmen des Projekts eine Informationsveranstaltung mit Vorträgen und einer Exkursion zu einem Douglasienherkunftsversuch organisiert.



## Projektleitung

Univ. Prof. DI. Dr. **Erwin Schmid**

Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)  
Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung



## Beteiligte Institutionen

- Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)  
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung
- Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Waldwachstum und Waldbau
- Universität Innsbruck, Institut für Ökologie
- Europäische Akademie Bozen (EURAC), Institut für Alpine Umwelt
- Subauftragnehmer: Forschungsgruppe Regionalpolitik, Risiko- und Ressourcenökonomik, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH Graz



## Gute Gründe für das Projekt

- Beurteilung des Nutzens von land- und forstwirtschaftlichen Ökosystemen in Österreich für die Menschen (Ökosystemdienstleistung, ÖSD), unter Berücksichtigung von Klimawandelauswirkungen.
- Analyse, wie verschiedene Bewirtschaftungsformen den Nutzen des Ökosystems (Artenvielfalt, Ertrag, Landschaftsbild, etc.) unterschiedlich beeinflussen.
- Grundlagen für die Erarbeitung von Bewirtschaftungsmaßnahmen und Ableitung politischer Handlungsempfehlungen, um eine ausgewogene Bereitstellung von ÖSD sicher zu stellen.

Die österreichische Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2040:  
Eine integrative Analyse von Klima- und Politikauswirkungen auf  
Ökosystemdienstleistungen, Biodiversität und die regionale Wirtschaft

Sicherung einer ausgewogenen Versorgung von Ökosystemdienstleistungen durch die österreichische Land- und Forstwirtschaft

Landnutzungsentscheidungen in der Land- und Forstwirtschaft orientieren sich häufig an der Produktion von Lebens- und Futtermitteln, Rohstoffen für die Holz-, Zellstoff- und Papierindustrie sowie für die Energiewirtschaft und stellen somit den monetären Nutzen in den Vordergrund. **Diese Leistungen, die vor allem von agrarischen und forstlichen, aber auch natürlichen Ökosystemen hervorgebracht werden, können unter dem Begriff der bereitstellenden Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) zusammengefasst werden.** Tab. 1

Die Schwerpunktsetzung auf bereitstellende ÖSD hat in der Vergangenheit oft zu einem Rückgang anderer ÖSD geführt, wie jenen der unterstützenden und regulierenden ÖSD (z.B. Erhaltung der genetischen Vielfalt, Speicherung von organischem Bodenkohlenstoff) oder der kulturellen ÖSD (z.B. Landschaftsbild). Diese ÖSD haben wesentlichen Einfluss auf das menschliche

Wohlbefinden, werden aber für Entscheidungen im land- und forstwirtschaftlichen Betrieb oft nicht oder nur unzureichend berücksichtigt, da sie nicht direkt monetär bewertbar sind bzw. ihre Auswirkungen oft nicht zur Gänze oder erst zeitverzögert sichtbar werden. Das öffentliche Interesse an der Sicherung einer ausgewogenen Versorgung mit allen ÖSD ist zumeist größer als am Betrieb selbst, was beispielsweise durch die öffentliche Finanzierung von Agrarumweltprogrammen zum Ausdruck kommt.

**Klimawandel und Politikmaßnahmen können auf die zukünftige Versorgung mit ÖSD in der Land- und Forstwirtschaft einen großen Einfluss nehmen.**

Ein verändertes Klima hat direkte Konsequenzen für Ökosysteme (z.B. Pflanzenwachstum), bewirkt jedoch auch eine Veränderung in der Landnutzung, da Land- und Forstwirtschaft an die geänderten Rahmenbedingungen anpassen. Politikmaßnahmen beeinflussen im Rahmen gesetzlicher Vorgaben und bestimmter Fördermaßnahmen direkt die betrieblichen Entscheidungen und somit das Angebot von ÖSD.

