

BERICHTE ZUR  
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

2022

# FORST WIRTS CHAFT



# INHALT

## 05 **Vorwort**

## 06 **CareforParis**

Der österreichische Wald ist durch seine Senkenfunktion sowohl Teil der Lösung beim Klimaschutz, durch seine Betroffenheit zugleich aber auch Teil der Herausforderung in der Klimawandelanpassung. Im Projekt CareforParis wurde untersucht, wie die sich der fortschreitende Klimawandel und entsprechende Maßnahmen zur Klimawandelanpassung auf die Treibhausgasbilanz des waldbasierten Sektors in Österreich auswirken. In sechs Szenarien werden Anpassungsoptionen für den Wald selbst und für die gesamte Holzwertschöpfungskette illustriert und untersucht, wie sich diese bis zum Jahr 2150 in den Senken- und Emissionswirkungen des Sektors niederschlagen.

## 16 **PROTECTED**

Schutzwälder in Österreich sind von natürlichen Störungen wie Windwürfen oder Borkenkäferbefall zusehends betroffen und erhöhen damit aufgrund der verminderten Schutzfunktion das Risiko für Naturgefahrenereignisse. Im Projekt PROTECTED wurde untersucht, inwiefern sich diese Störungen auf die Abflusssentstehung und die Sedimentverfügbarkeit und damit auf das Risiko von Wildbachereignissen auswirken. Die Ergebnisse sind sowohl für das Naturgefahrenmanagement als auch für die Forstwirtschaft von Bedeutung.

## 24 **MoreSeedsAdapt**

Eine wichtige Notwendigkeit eines im Rahmen der Klimawandelanpassung nötigen Umbaus der österreichischen Wälder stellt die Bereitstellung von Forstsaatgut in geeigneter Menge dar. Im Projekt MoreSeedsAdapt wurden die diversen Herausforderungen für die Produktion klimafitter Forstpflanzen untersucht, die sich unter anderem durch die starke Abhängigkeit von Mastjahren ergeben und die Nachfrage unter verschiedenen forstlichen Anpassungsstrategien beurteilt, um Strategien zur Sicherstellung eines ausreichenden Baumsamenangebotes zu erarbeiten.

## 30 **GLADE**

Die durch den Klimawandel in Österreich regional zunehmenden Starkregenereignisse sind ein häufiger Auslöser von Hangrutschungen, die erhebliche Gefährdungen für die menschliche Zivilisation darstellen. Im Forschungsprojekt GLADE wurde untersucht, welche Faktoren für das Auftreten von Hangrutschungsereignissen relevant sind und inwiefern definierte bzw. angepasste Schwellenwerte aus Niederschlagsdauer- und intensität für die Gefahrenabschätzung dieser Ereignisse herangezogen werden kann.

## 36 **WINDFALLS**

Sturm ist einer der wichtigsten Risikofaktoren hinsichtlich der Schadwirkung in Europas Wäldern, wird aufgrund der Datenlage in regional hochauflösenden Klimamodellen aber häufig nicht berücksichtigt. Ziel des Projektes WINDFALLS war es, Windgeschwindigkeitsdaten zu verbessern, um so die Simulation der Auswirkungen von Sturmstörungen auf Waldökosystemleistungen zu verbessern und somit in der Klimawandelanpassungsforschung nutzen zu können.

## 46 **Alle geförderten Projekte im Überblick**

## 48 **Bisherige Ausgaben von „ACRP in essence“**

” Unsere Wälder spielen eine wichtige Rolle im Kampf gegen die Klimakrise, werden von ihr zugleich aber immer stärker in Mitleidenschaft gezogen. Mit dem Förderprogramm ACRP des Klima- und Energiefonds liefern wir die wissenschaftliche Basis für notwendige Anpassungsmaßnahmen in der Forstwirtschaft, um einerseits die Schäden durch extreme Hitze zu minimieren und andererseits die vielfältigen Funktionen unseres Waldes aufrechterhalten und ausbauen zu können.“



---

**Leonore Gewessler**  
Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

# VORWORT

Der Wald war und ist seit jeher ein wichtiger Bestandteil unseres kulturellen und wirtschaftlichen Systems und erfüllt eine Vielzahl gesellschaftlich relevanter Funktionen. Er schützt die menschliche Zivilisation vor Naturgefahren, versorgt uns mit sauberer Luft und garantiert eine Versorgung mit nachwachsenden, heimischen Rohstoffen. Durch die Kohlenstoffspeicherung übernimmt er außerdem eine wichtige Rolle bei der Regulierung des Klimas.

Unser Wald ist ganz klar Teil der Lösung, wenn es darum geht, die Klimakrise einzudämmen und langfristig den Weg in eine klimaneutrale Gesellschaft zu gehen. Zugleich ist er aber bereits heute den dramatischen Folgen der Klimakrise ausgesetzt, die in Zukunft weiter zunehmen und erhebliche Schäden im Wald verursachen werden, etwa durch höhere Temperaturen, Hitze- und Trockenstress, Stürme, oder das vermehrte Auftreten des Borkenkäfers. Um die vielfältigen Funktionen des Waldes sicherstellen zu können, werden Anpassungsmaßnahmen im Wald nötig sein, mit Auswirkungen auf alle vor- und nachgelagerten Sektoren - von der Bereitstellung der Samenpflanzen am Anfang, bis zur Holzverarbeitenden Industrie am Ende der Kette. Um diese Herausforderungen zu meistern und den Umbau des Waldes und den mit ihm gekoppelten Sektoren voranzutreiben, ist ein umfassendes Systemverständnis und eine solide wissenschaftliche Basis unumgänglich.

Die Grundlage dafür liefert das Förderprogramm „Austrian Climate Research Program“ (ACRP) des Klima- und Energiefonds, in welchem seit 2007 bisher 266 Projekte gefördert wurden. Bereits im Jahr 2014 erschien die erste ACRP in essence-Broschüre zum Thema Forstwirtschaft und auch 8 Jahre später zeigen neue, unten vorgestellte Forschungsprojekte, dass es in so komplexen ökologischen und wirtschaftlichen Systemen wie dem des Waldes und der Forst- und Holzwirtschaft laufend wissenschaftlicher Erkenntnisse bedarf, um die Dynamik der Klimakrise und ihre Auswirkungen auf die Forstwirtschaft frühzeitig und umfassend zu erfassen. Wir wünschen Ihnen eine angenehme Lektüre!

Ihr Team des Klima- und Energiefonds



## Projektleitung

**Peter Weiss** (Peter.weiss@umweltbundesamt.at)  
Umweltbundesamt GmbH, Spittelauerlände 5, 1090 Wien



## Beteiligte Institutionen

- Umweltbundesamt GmbH
- Bundesforschungszentrum für Wald
- Universität für Bodenkultur  
Institut für Marketing & Innovation,  
Institut für Wald-, Umwelt- und Ressourcenpolitik
- Wood-K plus

**Autor\*innen:** Peter Weiss, Martin Braun, David Fritz, Thomas Gschwantner, Franziska Hesser, Robert Jandl, Georg Kindermann, Theo Koller, Thomas Ledermann, Alice Ludvig, Werner Pölz, Klemens Schadauer, Blasius Franz Schmid, Carmen Schmid, Peter Schwarzbauer, Gerhard Weiss



## Gute Gründe für das Projekt:

- Der waldbasierte Sektor spielt in der Transformation aufgrund des Klimaschutzes und Klimawandels eine wichtige Rolle und ist durch seine Fähigkeit, Kohlenstoff zu binden, ein Teil der Lösung und durch seine Vulnerabilität auch Teil der Herausforderung.
- Der Klimawandel beeinflusst die Treibhausgasbilanz des waldbasierten Sektors.
- Es ist wichtig, Grundlagen zur potenziellen Entwicklung der Treibhausgasbilanz des waldbasierten Sektors zu haben, da politische und wissenschaftliche Vorgaben einen dauerhaften Beitrag von Treibhausgas-Senken zum Erreichen der Paris-Agreement-Ziele (Netto-0-Emission) fordern.

# CareforParis

## Adaptation for carbon efficient forests and the entire wood value chain (including a policy decision support tool) – evaluating pathways supporting the Paris Agreement

### Einleitung und Zielsetzung

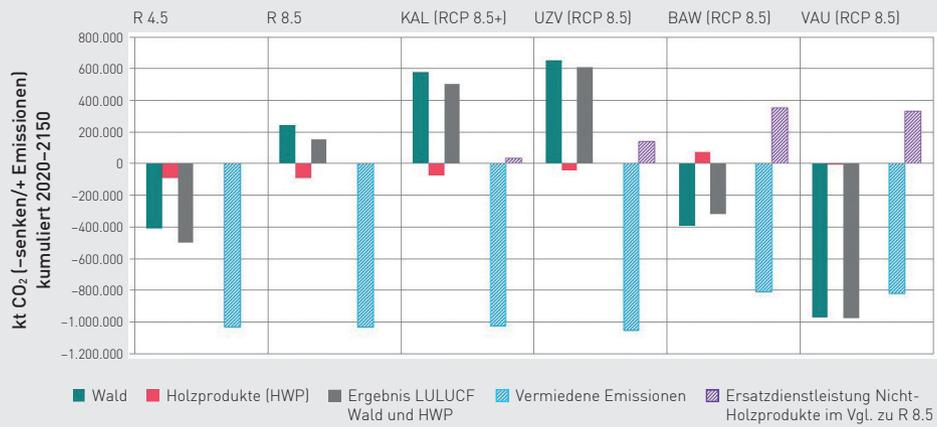
Der österreichische Wald und Holzprodukte daraus spielen historisch eine sehr positive Rolle in der Treibhausgas(THG)-Bilanz Österreichs. Sie bilden schon seit vielen Jahrzehnten eine THG-Senke, da die Waldbiomasse sowie die Holzprodukte daraus stetig zugenommen haben. Dazu kommt, dass Holzprodukte über den Lebenszyklus betrachtet geringere THG-Emissionen verursachen als Produkte aus anderen Rohstoffen mit äquivalenter Nutzung. Durch die Verwendung von Holzprodukten können dadurch THG-Emissionen vermieden werden.

Der Klimawandel ändert jedoch die Bedingungen für die Waldentwicklung und Waldbewirtschaftung. Höhere Temperaturen, Trockenperioden, Stürme und andere Ursachen für Waldschäden sowie notwendige Anpassungsmaßnahmen verändern das Ökosystem Wald und damit die nachhaltig verfügbare Holzmenge aus dem Wald. Dadurch ändert sich auch der Beitrag des Waldes und seiner Holzprodukte zur österreichischen THG-Bilanz. Die THG-Bilanz umfasst die Bilanzierung von THG-Quellen (THG-Emission an die Atmosphäre, z. B. aus der Industrie oder dem Verkehr) und THG-Senken (THG-Aufnahme aus der Atmosphäre, z. B. Waldbiomasse und in Folge langlebige Holzprodukte).

„CareforParis“ hatte das Ziel, die Auswirkungen von Klimawandel und Maßnahmen der Waldbewirtschaftung zur Klimawandelanpassung auf die THG-Bilanz des waldbasierten Sektors Österreichs in sechs Szenarien bis zum Jahr 2150 zu untersuchen.

### Folgende Elemente wurden dabei berechnet:

- THG-Bilanz des österreichischen Waldes (Biomasse, Totholz, Boden)
- THG-Bilanz des Holzprodukte(HWP)-Pools (Schnittholz, Platte, Papier) auf Basis des Einschlags aus dem österreichischen Wald
- Vergleich der THG-Emissionen von Holzprodukten mit jenen der Ersatzprodukte aus anderen Rohstoffen (basierend auf Schätzungen der Produktion von Holz-Endprodukten auf Basis der Halbwaren Schnittholz, Platte, Papier)
- Zusätzlich wurden in CareforParis die aus den Szenarien resultierenden Auswirkungen auf die österreichische Forst- und Holzwirtschaft analysiert.
- In einer weiteren sozio-ökonomischen Analyse wurden Vorschläge zur Anpassung der politischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in Österreich in Richtung einer THG-optimierten Waldbewirtschaftung und Holzverwendung erarbeitet.



**Abb. 1:** Kumulierte Emissionen (+) oder Senke und vermiedene Emissionen (-) der Szenarien im Simulationszeitraum 2020 bis 2150

## Die untersuchten Szenarien:

- Referenzszenario R4.5: Waldbewirtschaftung und Holzverwendung wie bisher unter einem regionalisierten Klimaszenario RCP4.5 (liegt leicht über 2 °C Ziel).
- Referenzszenario R8.5: Waldbewirtschaftung und Holzverwendung wie bisher unter einem regionalisierten Klimaszenario RCP8.5 (liegt deutlich über 2 °C Ziel).
- Kalamitätenszenario KAL: wie R8.5; zusätzliche Annahme: weitere Zunahme von Schadholzereignissen.
- Umtriebszeitverkürzungsszenario UZV: Regionalisiertes Klimaszenario RCP8.5; zusätzliche Annahme: Verkürzung des Endnutzungsalters von Beständen als Maßnahme zur Verringerung der Windwurfgefährdung.
- Baumartenwechselszenario BAW: Regionalisiertes Klimaszenario RCP8.5; zusätzliche Annahme: Wechsel zu heimischen Laubholzarten im Wald als Maßnahme der Klimawandelanpassung.
- Vorratsaufbauszenario VAU: Regionalisiertes Klimaszenario RCP8.5; zusätzliche Annahme: Weitere Außer-Nutzung-Stellung sowie Nutzungseinschränkung gegenüber R8.5-Szenario: i) Waldfläche mit Nutzungsverzicht wird bis zum Jahr 2100 von derzeit 1,2 % auf 5 % erhöht; ii) die in R8.5 berechnete Nutzungsmenge wird sukzessive reduziert: in Randzonen von Nationalparks und Schutzgebieten um 40 bzw. 20 %, im sonstigen Ertragswald um bis zu 15 %.

Ausgangspunkt der Modellierungen war der Status quo des österreichischen Waldes. Mit einem Set von Modellen (Waldwachstums- und Nutzungsmodell CALDIS, Boden-C-Modell YASSO, ökonomisches Holzmarktmodell FOHOW, Emissionsmodell GEMIS) wurden die Auswirkungen dieser Szenarien auf die THG-Bilanz des waldbasierten Sektors Österreichs bis 2150 modelliert.

## Der waldbasierte Sektor leistet positiven Beitrag zum Klimaschutz

Der kumulierte THG-Gesamteffekt (umfasst: Wald- und HWP-Senke und vermiedene Emissionen durch Holzprodukte) entspricht im R4.5-Szenario bis 2150 etwa 20 jährlichen THG-Emissionen Österreichs (Abb. 1). Trotz unterstellter steigender Dekarbonisierung der Wirtschaft in den Szenarien wird durch die Verwendung von Holz besonders in den ersten Jahrzehnten eine erhebliche Menge an THG-Emissionen vermieden. Im Szenario R4.5 ist der Vermeidungseffekt über den gesamten simulierten Zeitraum mehr als doppelt so hoch wie der Senkeneffekt für Wald und Holz (Abb. 1). In einer Sensitivitätsanalyse wurde zusätzlich ein stärkerer Dekarbonisierungspfad betrachtet: Dieser verringert die vermiedenen Emissionen durch Holzprodukte gegenüber dem R4.5-Szenario, eine konstante THG-Vermeidung insbesondere durch die stoffliche Holznutzung ist dennoch vorhanden. Somit ist bei nachhaltiger Forstwirtschaft der größte Hebel des waldbasierten Sektors für den Klimaschutz der Ersatz fossiler Rohstoffe durch Holzprodukte und die damit vermiedenen Emissionen.

## Stärkerer Klimawandel und Klimawandelanpassungen des Waldes können die THG-Bilanz des waldbasierten Sektors verschlechtern

Ein stärkerer Klimawandel kann die THG-Bilanz des Waldes wesentlich verschlechtern. In den Szenarien R8.5 (stärkerer Klimawandel) und KAL (stärkerer Klimawandel plus mehr Kalamitäten) wird der Wald (im Unterschied zum R4.5-Szenario mit moderater Erwärmung) im Simulationszeitraum kumulativ zu einer deutlichen Emissionsquelle (Abb. 1). Die Verschlechterung der kumulativen THG-Bilanz von Szenario R4.5 zu R8.5 und weiter zu Szenario KAL entspricht acht bzw. 13 aktuellen jährlichen THG-Emissionen Österreichs. Im KAL-Szenario entspricht dies durchschnittlich

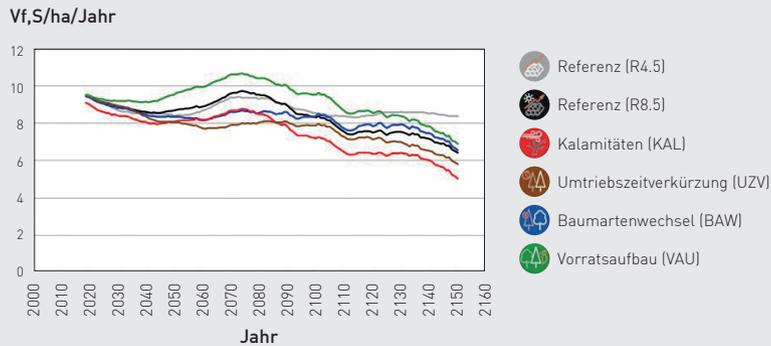


Abb. 2: Laufender Stammholz-Zuwachs pro Jahr der sechs Szenarien

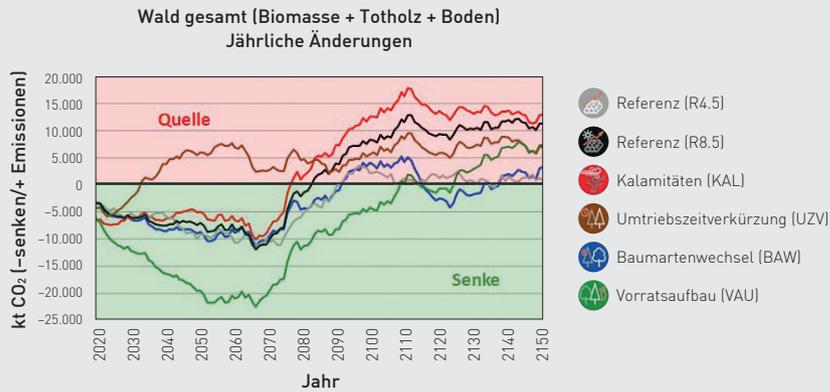


Abb. 3: Jährliche Änderung des Gesamtkohlenstoffpools im Wald (ober- und unterirdische Biomasse, Totholz und Bodenkohlenstoff). Befindet sich die Linie im grünen Bereich, so stellt sie eine THG-Senke dar. Im roten Bereich kippt das System in Richtung THG-Quelle.

10 % höheren österreichischen THG-Jahresemissionen auf Basis der aktuellen Emissionen. Auch notwendige Klimawandelanpassungsmaßnahmen in der Waldbewirtschaftung können die THG-Bilanz des Waldes verschlechtern. Das Szenario UZV (Umtriebszeitverkürzung) simuliert eine aktive Anpassung des Waldes an eine klimawandelbedingte erhöhte Sturmgefährdung des Waldes durch Verringerung der dadurch stärker gefährdeten älteren Bestände. Diese Anpassungsmaßnahme hat nicht die Intention, die THG-Bilanz des Waldes („Klimaschutzmaßnahme“) zu verbessern, sondern nur die Schäden am Wald durch Stürme, die dadurch bedingte Zerstörung von Holzressourcen und deren ökonomische Konsequenzen zu verringern. Dieses Szenario weist ein ähnlich schlechtes THG-Ergebnis wie das KAL-Szenario auf (Abb. 1). Maßgeblich für diese unvorteilhafte THG-Entwicklung dieser Szenarien ist auch die durch stärkeren Klimawandel bzw. durch Klimawandelanpassung induzierte, vergleichsweise zu R4.5 stärkere Abnahme des Biomassezuwachses im Wald (Abb. 2). Es ist daher wichtig, die Klimaziele des Paris Agreements (nicht mehr als 1,5 °C durchschnittlich globale Erwärmung) durch entsprechende Reduktionen der THG-Emissionen einzuhalten, um sekundäre THG-emissionsverstärkende Wirkungen durch Ökosysteme als Folge des Klimawandels zu minimieren.