Kategorie	Unterkategorie	Nutzen	Indikator
Bereitstellend	Biomasse	Nahrung, Material, Energie	Gesamte Biomasseproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen (inkl. Aufforstung) in t Trockenmasse
	Wasser	Beregnung	Wassernutzung für Beregnung in m <sup>3</sup>
Regulierend	Bodenbildung und -zusammensetzung	Abbau- und Fixierungsprozesse	Bodenkohlenstoffvorrat in t
	Klimaregulierung	Globale Klimaregulierung	Treibhausgasemissionen in Gg CO <sub>2</sub> eq
Unterstützend	Stabilität der Ökosysteme	Natürlichkeit	Grad der Natürlichkeit
		Biodiversität	Flächengemittelte potentielle Artenvielfalt der Gefäßpflanzen
Kulturell	Physische und geistige Interaktion	Ästhetik	Landschaftsdiversität anhand des Shannon Diversity Index

Tab. 1 Kategorien, Nutzen und Indikatoren von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD)

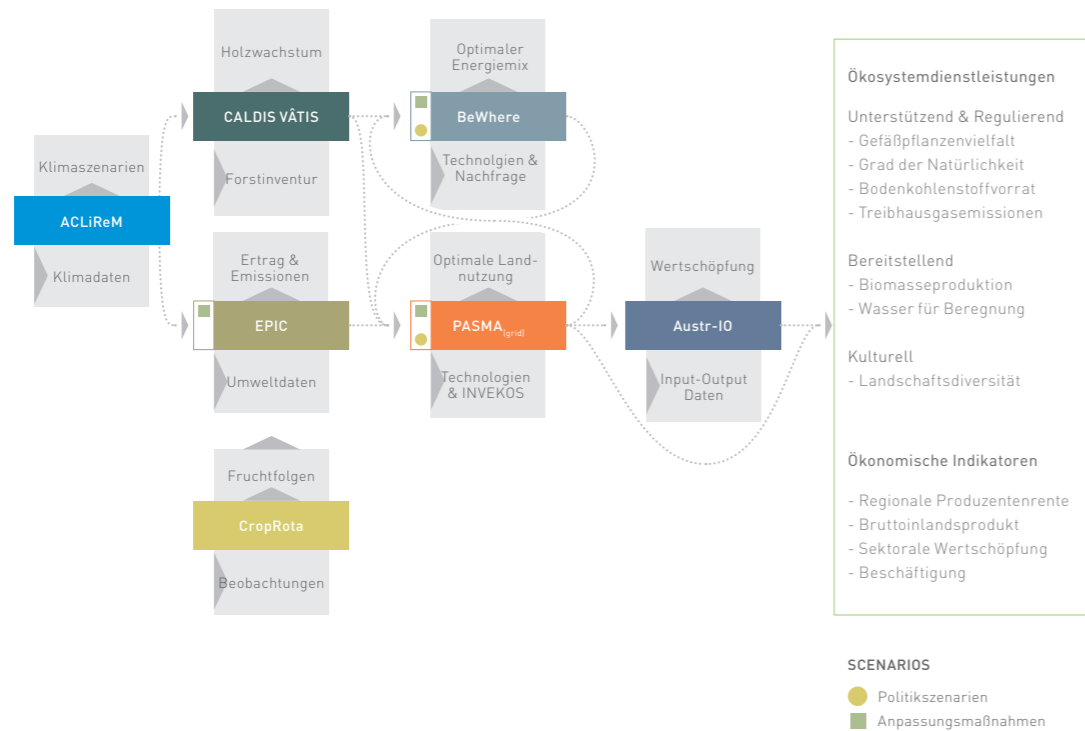


Abb. 1 Der integrative Modellverbund und ÖSD Indikatoren

Unser Forschungsprojekt hat sich zum Ziel gesetzt, die Auswirkungen von Klimawandel- und Politiksszenarien auf die Versorgung und Sicherung von agrarischen und forstlichen ÖSD sowie auf die regionale ökonomische Entwicklung bis 2040 zu untersuchen.

Um der Vielfalt von Indikatoren für ÖSD und ökonomischer Entwicklung sowie der Heterogenität von land- und forstwirtschaftlicher Flächenbewirtschaftung in Österreich gerecht zu werden, haben wir einen interdisziplinären und integrativen Modellverbund geschaffen, der räumlich detaillierte Analysen ermöglicht. Für die Entwicklung der Szenarien und die Beurteilung der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit wurden Stakeholder aus der Landes- und Bundesverwaltung sowie außeruniversitärer Forschungseinrichtungen miteinbezogen.