Die Wahl des pessimistischen Klimaszenarios RCP8.5 zeigt die drastischen Auswirkungen eines nicht kontrollierten Klimawandels. Ob das Szenario eintreten wird, ist unklar, die bisher weltweit formulierten Ziele zur Reduktion der THG-Emissionen reichen jedenfalls nicht aus, um die Paris-Agreement-Temperaturziele zu erreichen.

### **Eine permanente Aufrechterhaltung einer Netto-Waldsenke ist unmöglich**

In sämtlichen untersuchten Szenarien zum Klimawandel und der Klimawandelanpassung wird der

Wald im Lauf des Simulationszeitraums von einer Netto-THG-Senke zu einer Netto-THG-Quelle (Abb. 3). Diese Ergebnisse für die Szenarien unterstreichen naturgesetzliche Gegebenheiten, wonach ein permanenter Beitrag des Waldes als Senke (wie er etwa in manchen politischen Zielsetzungen zum Erreichen und Einhalten des Netto-0-Emissionszieles formuliert wird) nicht aufrechterhalten werden kann. Klimawandeleffekte und notwendige Klimawandelanpassung haben auch hier einen beschleunigenden Einfluss – im UZV-Szenario zur Sturmanpassung des Waldes ist dieser Wechsel zur THG-Quelle bereits in zwei Jahrzehnten, im Kalamitätsszenario (KAL) und R8.5-Szenario in sechs bzw. sieben Jahrzehnten (Abb. 3). Im Unterschied dazu haben die vermiedenen Emissionen durch Holzprodukte eine konstant günstige THG-Wirkung (insgesamt: Abb. 1, sowie über den gesamten Zeitraum: Abb. 4). Die Unterschiede in der THG-Bilanz der meisten Szenarien scheinen „optisch“ in den ersten Jahrzehnten nicht sehr hoch zu sein (Abb. 3), allerdings stellen auch diese kleinen Unterschiede bereits signifikante Größen → 1 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr dar. Die Unterschiede werden dann im Verlauf der Zeitreihe größer, summiert über die gesamte Zeitreihe ergeben sich daraus gravierende Unterschiede (Abb. 1).

### **Die positiven und negativen THG-Effekte der Reduktion der Holznutzung**

Das BAW-Szenario (Baumartenwechsel als Klimawandelanpassung) zeigt unter den gewählten Rahmenbedingungen eine THG-Senke im Wald und eine THG-Quelle des HWP-Pools (der Vorrat an Holzprodukten nimmt ab, weil mehr Holzprodukte am Ende der Lebensdauer ausscheiden, als neue Holzprodukte erzeugt werden). Der Grund dafür ist jedoch nicht der Baumartenwechsel, sondern die simulierte gleichbleibende Holzverwendung wie derzeit (Annahme: keine Anpassungsmaßnahmen seitens der Holzwirtschaft), weshalb das Mehr an Laubholz im Szenario BAW nur in einem

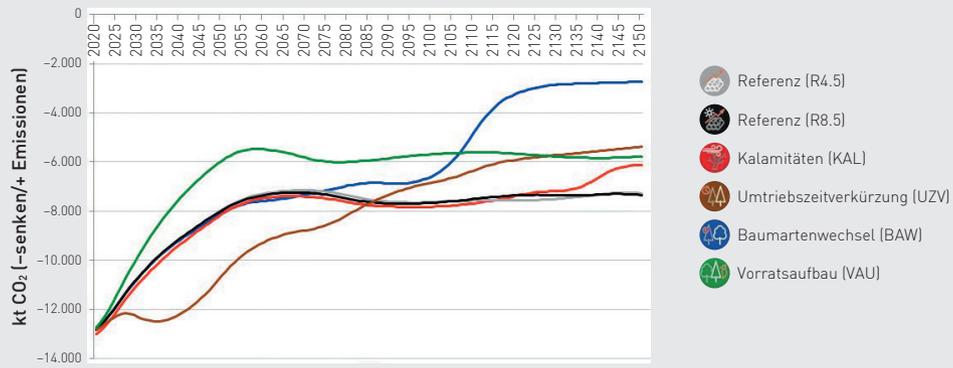


Abb. 4: Jährliche vermiedene THG-Emissionen (-) durch Holzprodukte in den Szenarien

geringen Maße das Nadelholz ersetzt und daher insgesamt weniger Holz genutzt wird. Die geringere Holznutzung erfordert jedoch den Ersatz von Holzprodukten durch Nicht-Holz-Produkte, um die erforderliche Dienstleistung (d. i. die Verwendung der Holzprodukte im Business-as-usual) aufrechtzuerhalten, was beim BAW zusätzliche fossile THG-Emissionen kumulativ im Ausmaß von 4,5 aktuellen jährlichen österreichischen THG-Emissionen im Vergleich zu Szenario R8.5 nach sich zieht (violette Säulen in Abb. 1 – Anmerkung: die violetten Säulen in Abb. 1 stellen keine Doppelrechnung zu den vermiedenen Emissionen (blaue Säulen) dar, sondern eine Visualisierung der zusätzlichen fossilen THG-Emissionen, die notwendig sind, wenn weniger Holz zur Verfügung steht und man zur Erfüllung der Dienstleistung auf andere Rohstoffe „ausweichen“ muss (Ersatz zu Holz). Diese Visualisierung erschien geboten, da vermiedene Emissionen in allen Szenarien einen positiven THG-Effekt vermitteln, aber die Notwendigkeit zusätzlicher fossiler THG-Emissionen in einigen Szenarien sonst nicht erkennbar wird.).

Im Projekt wurde auch ein Nutzungsreduktions-szenario (VAU) berechnet, das zu einem moderaten Vorratsaufbau im Wald führt. Dieses Szenario führt zu gleichwertig zu betrachtenden THG-Effekten, die bei einem Zitieren der vorliegenden Studie beide zu adressieren sind:

- Die Reduktion der Nutzung führt zu einer im Vergleich zu den anderen Szenarien höheren Senke im Wald (grüne Säulen in Abb. 1).
- Die im Vergleich zum Referenzszenario 8.5 durch die reduzierte Nutzung geringere Holzmenge im VAU-Szenario erfordert jedoch Ersatz auf Basis anderer Rohstoffe mit größerem THG-Fußabdruck und daraus resultierende, zusätzliche fossile THG-Emissionen im Vergleich zum „Business as usual“ (violette Säulen in Abb. 1). Die Reduktion der Holznutzung gegenüber dem „Business as usual“, wie in Szenario

VAU unterstellt, ist somit unter aktuellen Rahmenbedingungen nicht förderlich für die notwendige gesellschaftliche Dekarbonisierung zur Verringerung fossiler THG-Emissionen.

Beide Gesichtspunkte sind in Bewertungen der Klimaschutzeffekte des VAU-Szenarios in Betracht zu ziehen. Insbesondere ist in einer vergleichenden Beurteilung der Szenarien auch zu berücksichtigen, dass „CareforParis“ THG-Effekte aus Klimawandel und Klimawandelanpassung in der Waldbewirtschaftung simuliert hat. Strategien einer THG-optimierten Waldbewirtschaftung und Holzverwendung wurden nicht untersucht.

Eine völlige Einstellung der Holznutzung würde die fossilen THG-Emissionen signifikant erhöhen. Der weiterlaufende Vorratsaufbau im Wald durch eine Einstellung der Nutzung und die dadurch bedingte THG-Senke werden häufig als eine bessere Strategie für den Klimaschutz artikuliert. Eine solche Strategie erfordert jedoch Ersatz zu den entfallenden Holzprodukten (siehe VAU-Szenario). Bei einer kompletten Einstellung der Holznutzung in Österreichs Wald würden dadurch sofort zusätzliche fossile THG-Emissionen im Ausmaß von 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent(eq.) pro Jahr anfallen, was 15 % der aktuellen jährlichen THG-Emissionen Österreichs entspricht. Eine zusätzliche Beaufschlagung der Atmosphäre mit fossilen THG-Emissionen erfordert zusätzliche Senken, um dieses zusätzliche fossile CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu neutralisieren. Die Senkenwirkung des alternden Waldes nimmt aber stetig ab, bis ein Gleichgewicht aufbauender und abbauender Prozesse im Wald erreicht wird.

Dazu kommt, dass die aus Chronosequenzen der gleichzeitigen Messung unterschiedlich alter Waldbestände abgeleitete Kurve der Biomassevorratsentwicklung im ungestörten Wald eben eine Kurve „ohne Störung“ und somit geglättet ist, und



C\_Adobe Stock

am Ende vor der Zerfallsphase und dem entsprechenden Biomasseverlust häufig abgeschnitten dargestellt wird. Tatsächlich ist gerade in Zeiten des Klimawandels die zwischenzeitliche Störung der Biomasseentwicklung im Wald in vielen Teilen der Welt, auch in Österreich, ein zunehmendes Phänomen, das zu massiven Biomasseverlusten und THG-Emissionen aus Schadereignissen im Wald über mehrere Jahrzehnte führt. Diese wären noch einmal signifikant höher im Ausmaß, wenn das Schadholz im Wald verbleiben würde, statt es einer THG-vermeidenden Dienstleistung zuzuführen. Die letzten Jahre waren etwa 50 % des Holzeinschlags in Österreich Schadholz, was einem Äquivalent von 10 % der österreichischen THG-Emissionen pro Jahr entspricht, wenn dieses Stammholz auf Basis einer Einstellung der Nutzung im Wald verrotten würde.