Der integrative Modellverbund besteht aus mehreren Modellen, die die Modellergebnisse an das jeweils folgende Modell weitergeben. **Abb. 1**

ACLiReM ist ein statistisches Klimamodell für Österreich, welches tägliche Klimadaten bis 2040 fort-schreibt. Das agronomische Modell CropRota leitet typische Fruchtfolgen auf Basis historischer Anbau-verhältnisse von Ackerkulturen in den Gemeinden ab. Klimadaten und Fruchtfolgen fließen zusammen mit Boden- und Bewirtschaftungsdaten in das biophysika-lische Prozessmodell EPIC ein, das Pflanzenwachstum und relevante Prozesse von Agrarökosystemen (z.B. Mineralisation, Nitrifikation) simuliert. Die Klima-daten sind ebenso Eingangsdaten für das Waldwachs-tumsmodell Caldis vátis, das jährliche Holzzuwächse, stehenden Holzvorrat und Erntemengen schätzt.

Die Ertragsdaten für land- und forstwirtschaftliche Flächen werden im räumlich expliziten ökonomischen Landnutzungsmodell Pasma<sub>[grid]</sub> verwendet, welches den österreichischen Land- und Forstwirtschafts-sektor hinsichtlich seiner räumlichen, strukturellen und förderpolitischen Bewirtschaftungsvielfalt in der Pflanzen- und Forstproduktion sowie Nutztierhaltung abbildet.

Die land- und forstwirtschaftlichen Biomasseerträge aus Pasma<sub>[grid]</sub> werden in das räumliche Energiesys-temmodell BeWhere integriert, welches die Kosten der Energiebereitstellung minimiert, indem es den optima-len Mix aus Biomasse und fossilen Energieträgern zur Bereitstellung von Mobilität, Elektrizität und Wärme bestimmt. Ökonomische Ergebnisse aus Pasma<sub>[grid]</sub> finden zudem Eingang in das multi-sektorale und regionale Input-Output Modell AUSTR-IO. Dieses analysiert auf Bundesländerebene die Auswirkungen von Veränderungen im Land- und Forstwirtschafts-ktor auf die Wertschöpfung der einzelnen Wirt-schaftssektoren, das Bruttoregionalprodukt (BRP) und den Grad der Beschäftigung. Zusätzlich werden die Auswirkungen von Landnutzungsveränderungen aus Pasma<sub>[grid]</sub> mit Hilfe räumlicher Analysen auf aus-gewählte Indikatoren für Biodiversität, Natürlichkeit und Landschaftsstruktur untersucht.

Der integrative Modellverbund ermöglicht vielfältige Landnutzungsanalysen auf Basis einer breiten Palette an Indikatoren, um Zielkonflikte und Synergien in der Landnutzung unter bestimmten Bedingungen (Szenari-en) aufzuzeigen.

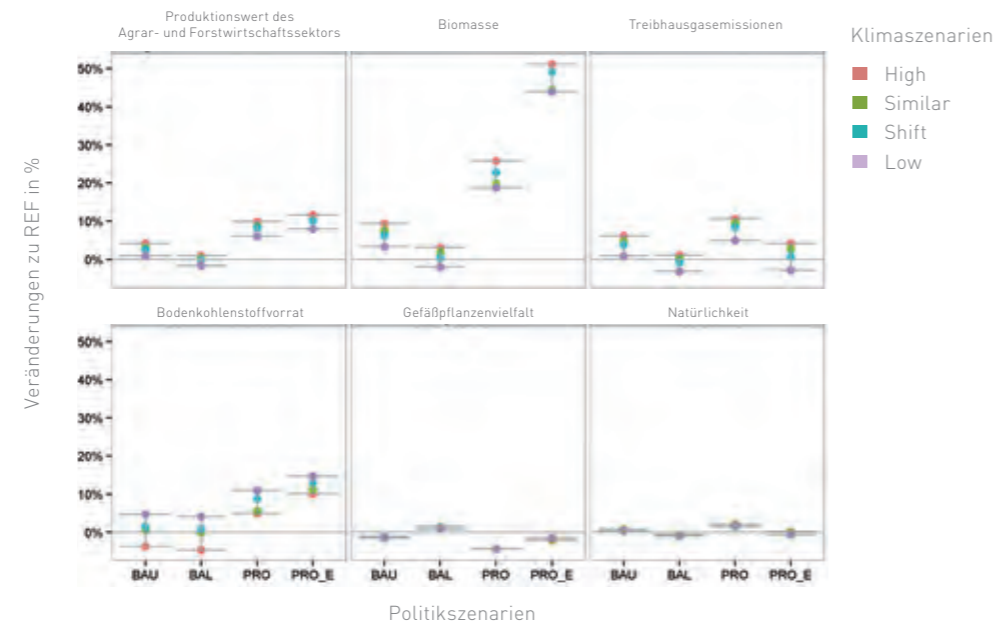


Abb. 2 Auswirkungen von Klima- und Politiksszenarien dargestellt an ausgewählten Indikatoren im Vergleich zu REF in Prozent.



Abb. 3 Absolute Änderungen im Grad der Natürlichkeit für das PRO\_E Szenario im Vergleich zu REF (1 km Raster). Negative Veränderungen bedeuten ein mehr an Natürlichkeit.

Szenarien für den Modellverbund

Unsere Klima- und Politiksszenarien skizzieren verschiedene Entwicklungspfade bis 2040.

Die vier **Klimaszenarien** weisen alle einen statistisch signifikanten Temperaturtrend von +1.5°C bis 2040 auf und berücksichtigen Annahmen über mögliche langfristige Niederschlagsveränderungen:

- ähnlich wie in der Vergangenheit (*Similar*)
- +20 % jährliche Niederschlagssumme (*High*)
- -20 % jährliche Niederschlagssumme (*Low*)
- Verschiebung von 20 % des Sommerniederschlags in den Winter (*Shift*)

Unsere Politiksszenarien beinhalten:

- Business as Usual (*BAU*) Szenario
- Szenario mit Schwerpunkt auf bereitstellende ÖSD v.a. von Nahrung und Holz (*PRO*)
- Szenario mit Schwerpunkt auf bereitstellende ÖSD v.a. von Bioenergie (*PRO\_E*)
- Szenario mit Schwerpunkt auf regulierende, unterstützende und kulturelle ÖSD (*BAL*)

Somit wurden Auswirkungen von insgesamt 16 Szenarien (Klima und Politik) gegenüber eines Referenzszenarios (*REF*) mit BAU Politik und derzeitigem Klima verglichen.

Ergebnisse der Klima- und Politiksszenarien im Modellverbund

Die Auswirkungen des Klimawandels scheinen die Konkurrenz zwischen den verschiedenen ÖSD zu verstärken. Das ist vor allem in den BAU Ergebnissen zu erkennen, da hier nur Klimaeffekte berücksichtigt sind. Abb. 2

Der durchschnittlich positive, aber regional sehr unterschiedliche Einfluss auf Pflanzenerträge (Temperaturanstieg und CO<sub>2</sub> Düngungseffekt) und die einhergehende Intensivierung der Landnutzung führen zu mehr Biomasseproduktion und ökonomischem Output. Die Intensivierung wiederum führt zu einer sinkenden Gefäßpflanzenvielfalt<sup>1</sup> und Natürlichkeit<sup>2</sup>, sowie zu erhöhten Treibhausgasemissionen aufgrund steigender Düngungsmengen. Veränderungen in der Landschaftsdiversität<sup>3</sup> sind in diesen Szenarien nicht nachweisbar.