### **Effiziente Holzverwendung und lange Lebensdauer der Holzprodukte erhöhen den Klimaschutzbeitrag**

Die durch Holzprodukte vermiedenen THG-intensiveren Ersatzprodukte und die dadurch vermiedenen fossilen THG-Emissionen betragen derzeit durchschnittlich etwa 0,46 t CO<sub>2</sub>eq je geerntetem Vorratsfestmeter (Vfm) Stammholz aus österreichischem Wald. Dazu kommen noch durchschnittlich 0,14 t CO<sub>2</sub>/Vfm an Netto-Senke durch die damit verbundene Netto-Zunahme des Holzprodukt pools („netto“, weil einem Zugang auch ein Abgang von Holzprodukten gegenübersteht, der durch neue Holzprodukte ersetzt werden muss). Insgesamt sind das etwa 0,6 t CO<sub>2</sub>eq/Vfm Stammholz. Dies inkludiert nicht die Waldbilanz, die derzeit ebenfalls eine CO<sub>2</sub>-Senke darstellt. Der Klimaschutz-Beitrag je geerntetem Vfm Stammholz ist umso höher, je mehr langlebige Holzprodukte produziert werden, je länger die Holzprodukte in Verwendung sind und je mehr Emissionen von fossilen Energieträgern durch die Holzprodukte vermieden werden. Die Strategie, für welche Zwe-

cke das Holz genutzt wird, hat also einen Einfluss auf das THG-Ergebnis. Effiziente Ressourcennutzung, lange Lebensdauer und Recycling sind auch bei Holzprodukten wichtig, um deren THG-Bilanz zu verbessern.

### **Schlussfolgerungen aus den sozio-ökonomischen Analysen**

Die Analyse der ökonomischen Effekte zeigte bei jenen Szenarien mit Rückgängen der Holznutzung negative Auswirkungen auf die Holzwirtschaft, auf Exportmarktanteile und -dynamiken in den Produktportfolios sowie auf die Innovationsleistung in der Holzbranche. Bei klimawandel-adaptiver Waldbewirtschaftung müsste auch die Holzwirtschaft Anpassungsmaßnahmen, wie verstärkte Innovationen zur Produktdiversifizierung und Laubholzverwertung sowie Steigerung der Wertschöpfung, treffen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Die sozio-ökonomischen Analysen aus den Stakeholderbefragungen zeigten eine gute Übereinstimmung des Verständnisses der Stakeholder bezüglich der THG-Wirkung des waldbasierten Sektors mit den Modellierungsergebnissen. Folgende Maßnahmen wurden von den Stakeholdern empfohlen:

**Kurzfristig (2021-2030):** Investitionen in und Anreize für langlebige Holzprodukte (z. B. in der Bauwirtschaft) auf Basis von nachhaltiger Forstwirtschaft.

**Mittelfristig (2031-2050):** Die österreichische Holzwirtschaft wird sich auf ein vermehrtes Angebot und die unterschiedlichen Gegebenheiten von Laubholz anpassen müssen, z. B. durch neue Technologien.

**Sehr langfristig (2051-2100):** Vorratsnachhaltige Waldbewirtschaftung ist im österreichischen Wald weiter notwendig.



## Projektleitung

**Christian Scheidl** (christian.scheidl@boku.ac.at)  
Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Alpine Naturgefahren



## Beteiligte Institutionen

Bundesforschungszentrum für Wald  
Institut für Naturgefahren – Innsbruck

**Autor\*innen:** Christian Scheidl, Micha Heiser, Sebastian Kamper, Thomas Thaler, Werner Rammer, Rupert Seidl, Klaus Klebinder, Veronika Lechner, Fabian Nagl, Bernhard Kohl Gerhard Markart



## Gute Gründe für das Projekt:

- Das Projekt unterstreicht den Einfluss von Störungen in Schutzwäldern auf das Risiko vor Wildbachereignissen und liefert Erkenntnisse sowohl für Naturgefahren- als auch für Forstwirtschaftsexpert\*innen.
- Auch wenn die Reaktion eines Schutzwaldes auf den Klimawandel langsam erscheint, können häufige kleinräumigen Störungen eine Veränderung der Waldstruktur und damit eine Veränderung des Ausmaßes oder sogar der Jährlichkeit von Wildbachprozessen bewirken.
- PROTECTED vereint ein klimagetriebenes Waldentwicklungsmodell mit Modellen zur Gefahrenabgrenzung von Naturgefahrenprozessen.

# PROTECTED

## Der Einfluss zukünftiger Schutzwaldszenarien auf Spitzenabflüsse und Sedimentverfügbarkeit unter Berücksichtigung störungsbedingter Entwaldung.

Natürliche Störungen wie Waldbrände, Windwürfe, Schnee- und Eisbruch sowie Insektenausbrüche erzwingen zu einem nicht unerheblichen Teil zu ungeplanten Holzerntemaßnahmen mit sehr wahrscheinlich zunehmender Tendenz in den kommenden Jahren. In Schutzwäldern kann ein solch plötzlicher Verlust geschlossener Bestände das Risiko vor alpinen Naturgefahrenereignissen drastisch erhöhen. Das Auftreten von katastrophalen Ereignissen wie Sturmfluten, stark geschiebeführende Hochwässer, Murgänge, u.a. steht dabei in einem kausalen Zusammenhang. Dazu muss man wissen, dass es bei Wildbachereignissen zu einer raschen Transformation von Niederschlag in Abfluss kommt, welcher sich als eine Mischung aus Wasser und Sedimenten mit unterschiedlicher Zusammensetzung manifestiert mit oftmals verheerenden Auswirkungen in besiedelten Bereichen. Wälder erfüllen eine wichtige Schutzwirkung, da sie einerseits die effektiv in Abfluss transformierte Niederschlagsmenge aufgrund ihrer Speicherfähigkeiten (v.a. durch den Waldboden) reduzieren können, sowie andererseits zur Stabilität der Hänge aufgrund ihrer Wurzelaktivität und damit zu einer Verringerung der Sedimentverfügbarkeit beitragen können.

Wie der Name schon sagt, sind natürliche Störungen Eingriffe in das bestehende Ökosystem. Je nach Resilienz des betroffenen Bestandes, welche für Wälder mit Schutzfunktion aufgrund der häufig ext-

remeren Standorte geringer ist als z. B. für Wälder mit ausschließlicher Nutzfunktion, kann es mehr als hundert Jahre dauern, bis die ursprüngliche oder besser gesagt eine vergleichbare Schutzwirkung wiedererlangt ist. Aus diesem Grund wird bei großflächigen Störungen die Schutzwirkung des Waldes sehr häufig in den ersten Jahrzehnten von aktiven technischen Maßnahmen übernommen bzw. unterstützt. Betrachtet man nun diese langen Regenerationszyklen zusammen mit den prognostizierten Auswirkungen der Klimaerwärmung wird klar, dass der Klimawandel nicht nur die Häufigkeit, Intensität, Dauer und den Zeitpunkt natürlicher Störungen steuert, sondern auch indirekten Einfluss auf das Auftreten von zukünftigen Wildbachereignissen haben kann da er in die natürliche Sukzession von Waldbeständen eingreift.

Ausgangspunkt für das Projekt PROTECTED war daher die Frage, ob sich prognostizierte Klimawandelszenarien direkt auf Waldentwicklung und Störungsregime und indirekt auf die Abflusssentstehung sowie Sedimentverfügbarkeit in bewaldeten Wildbacheinzugsgebieten auswirkt.

Um die Auswirkungen zukünftiger Veränderungen zu analysieren, wurde ein Ensemble von Waldlandschaftssimulationen in zwei Wildbacheinzugsgebieten im Stubaital, Tirol durchgeführt. Beide Einzugsgebiete des Inneren und Äußeren Lehnertalbaches

# PROTECTED

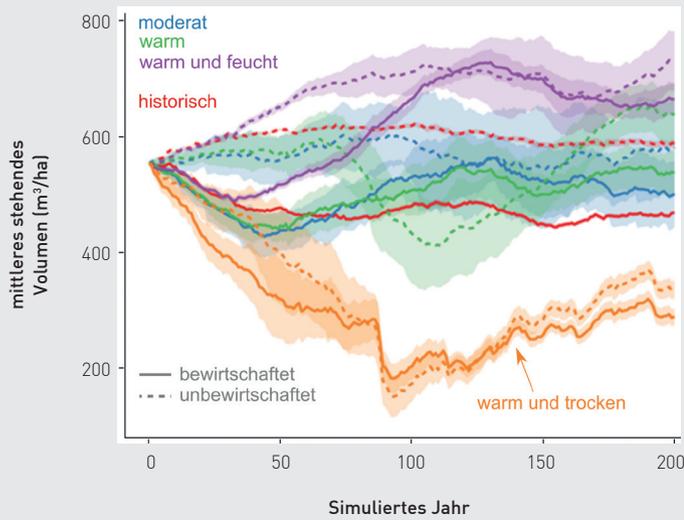


Abb. 1: Auswirkung unterschiedlicher Klimaprognosen auf die Waldentwicklung im Stubaital.

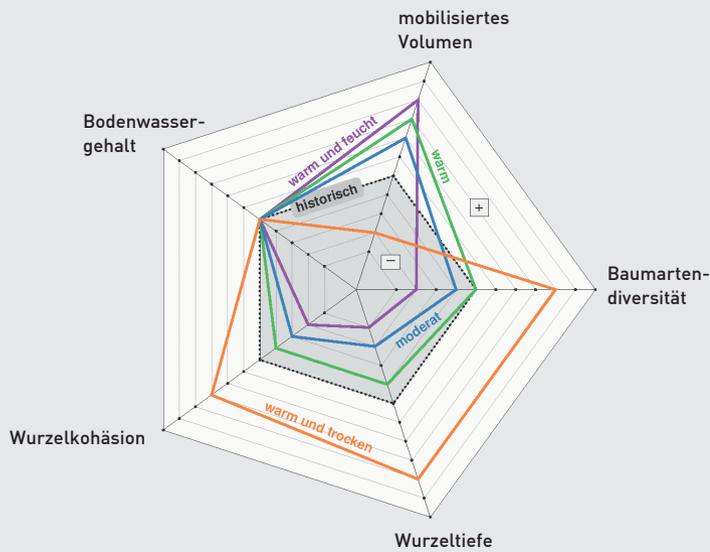


Abb. 2: Einfluss unterschiedlicher Klimawandelprognosen auf die modellierten Waldentwicklungskriterien zur Bestimmung der Hangstabilität bzw. des mobilisierten Volumens.

befinden sich in der Ökoregion 1.2 (Subkontinentale Innenalpen-West), die von metamorphen Lithologien (hauptsächlich Gneis) dominiert wird. Sie sind ein typisches Beispiel für Bergwaldökosysteme der Zentralalpen, die von Fichte, Europäische Lärche und Zirbelkiefer dominiert werden.

Die Simulation der Entwicklung der Waldlandschaften in beiden Untersuchungsgebieten wurden für 200 Jahre mittels dem Waldlandschafts- und Störungsmodells iLand, basierend auf vier Klimawandelszenarien, betrieben. Die verwendeten Klimaprognosen wurden als moderat (Zunahme der Temperatur  $\leftarrow 2^\circ\text{C}$ ; Zunahme des Niederschlags um 7 %), warm (Zunahme der Temperatur  $\leftarrow 4^\circ\text{C}$ ; Zunahme des Niederschlags um 5%), warm und feucht (Zunahme der Temperatur  $\leftarrow 3^\circ\text{C}$ ; Zunahme des Niederschlags um 22 %) und warm und trocken (Zunahme der Temperatur  $\leftarrow 6^\circ\text{C}$ ; Abnahme des Niederschlags um 25 %) klassifiziert. Zusätzlich zu den Klimaprognose-Szenarien werden die Waldlandschaftssimulationen durch die Annahme eines unveränderten Klimas und einer zukünftigen Klimaentwicklung, die mit den historischen Klimadaten übereinstimmt, vorangetrieben. Störungsereignisse wurden stochastisch auf der Grundlage von 20 Wiederholungen berücksichtigt, während wir die Landschaft ohne Störung auf der Grundlage von einer Wiederholung betrachteten. Außerdem wurden alle iLand-Simulationen mit und ohne Berücksichtigung von Waldbewirtschaftungsmaßnahmen durchgeführt.

Der Einfluss der Waldentwicklung bzw. der Störungsereignisse auf die Abflussentstehung wurde mittels zwei unterschiedlich konzipierten Niederschlags-/Abflussmodellen (ZEMOKOST und GEOTop) unter der Annahme typischer Starkregenereignisse analysiert. Zur Bestimmung der Auswirkungen von Waldentwicklung und Störungen auf Erosionsprozesse in Hanglagen wurden die Ergebnisse der Waldentwicklung und dessen hydrologi-

sche Reaktion kombiniert und in einer erweiterten Version des Mohr-Coulomb'schen Bodenstabilitätsmodells integriert. Diese neu entwickelte Erweiterung schätzt die Stabilität vor Rutschungen in verschiedenen Bodentiefen unter Berücksichtigung der Wurzelarmierung, den zusätzlichen Druck durch das Gewicht der Vegetation und dem Bodenwassergehalt.

### **Waldentwicklung aufgrund unterschiedlicher Klimawandelprognosen**

Klimawandel führt zu höheren Stressfaktoren und damit unweigerlich zu Adaptierungen von Bergwaldökosystemen. Verglichen mit dem auf historischen Klimadaten getriebene Waldentwicklungsmodell zeigten sich am Ende der Simulationsperiode für fast alle Klimaprognosen Zuwächse (Abbildung 1). Auffällig sind starke Rückgänge, wenn die Klimaerwärmung mit einer starken Niederschlagsreduktion einhergeht (warm und trocken).

Das bedeutet, im Stubaital kann Trockenheit und eine hohe Erwärmung dazu führen, dass die derzeitige Dominanz von Nadelbäumen und dem Vorhandensein vieler großer Bäume in einen alternativen stabilen, durch Laubbäume höherer Stammzahl dominierten Zustand übergeht. Studien zeigen aber auch, dass die räumliche Heterogenität und topographische Komplexität alpiner Standorte die Auswirkungen des Klimawandels zu einem bestimmten Grad puffern kann, sodass es zu Refugienbildung z. B. für die Fichte in höheren Nordlagen kommt.

Eine signifikante Entwaldung aufgrund der angenommenen Klimaprognosen wurde nicht festgestellt. Da Änderungen von Spitzenabflüssen bei Starkregenereignissen vor allem von den hydrologischen Eigenschaften des Waldbodens abhängen und die direkten Speicherkapazitäten durch Interzeption und Evapotranspiration eines wie auch immer strukturierten Waldbestandes limitiert sind

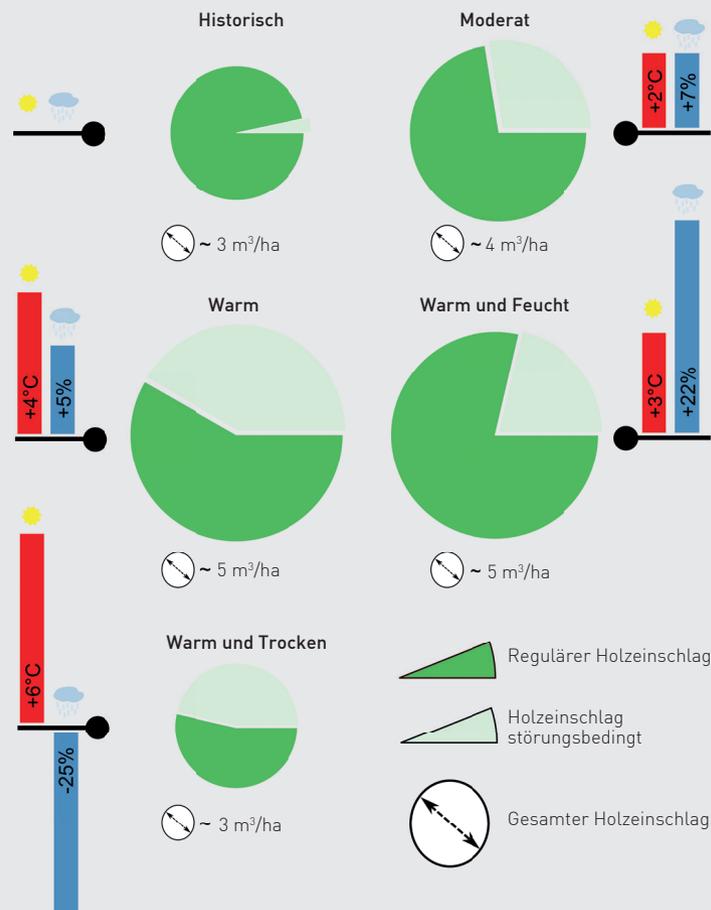


Abb. 3: Relativer Einfluss natürlicher Störungen auf den Holzeinschlag im Stubaial für die unterschiedlichen Klimaprognosen.

keine Einflüsse auf das Abflussverhalten nach Starkregenereignisse unabhängig von den jeweiligen Waldentwicklungsszenarien zu erwarten.

Anders verhält es sich, wenn man den Einfluss der Baumartenentwicklung und damit den Effekt der Wurzelkohäsion und Wurzeltiefe unterschiedlicher Waldentwicklungsszenarien auf die Hangstabilität bzw. auf die Menge an mobilisierbaren Sedimenten betrachtet (Abbildung 2). Im Vergleich zu dem auf historischen Klimadaten basierten Waldzustand, zeigt sich in Wäldern welche sich unter moderaten, warmen, oder warm und feuchten Klimabedingungen entwickeln, eine niedrigere Hangstabilität bzw. eine höheres mobilisiertes Sedimentvolumen. Dies gilt jedoch nicht für ein Waldentwicklungsszenario für warm und trockene Klimaprognosen. Hier scheint es, als ob die Hangstabilität tendenziell zunimmt, begründet vor allem in einer Änderung von Baumarten mit höher Wurzelkohäsion und größer Wurzeltiefe. Tatsächlich kommt es unter der warmen und trockenen Klimawandelprognose zu einer eindeutigen Baumartenwandlung von Flachwurzler hin zu Herz- bzw. Pfahlwurzler.

## Einfluss der störungsbedingten Entwaldung

Je nach Klimaprognose, ist der Anteil der störungsbedingten Holzernte im Stubaital unterschiedlich zu bewerten (Abbildung 3). Für alle Klimaprognosen, die mehr oder weniger stark einen Rückgang der Niederschläge und somit eine Tendenz zu zunehmender Trockenheit vorhersagen, nimmt der Anteil ungeplanter bzw. störungsbedingter Holzeinschläge zu. Den geringsten Einfluss der Störungen auf die Holznutzung zeigt sich, wenn die Waldentwicklung einem warmen, aber feuchten Klimaszenario unterliegt.

Trotz zunehmender störungsbedingter Holznutzung konnte keine anhaltende Auswirkung auf die Abflusssentstehung unter der Annahme verschiede-

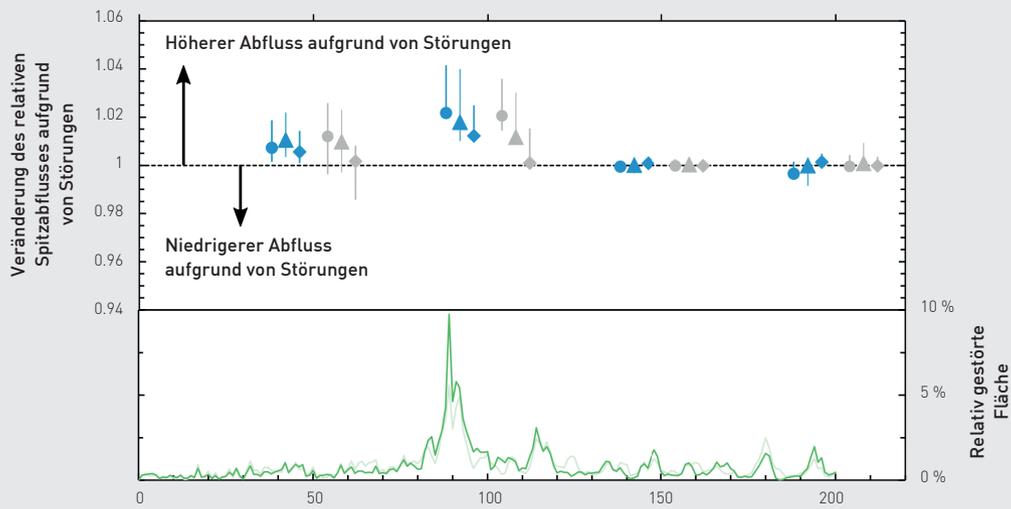
ner Starkregenereignisse in den beiden Wildbacheinzugsgebieten nachgewiesen werden. Das mag darin begründet sein, dass die störungsbedingte Entwaldung der Waldentwicklungsszenarien niemals eine kritische Größe erreichte und sich relativ rasch wieder in einem schutzwirksamen Bestand umwandelte. In PROTECTED erreichten die maximalen Störungsflächen weniger als 20% der Gesamtbewaldung der untersuchten Einzugsgebiete. Allerdings deuten unsere Ergebnisse auch darauf hin, dass vor allem für das warm und trocken getriebene Entwicklungsszenario die störungsbedingte Entwaldung sehr nahe an der kritischen Größe liegt. Für dieses Klimaszenario zeigt sich ca. 12 Jahre nach einer größeren Störung eine gewisse Reaktion bzw. eine Abweichung des Spitzenabflusses zum geschätzten ungestörten Spitzenabfluss (Abbildung 4). Es ist aber anzunehmen das eine kritische störungsbedingte Entwaldung, notwendig um das Abflussverhalten maßgeblich zu verändern, in steilen und kleinen Wildbacheinzugsgebieten eher erreicht wird als in größeren und flacheren Einzugsgebieten.