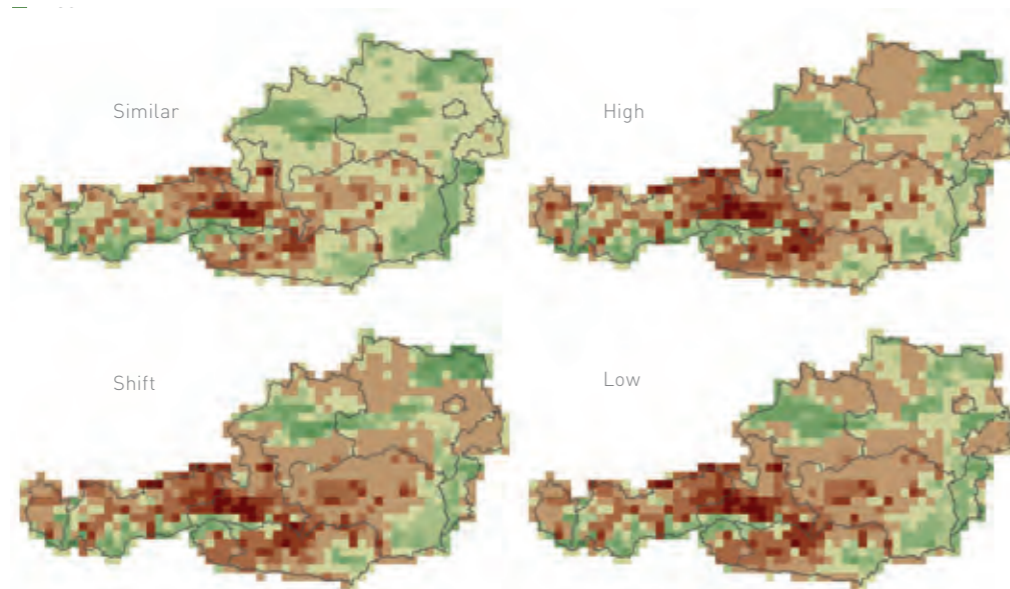
<sup>1</sup> Gefäßpflanzenvielfalt: Der Indikator beschreibt die mittlere potentielle Artenvielfalt aller Pflanzen (mit Ausnahme der Moose) basierend auf der durchschnittlichen Artenvielfalt unterschiedlicher Lebensräume sowie deren Flächenanteile.

<sup>2</sup> Natürlichkeit: Der Indikator misst den Grad des menschlichen Einflusses auf einen Lebensraum infolge der aktuellen Nutzungsform auf einer Intervallskala von 1 (natürlich) bis 7 (künstlich/versiegelt).

<sup>3</sup> Die Landschaftsdiversität wird mit Hilfe des Shannon Diversity Index berechnet, der ein Maß für die Vielfalt und den Strukturreichtum ist.

Shannon Diversity Index  
[Veränderung in %]

- < -20
- -20 bis -10
- -10 bis -5
- -5 bis -2
- -2 bis 2
- 2 bis 5
- 5 bis 10
- 10 bis 20



Der Shannon Diversity Index repräsentiert die Anzahl verschiedener Typen einer Stichprobe (in diesem Fall Landnutzungen) sowie deren Gleichmäßigkeit (Flächengröße) und ist ein gängiges Maß in der Analyse von Landschaften.

Abb. 4

Änderungen in der Landschaftsstruktur gemessen am Shannon Diversity Index für das PRO\_E Szenario im Vergleich zu REF (10km Raster). Der Shannon Diversity Index misst die Vielfältigkeit der Landschaft im Raster.

Die Auswirkungen auf den Bodenkohlenstoffvorrat variieren stark, abhängig von Kohlenstoffeinträgen (z.B. mehr Ernterückstände durch höhere Erträge) und Mineralisierungsraten (erhöhen sich tendenziell mit steigender Temperatur und steigendem Bodenwassergehalt). Diese gegensätzlichen Auswirkungen der ÖSD werden auch im alternativen Politikscenario PRO sowie in umgekehrter Weise in BAL ersichtlich.

Im Szenario PRO\_E ergibt sich ein differenziertes Bild. Die intensive Förderung von Biomasse für die Energieproduktion führt im Modellverbund zu großflächigen Aufforstungen im alpinen Raum und Kurzumtriebsplantagen (z.B. Pappel) auf Ackerflächen. Damit werden die höchsten Mengen an Biomasse bereitgestellt. Zusätzlich führen Aufforstungen zu geringeren Treibhausgasemissionen, einer Verbesserung des Bodenkohlenstoffvorrates und zu Natürlichkeit, aber auch zu einer Verringerung der Gefäßpflanzenvielfalt. Im alpinen Raum sind die Almflächen in hohem Maße von Aufforstungen betroffen, was zu sehr monotonen Waldlandschaften in diesen Regionen und ebenfalls einem Verlust an traditionellen Landschaftselementen führt.