Grundsätzlich verringerten natürliche Störungen in unseren Simulationen das Risiko von Hanginstabilitäten bzw. das Auftreten erhöhter Sedimentverfügbarkeit, wobei die positiven Auswirkungen des beschleunigten Baumartenwechsels und der zunehmenden Wurzelkohäsion die potenziellen negativen Auswirkungen des Bodenwassergehaltes überwogen. Ähnlich wie bei Betrachtung des Einflusses von Störungen auf den Spitzenabfluss kann jedoch argumentiert werden, dass dieser positive Effekt nach Erreichen einer bestimmten kritischen Störungsgröße vermindert werden könnte.

## Risikowahrnehmung

Die, während der Laufzeit des Projektes durchgeführte Onlinebefragung zur Risikowahrnehmung zeigte eine hohe Relevanz von Störungen im Naturgefahrenmanagement und Bereitschaft zur

**Niederschlag-Abflusssimulation**  
**unbewirtschaftet/bewirtschaft**  
 nach 50, 100, 150 und 200 Jahren  
 für warme und trockene Klimaprognosen



**Abb. 4:** Verhältnis modellierter Spitzenabflüsse zu störungsbedingter Entwaldung für warme und trockene Waldentwicklungsszenarien.

Umsetzung von konkreten Maßnahmen. Insgesamt wurden 98 ExpertInnen aus den Bereichen Naturgefahrenmanagement und Forstwirtschaft über das aktuelle Meinungsbild hinsichtlich der gegenwärtigen und zukünftigen Bedeutung von Störungen für das Naturgefahrenmanagement in Österreich, Bayern, Südtirol und der Schweiz befragt. Wie nicht anders zu erwarten, zeigte sich, dass die Forstabteilungen eine zentrale Rolle im Naturgefahrenmanagement spielen, wobei dort die Maßnahmen in erster Linie nicht wegen der Naturgefahr per se vorgenommen werden, sondern die Nutzfunktion des Waldes im Vordergrund steht. Die Umfrage hat jedoch auch ergeben, dass die jüngsten Störereignisse die Wahrnehmung und das Handeln scheinbar massiv beeinflussen und steuern. So fokussieren momentane forstliche Managementstrategien stark auf eine Risikoreduktion von Borkenkäfer-, Wind- sowie Schnee- / Eisbruchkalamitäten. Präventive Maßnahmen gegenüber störungsbedingter Entwaldung aufgrund von Waldbrand sowie Dürre wurden laut Umfrage kaum berücksichtigt bzw. auch teilweise von den befragten Personen als nicht besonders notwendig erachtet. Dies mag nach den Ergebnissen von PROTECTED zu einem leicht verzerrten Bild führen, da gerade die Waldentwicklungsszenarien getrieben durch warm und trockene Klimaprognosen den größten Einfluss auf eine Veränderung von Spitzenabflüssen in Wildbacheinzugsgebiete vermuten lassen. Umgekehrt verhält es sich mit der Sedimentverfügbarkeit die tendenziell unter Störungseinfluss und für Waldentwicklungsszenarien mit zunehmender Trockenheit scheinbar abnimmt. Die wahrscheinliche Zunahme von Waldbrandaktivitäten könnte dem allerdings diametral entgegenwirken vor allem wenn sie nahe an der, für das Auftreten und Ausmaß von Wildbachereignissen relevanten, kritischen Störungsgröße liegt - auch wenn deren Ausdehnung verhältnismäßig klein erscheint.



## Projektleitung

**Silvio Schüller** (silvio.schueler@bfw.gv.at)  
Bundesforschungszentrum für Wald, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien



## Beteiligte Institutionen

Bundesforschungszentrum für Wald  
Universität für Bodenkultur Wien – Institut für Marketing und Innovation  
Kompetenzzentrum Holz GmbH

### Statement der Projektleitung:

„Die Samenproduktion als Basis für die natürlich Verjüngung und die Produktion von klimafitten Forstpflanzen ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Verjüngung des Waldes und seine Anpassung an den Klimawandel ist.“



## Gute Gründe für das Projekt:

- Waldumbau mit geeigneten Baumarten und Samenherkünften sowie die Anlage von Mischbeständen sind die wichtigsten Anpassungsmaßnahmen in der Waldbewirtschaftung und vielerorts nur durch Pflanzung zu erreichen.
- Der bereits im vergangenen Jahrzehnt beobachtete Trend zu mehr Laub- und Mischwaldsämlingen wird sich in den nächsten Jahrzehnten fortsetzen, benötigt jedoch ausreichend geeignete Baumsamen.
- Da das Angebot an Baumsamen für klimafitte Forstpflanzen ganz wesentlich von der unregelmäßigen Samenproduktion – den Mastjahren – bestimmt wird, sind zusätzliche Anstrengungen wie zum Beispiel die Anlage von Samenplantagen nötig, um den Samenbedarf von Eiche, Tanne und Co. in Zukunft decken zu können.

# MORESEEDSADAPT

## Abschätzung von Bedarf und Angebot an forstlichem Vermehrungsgut zur Anpassung einer nachhaltigen Forstwirtschaft an den Klimawandel

### Einleitung

Im Klimawandel gehören die Wahl geeigneter Baumarten und Samenherkünfte sowie die Anlage von Mischbeständen zu den wichtigsten Anpassungsmaßnahmen in der Waldbewirtschaftung (Schüler et al. 2022). Ein Baumartenwechsel ist generell durch natürliche und künstliche Verjüngung möglich. Die natürliche Verjüngung ist jedoch auf heute im betreffenden Wald bereits vorkommende Baumarten beschränkt und wird zudem durch einen hohen Verbiss des Wildes regelmäßig stark beeinträchtigt. Durch zunehmende großräumige Störungen wie Stürme, Waldbrände und die in den letzten Jahren häufigeren Borkenkäferkalamitäten entstehen zudem große Kahlflächen, die rasch wiederbewaldet werden müssen, um den Wald als Lebensraum, Kohlenstoffsенke und Holzlieferant wiederherzustellen. Dabei sollten vorwiegend diejenigen Baumarten gesetzt werden, die bereits an das Klima von morgen angepasst sind, bzw. genug Anpassungsfähigkeit besitzen um sich an die zukünftigen Bedingungen anzupassen. Neben der Auswahl geeigneter Baumarten sind auch die lokalen Anpassungen spezifischer Samenherkünfte zu berücksichtigen. Diese Anpassungen äußern sich u. a. als Unterschiede im Wachstum, der Empfindlichkeit gegenüber Frostereignissen und Trockenperioden oder in unterschiedlichen Zeitpunkten des Nadel- und Blattaustriebs. Zahlreiche Untersuchungen an heimischen Baumarten zeigen, dass mit dem Klimawandel in vielen Fällen nicht nur die durch Trockenheit und Stürme gefährde-

ten Baumarten ersetzt werden sollten, sondern vor allem deren Samenherkünfte, denn die natürlichen Prozesse der Anpassung sind im rasch voranschreitenden Klimawandel zu langsam, um ein Überleben unter zukünftigen Bedingungen zu sichern.

Die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen im Wald und der Aufbau artenreicher Mischbestände, die dem zukünftigen Klima trotzen können, benötigt daher eine große Anzahl an Forstpflanzen von Baumarten, die bisher in der österreichischen Forstwirtschaft nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben. Als besonders wichtige Mischbaumarten in Österreich zählen zum Beispiel die Stiel- und Traubeneiche, die Weißtanne, die Rotbuche sowie verschiedene heimische Mischbaumarten wie Berg- und Spitzahorn, Speierling und Vogelkirsche. Zudem kann die nicht-heimische Douglasie als wichtige trockenresistente Nadelbaumart an ausgewählten Standorten eine größere Rolle spielen.

Voraussetzung für die Produktion geeigneter Forstpflanzen ist allerdings die Bereitstellung von geeigneten Baumsamen, im Allgemeinen auch als Forstsaatgut bezeichnet. Forstsaatgut und die Produktion von Forstpflanzen unterliegen in Österreich strengen gesetzlichen Auflagen durch das österreichische forstliche Vermehrungsgutgesetz und die EU-Richtlinie über den Verkehr mit forstlichem Vermehrungsgut. Diese gesetzlichen Grund-

Baumart	Anzahl an Forstpflanzen aus 1 Kilogramm Baumsamen
Stieleiche	150-250 Pflanzen
Traubeneiche	200-300 Pflanzen
Flaumeiche	250-380 Pflanzen
Zirbe	2.500-5.000 Pflanzen
Rotbuche	3.000-5.000 Pflanzen
Bergahorn	5.000-10.000 Pflanzen
Esche	8.000-13.000 Pflanzen
Weißtanne	9.000-20.000 Pflanzen
Winterlinde	20.000-30.000 Pflanzen
Schwarzkiefer	40.000-60.000 Pflanzen
Douglasie	50.000-100.000 Pflanzen
Lärche	80.000-200.000 Pflanzen
Fichte	100.000-150.000 Pflanzen
Weißkiefer	120.000-180.000 Pflanzen
Schwarzerle	400.000-800.000 Pflanzen

**Tab. 1:** Wichtige heimische Baumarten und die Ausbeute in der Forstpflanzenproduktion beim Einsatz von 1kg Baumsamen. Im Klimawandel bedeutsamere Baumarten wie die Eichenarten, die Weißtanne sowie verschiedenen Mischbaumarten haben aufgrund ihrer schweren Samen nur eine geringe Pflanzenausbeute.

lagen stellen sicher, dass nur diejenigen Pflanzen im Wald gesetzt werden, die eine hohe genetische Vielfalt und Anpassungsfähigkeit besitzen. Die Produktion von Forstsaatgut findet in zugelassenen Erntebeständen und speziellen Samenplantagen statt und bestimmt letztlich auch die Möglichkeit zur Produktion von Forstpflanzen.