Abb. 4

Kurzumtriebsplantagen haben eine vergleichbare Wirkung. In angemessenem Umfang können sie sich durch zusätzliche Strukturierung positiv auf das Landschaftsbild auswirken und weisen eine höhere Gefäßpflanzenvielfalt als die meisten anderen Ackerkulturen auf.

Während jedoch in ausgeräumten Agrarlandschaften aus Sicht der Landschaftsdiversität positive Effekte durch die Anlage von Kurzumtriebsflächen entstehen

können, sind andere Regionen (z.B. Alpenvorland, hügelige Regionen) mit starken Eingriffen in das Kulturlandschaftsbild (z.B. Hecken, Baumreihen) konfrontiert.

Abb. 4

Beim großflächigen Ausbau von Kurzumtriebsplantagen ist auch zu berücksichtigen, dass Biomasse aus Aufforstung und Kurzumtriebsplantagen vorwiegend als Baumaterial oder Rohstoff für die Energieerzeugung genutzt werden kann. Ein Rückgang an Nahrungsmittelproduktion müsste daher durch Importe ersetzt werden, was mit einer Verlagerung von negativen Umwelteffekten ins Ausland einhergehen kann und berücksichtigt werden sollte.

Auf regionaler Ebene zeigt sich, dass die Ergebnisse räumlich stark variieren können und sich von den nationalen Ergebnissen in Vorzeichen und Ausmaß unterscheiden. Beispielsweise bleibt der mittlere Grad der Natürlichkeit im Szenario PRO\_E für ganz Österreich nahezu gleich (Abb. 2), die räumliche Streuung ist jedoch stark ausgeprägt.

Abb. 3

Der Grad an Natürlichkeit nimmt entlang der Alpen bedingt durch Aufforstung (hellgrün) und in Ackerbaugebieten mit hohem Kurzumtriebsanteil (dunkelgrün) zu. In den anderen landwirtschaftlichen Flächen nimmt durch die Intensivierung der Landnutzung der Grad an Natürlichkeit hingegen deutlich ab. Ein ähnliches Bild zeigen die Ergebnisse der Landschaftsdiversität. Während sich die nationalen Mittelwerte hinsichtlich einer Änderung im unteren Prozentbereich bewegen, gibt es sehr starke regionale Unterschiede.