Die Produktion von klimafitten Forstpflanzen steht jedoch vor einer Reihe von Herausforderungen:

- 1) Klimafitte Baumarten besitzen meist schwere Samen (Tabelle 1). Daher lassen sich aus derselben Menge an Saatgut nur geringere Mengen an Pflanzen ziehen als zum Beispiel bei der Fichte.
- 2) Saatgut wichtiger Laubbaumarten und der Weißtanne ist nur wenige Jahre haltbar und muss in 2-3 Jahren nach der Ernte ausgesät werden, sonst verliert es seine Lebensfähigkeit. Dagegen kann Saatgut von Fichte, Lärche und Co. über mehrere Jahrzehnte gelagert werden, ohne dass seine Qualität beeinträchtigt wird.
- 3) Die Produktion von Sämlingen klimafitter Baumarten dauert je nach Baumart 2-5 Jahre und damit etwas länger als für die klassischen Nadelbaumarten (2-3 Jahre). Im Falle großflächiger Waldschäden kann es also einige Jahre dauern, bis die gewünschten Pflanzen verfügbar sind.
- 4) Die Samenproduktion der meisten Baumarten schwankt beträchtlich und hängt von den natürlichen Bedingungen der Waldstandorte, dem Klima und dem jeweiligen Wetter ab. Die schwankende Samenproduktion wird auch als Samenmast bezeichnet und die guten Samenjahre als sogenannte „Mastjahre“.

Im Projekt MoreSeedsAdapt wurden diese Herausforderungen mit umfangreichen Untersuchungen zu den klimatischen Voraussetzungen von Mastjahren und zur Nachfrage nach klimafitten Forst-

pflanzen unter verschiedenen forstlichen Anpassungsstrategien beurteilt.

### **Mastdatenbank als Basis zur Abschätzung der Samenproduktion**

Grundlage für die Untersuchungen der Samenproduktion war eine erstmals erstellte Datenbank von Mastereignissen in Österreich zwischen 1962 und 1995 für acht wichtige Baumarten (Lapin et al. 2022). Diese Mastereignisse wurden bis 1995 von den Bezirksforstinspektionen der Bundesländer jährlich erfasst und an die damalige forstliche Versuchsanstalt FBVA (heute BFW) gesendet, bisher aber nicht digital erfasst und ausgewertet. Unsere umfangreichen Untersuchungen der Mastereignisse zeigen nun, dass das Mastverhalten mit klimatischen Variablen assoziiert ist und sich bereits zum Ende des letzten Jahrhunderts signifikante Veränderungen in der Anzahl der Mastbeobachtungen ergeben haben. So stieg für alle acht untersuchten Baumarten die Häufigkeit von Mastereignissen im Untersuchungszeitraum an. Unterschiede in der Samenproduktion unterschiedlicher Höhenstufen zeigen sich allerdings nur für einige Baumarten, so nimmt z. B. für Weißkiefer, Lärche und Rotbuche die Mastwahrscheinlichkeit mit der Seehöhe ab, während die Mastwahrscheinlichkeit für die Zirbe in höheren Lagen zunimmt. Auch in der Zukunft ist eher mit einer Zunahme an Mastereignissen zu rechnen. Allerdings nimmt für einige Baumarten auch die Keimfähigkeit und damit die Samenqualität ab, vermutlich weil höhere Sommertemperaturen und Trockenheit die Samenreife negativ beeinflussen.

### **Änderungen der Forstpflanzenproduktion bisher und in der Zukunft**

Bei den Produktionszahlen für Forstpflanzen ließ sich seit den 1990er-Jahren ein rückläufiger Trend, sowohl bei Nadel- als auch bei Laubholzarten, beobachten. Zwischen 1991 und 2011 zeigte sich ein Rückgang von 34% bei Nadel- und 43% bei



C\_Schüler, BFW

**Abb.:** Reifende Eicheln (also Eichensamen) sind eine zunehmend wertvolle Ressource für die Forstwirtschaft, denn die Eichen zählen zu den Gewinnern im Klimawandel. Allerdings lassen sich Eicheln kaum lagern und müssen möglichst rasch im Forstgarten zu Sämlingen angezogen werden. Da die Eiche, so wie die meisten Baumarten, nur alle 2-4 Jahre in den sogenannten Mastjahren Eicheln produziert, ist die Bereitstellung von ausreichend klimafitem Saat- und Pflanzgut eine Herausforderung für Baumschulen und Forstbetriebe.

Laubholzpflanzen. Diese Trends lassen sich auf mehrere Gründe zurückführen: Holzeinschlag, Holzpreise, Saatgutversorgung und die makroökonomische Situation sind mögliche Treiber, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts untersucht wurden. Zudem wird durch die zunehmend kleinflächigen Nutzungen und Einzelstammentnahmen seit den 1990er-Jahren vermehrt auf Naturverjüngung gesetzt. Insgesamt haben Fichtenpflanzen an Bedeutung verloren und werden zunehmend durch Lärche, Tanne und Laubbäume ersetzt. Entsprechend steigen seit etwa 2011 auch die Produktionszahlen von Tanne, Douglasie, Waldkiefer und Zirbe ebenso wie für die Eichenarten und die Rotbuche. Insgesamt zeigen die Verkaufszahlen zwischen 2012/13 und 2016/17 einen klaren Trend zu Laub- und Mischwäldsämlingen (Konrad et al. 2022).

Um zu überprüfen, ob sich diese Trends auch in der Zukunft fortsetzen werden, wurden die Modelle CALDIS und FOHOW (Gschwantner et al. 2010; Braun et al. 2016) eingesetzt, um die Entwicklung des österreichischen forstbasierten Sektors unter verschiedenen Entwicklungsszenarien zu modellieren. Dabei kam einerseits ein „Business-as-usual“-Szenario und andererseits ein Baumartenwechselszenario zum Einsatz.

Die Ergebnisse zeigen (Braun 2022), dass die Fichte auch in Zukunft sehr gefragt sein wird, wenn die bisherige Forstwirtschaftspraxis fortgesetzt werden sollte. Wenn der Bedarf für einen Baumartenwechsel durch Klimawandel entsteht, wird dagegen die Nachfrage nach Fichtensämlingen zurückgehen und langfristig deutlich sinken. Im „Business-as-usual“-Szenario wird ab etwa 2050 ein leichter Anstieg der Nachfrage nach Tannensämlingen erwartet, während das Baumartenwechselszenario einen unmittelbaren Anstieg der Nachfrage bis Mitte des Jahrhunderts anzeigt. Lärchen- und Kiefernpflanzen dürften in beiden Szenarien als Teil der adaptiven Waldbewirtschaft-

ung verstärkt nachgefragt werden. Sie werden nach wie vor von der Holzverarbeitenden Industrie, die in Österreich stark auf Nadelholz spezialisiert ist, bevorzugt. Auch die Nachfrage nach Buchen- und Eichenpflanzen wird sich aufgrund des zu erwartenden Waldumbaus in beiden Szenarien weiter erhöhen.

## Ausblick

Der Waldumbau zu klimafitten Wäldern erfordert ein verändertes Sortiment an Saat- und Pflanzgut für die Forstwirtschaft. Die im Projekt untersuchten Entwicklungen der letzten Jahrzehnte und die modellierten Szenarien verweisen auf deutliche Veränderungen des Forstpflanzenmarktes hin zu Laub- und Mischwäldarten bzw. klimafitten Nadelhölzern. Allerdings sind Forstbaumschulen aufgrund der stark schwankenden Samenproduktion und der 1- bis 5-jährigen Verzögerung zwischen dem Beginn der Pflanzenproduktion und der Vermarktung der Sämlinge mit einem hohen Maß an Unsicherheit im Produktionsprozess konfrontiert. Es müssen daher weitere Anstrengungen unternommen werden, um die Samenproduktion von Eiche, Ahorn und Co. langfristig sicherzustellen (Konrad et al. 2022).

### Literatur:

- Braun M, Fritz D, Weiss P, et al. A holistic assessment of greenhouse gas dynamics from forests to the effects of wood products use in Austria. *Carbon Manage.* 7, 271–283 (2016).
- Braun, M. (2022) Forstpflanzenbedarf im Klimawandel. Studien zum Marketing natürlicher Ressourcen (Im Druck).
- Gschwantner, T., Kindermann, G., Ledermann, T. (2010) Weiterentwicklung des Wachstumssimulators PrognAus durch Einbindung klimarelevanter Parameter. In: Auswirkungen des Klimawandels auf Österreichs Wälder - Entwicklung und vergleichende Evaluierung unterschiedlicher Prognosemodelle, Research Report A760631. Neumann M (Ed). Climate and Energy Fund, Vienna, Austria, 150 (2010).
- Konrad, H., Wurzer, C., Schüler, S. (2022) Status quo und Zukunft der Versorgung mit forstlichem Saatgut in Österreich. Studien zum Marketing natürlicher Ressourcen (Im Druck).
- Lapin, K., Zolles, A., Schüler, S. (2022) Das Mastverhalten von Bäumen im Wandel. Studien zum Marketing natürlicher Ressourcen (Im Druck).
- Schüler, S., Lapin, K., Chakraborty, D. (2022) Baumartenwechsel und Herkunftswahl im Klimawandel. Studien zum Marketing natürlicher Ressourcen (Im Druck).