Abb. 4

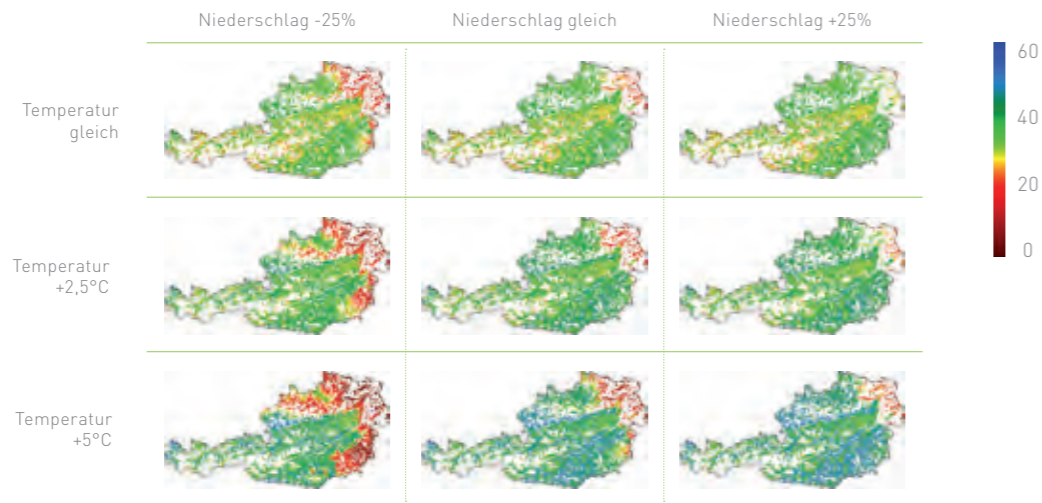


Abb. B1  
Einfluss des Klimas auf die Oberhöhenbonität der Fichte

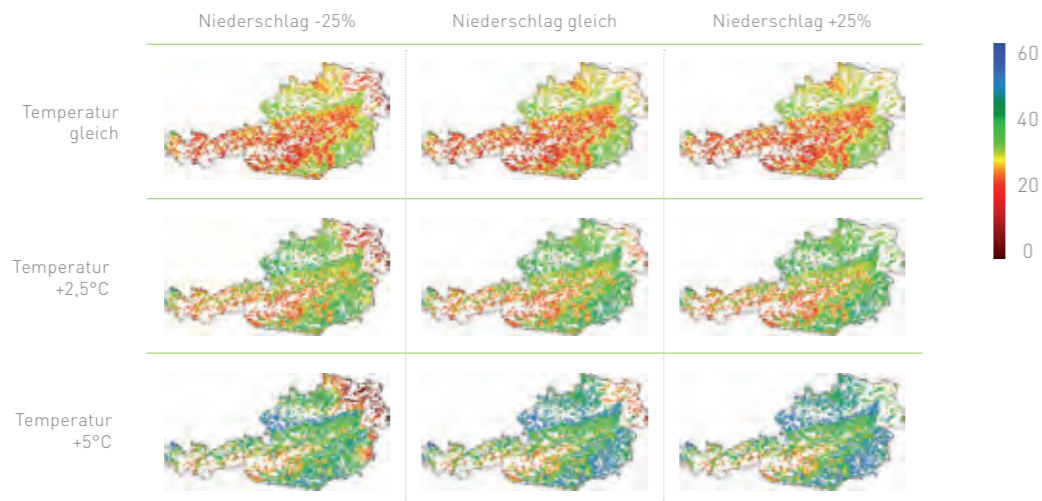


Abb. B2  
Einfluss des Klimas auf die Oberhöhenbonität der Buche

### Auswirkungen des Klimawandels auf das Waldwachstum

Zusätzlich zu den CAFEE Szenarien haben wir untersucht, wie sich der Klimawandel unter unterschiedlichen Temperatur- und Niederschlagsszenarien auf das Waldwachstum auswirkt. Durch den Umstand, dass Bäume in der Natur mehrere hundert Jahre alt werden und auch in bewirtschafteten Wäldern oft ein Alter von über 100 Jahren erreichen können, ist eine rechtzeitige Anpassung an den Klimawandel essentiell.

Diese Anpassung erfolgt durch Auswahl geeigneter Baumarten bei der Bestandsverjüngung. Dabei müssen die ausgewählten Baumarten sowohl den jetzigen als auch den Standortbedingungen in 100 Jahren gerecht werden. Die Standorttauglichkeit kann über die Oberhöhenbonität (*ObBon*) – also jene Höhe, die die stärksten Bäume eines Bestandes in 100 Jahren erreichen – beschrieben werden. Traditionell wird die *ObBon* von bereits vorhandenen Beständen über deren Alter und Höhe oder deren Höhe und Höhenzuwachs bestimmt. Diese traditionell bestimmten *ObBon* konnte mittels Standortparametern (Temperatur, Niederschlag, Boden, Vegetation) beschrieben werden, was eine Prognose bei geänderten Standortverhältnissen erlaubt.

Die Oberhöhenbonität der Fichte (Abb. B1) und der Buche (Abb. B2) wurde mit Hilfe von *Caldis vâtis* für derzeitige Klimabedingungen sowie für eine Temperaturerhöhung um 2,5°C und um 5°C und einer Niederschlagsveränderung um ±25% bestimmt. Dabei zeigt sich, dass viele Regionen von einer Temperaturerhöhung profitieren. In niederen Lagen würde sowohl ein Temperaturanstieg als auch eine Niederschlagsver-

ringerung zu einer drastischen Verschlechterung der Wuchsleistung von Fichte und Buche führen. Was die Baumartenwahl betrifft, hätte idealerweise schon in der Vergangenheit eine klimabedingte Standortveränderung berücksichtigt werden sollen, wobei Werkzeuge zur Unterstützung der Entscheidungsfindung sich erst in Entwicklung befinden.

### Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Szenarien zeigen zahlreiche gegensätzliche Wirkungen insbesondere zwischen den bereitstellenden ÖSD und den regulierenden, unterstützenden und kulturellen ÖSD. Jedoch deuten sie auch darauf hin, dass Synergieeffekte zwischen ÖSD möglich sind und die Auswirkungen räumlich sehr unterschiedlich ausfallen können. Auf die Heterogenität der Standortfaktoren und die Auswirkungen des Klimawandels sollte deshalb bei der Ausgestaltung von Maßnahmen (insbesondere der Agrarumweltmaßnahmen) besonders Rücksicht genommen werden, um eine ausgewogene Versorgung mit ÖSD zu sichern.