## Projektleitung

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

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften,  
Institut für Waldbau



## Beteiligte Institutionen

- Universität für Bodenkultur Wien  
Institut für Waldbau  
Institut für Meteorologie
- Umweltbundesamt
- Austrian Institute of Technology GmbH

**Autor\*innen:** Manfred J. Lexer, Herbert Formayer, David Leidinger, Ivo Offenthaler,  
Philipp Leopold, Astrid Felderer, Natalie Glas, Werner Rammer



## Gute Gründe für das Projekt:

- Hangrutschungen zählen zu den maßgeblichen Naturgefahren im Gebirgsland Österreich. Sie verursachen nicht nur erhebliche direkte und Folgeschäden an der Infrastruktur, sondern können ohne Schutzmaßnahmen auch Personen gefährden.
- Wie anfällig ein Hang für Rutschungen ist, bestimmen im Wesentlichen der Boden (Bodenmechanik und -hydrologie), Topographie, Vegetationsdecke und Nutzung. Davon unabhängig ist ein extremes Regenereignis (heftiger und/oder langer Regen) immer der Auslöser für eine Rutschung.
- Klimatolog\*innen erwarten für manche Gebiete Österreichs eine Häufung bisher ungewöhnlich starker Regenmengen. Für Infrastrukturplanung und Vorsorge ist es deshalb wichtig zu wissen, in welchen Lagen der Klimawandel vermehrt zur Auslösung von Hangrutschungen führen kann.

# GLADE

## Gravitational Hazards Amplified by Degradation of Protection Forests and Extreme Precipitation Episodes

### Einleitung und Hintergrund

Hangrutschungen stellen in Österreich eine beträchtliche Gefährdung von Infrastruktur wie z. B. Straßen, Bahnanlagen und Siedlungsraum dar. Der häufigste natürliche Auslöser von Hangrutschungen sind extrem heftige oder lange anhaltende Niederschläge. Wald kann die Gefahr einer Hangrutschung verringern, weil er plötzliche starke Regenmengen puffert und den Boden, besonders bei passender Baumartenmischung, durch die Durchwurzelung mechanisch stabilisiert.

In GLADE wurde einerseits das kleinräumige Zusammenwirken von Wald (und Vegetationsdecke im Allgemeinen), Gelände- und Bodenfaktoren auf die Rutschungsanfälligkeit eines Hanges untersucht. Andererseits wurde die Bestimmung lokaler Schwellenwertfunktionen angestrebt, die den Einfluss der vorgenannten Umgebungsbedingungen berücksichtigen.

Nicht zuletzt wurde dafür, und zur Validierung der Ergebnisse, das Fachwissen zahlreicher Stakeholder\*innen aus Verwaltung und Praxis von Forstbetrieben und Verkehrsinfrastruktur herangezogen.

Diese Zusammenhänge waren für Österreich bisher nur ansatzweise für einzelne Regionen oder auf Fallstudienebene untersucht worden.

### Datenmaterial

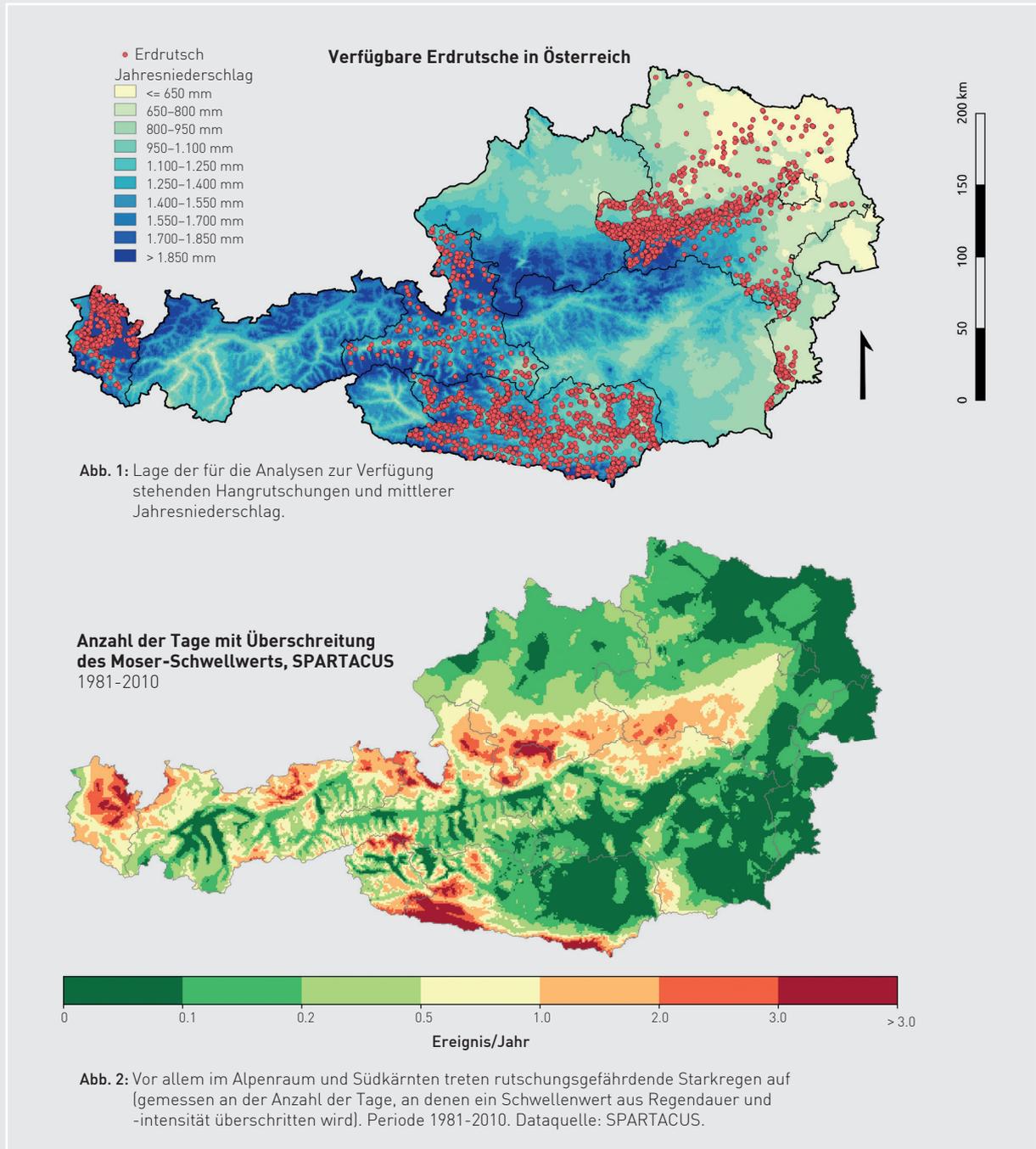
#### Rutschungsdaten

Abbildung 1 zeigt die zur Verfügung stehenden Daten zu Rutschungsereignissen. Insgesamt standen 4889 Ereignisse zur Verfügung. Davon stammten 88 aus dem Burgenland, 1533 aus Kärnten, 1624 aus Niederösterreich, 688 aus Salzburg und 956 aus Vorarlberg. Die Datensätze variierten in Erhebungsmethodik, zeitlicher und räumlicher Auflösung und Zuverlässigkeit.

#### Klimadaten

Die Niederschlagsdaten für die historischen Rutschungsdaten wurden für die Periode 1961-2003 aus dem SPARTACUS Datensatz (Hiebl und Frei 2018) extrahiert, für die Jahre nach 2003 aus dem INCA Datensatz (Haiden et al. 2011).

Klimawandelbedingungen wurden aus transienten Klimawandelszenarios entnommen, die unterschiedliche Klimawandelintensitäten in Bezug auf



Temperatur- und Niederschlagsveränderungen repräsentierten (basierend auf Emissionsszenarios RCP 4.5 und RCP 8.5).

## Ergebnisse

### Schwellenwertfunktionen

Eine „klassische“ Schwellenwertfunktion aus Niederschlagsintensität und -dauer konnte nicht bestätigt werden, und zwar weder die Reproduktion der (in einer globalen Übersichtsarbeit) für Österreich vorgeschlagenen Ausprägung (Guzzetti et al. 2008 nach Daten aus Moser & Hohensinn 1983) noch durch eine geeignete Parametrisierung ihrer allgemeinen Form (Gl. 11).

$$I = a D - b^{11}$$

(I, D: Intensität bzw Dauer des Niederschlags, ab dem mit einer Rutschung zu rechnen ist)

Mit den für Österreich vorgeschlagenen Parametern (Guzzetti et al. 2008) wären bspw. folgende Regenmengen kritisch, und zwar unabhängig von den lokalen Gegebenheiten: 86.5mm/24h, 101.5mm/48h und 111.4mm/72h.

Angesichts der genannten Rahmenbedingungen, die die Rutschungsanfälligkeit des Bodens maßgeblich vorbestimmen, erscheint es als wenig überraschend, dass kein unabhängiger, regionsübergreifender Schwellenwert identifiziert werden konnte. Es lassen sich zwar die Regenereignisse, die den uns vorliegenden Hangrutschungen vorausgingen, durch eine Funktion der obigen Form (1) beschreiben. Es handelt sich bei dieser Kurve jedoch eher um eine Begrenzung der gebietsweise überhaupt beobachtbaren Starkregen (entlang derer Hangrutschungen klarerweise gehäuft auftreten) als eine Schwelle, ab der mit Hangrutschungen zu rechnen ist.

Der Vergleich der auslösenden Regenereignisse mit den kleinräumigen langfristigen Aufzeichnungen

(Auflösung: 1 km<sup>2</sup>, 1961-2010) legte vielmehr nahe, dass in erster Linie das Überschreiten der ortstypischen Niederschlagsmenge ausschlaggebend für das Auslösen einer Hangrutschung ist (Offenthaler et al. 2020).

Die von Guzzetti et al. (2008) für Österreich vorgeschlagene Schwellenwertfunktion wurde trotz beschränkter Aussagekraft als Näherung für die großräumige Tendenz der