In weiterführenden Forschungsarbeiten sollen Werkzeuge entwickelt werden, die BetriebsleiterInnen bei ihren Landnutzungsentscheidungen unterstützen, indem sie die Auswirkungen auf alle ÖSD quantitativ und visuell darstellen. Darüber hinaus sollten die ausgelagerten Effekte wie indirekte Landnutzungseffekte in Abhängigkeit der Klima- und Politikpfade näher untersucht und berücksichtigt werden.

Erwin Schmid



## Alle geförderten Projekte im Überblick

### Private Forest Adapt

Projektleitung	Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Wien
Kontakt	<b>Dipl.-Ing. Dr. Rober Jandl</b> (robert.jandl@bfw.gv.at)
Partner	Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung (U. Pröbstl, N. Mostegl, V. Melzer); Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Meteorologie (Herbert Formayer); TU München – Lehrstuhl für Wald- und Umweltpolitik (Michael Suda); Solvenian Forest Institute (Andrej Breznikar)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 5. Ausschreibung
Dauer	1.7.2013 - 1.7.2015
Budget	233.297 €
Fördersumme	233.297 €

### FIRIA

Projektleitung	Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung
Kontakt	<b>Prof. Dr. Oliver Sass</b> (oliver.sass@uni-graz.at)
Partner	Universität für Bodenkultur Wien (BOKU); alpS – Zentrum für Naturgefahren GmbH, Innsbruck
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 3. Ausschreibung
Dauer	1.5.2011 - 1.5.2014
Budget	299.594 €
Fördersumme	299.594 €

### AdaptTree

Projektleitung	Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Wien – Institut für Waldgenetik
Koordinator	<b>Dr. Silvio Schüller</b> (silvio.schueler@bfw.gv.at)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 2. Ausschreibung
Dauer	1.1.2010 - 1.1.2013
Budget	122.602 €
Fördersumme	98.982 €

### DISTURBANCE

Projektleitung	Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Waldbau
Kontakt	<b>Ao.Univ.Prof. Dr Manfred J. Lexer</b> (mj.lexer@boku.ac.at)
Partner	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Fachabteilung Klimaforschung; Österreichische Bundesforste AG
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 1. Ausschreibung
Dauer	1.4.2010 - 1.4.2012
Budget	261.189 €
Fördersumme	261.189 €

### Douglas

Projektleitung	Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Wien
Kontakt	<b>Dr. Silvio Schüller</b> (silvio.schueler@bfw.gv.at)
Partner	Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Waldbau (Univ.Prof. Dr. M. Lexer); Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Abteilung Klimaforschung (Dr. Ch. Matulla); University of British Columbia, Centre for Forest Conservation Genetics (Dr. T. Wang)
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 4. Ausschreibung
Dauer	1.9.2012 - 1.9.2015
Budget	261.035 €
Fördersumme	247.789 €

### CAFE

Projektleitung	Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien – Institut für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung
Kontakt	<b>Univ. Prof. DI. Dr. Erwin Schmid</b> (erwin.schmid@boku.ac.at)
Partner	Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung; Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Waldwachstum und Waldbau; Universität Innsbruck, Institut für Ökologie; Europäische Akademie Bozen (EURAC), Institut für Alpine Umwelt; Subauftragnehmer: Forschungsgruppe Regionalpolitik, Risiko- und Ressourcenökonomik, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH Graz
Förderprogramm	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 3. Ausschreibung
Dauer	29.6.2011 - 29.6.2013
Budget	331.975 €
Fördersumme	297.373 €

# Impressum

## Medieninhaber

### Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: +43 1 585 03 90, Fax: +43 1 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

## Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

## Druck

Druckerei Gugler (www.gugler.at)

Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

## Gestaltung

Studio Deluxe (www.studiodeluxe.at)

## Verlags- und Herstellungsort

Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)





MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH

AUSTRIAN CLIMATE RESEARCH PROGRAMME

*in* ESSENCE

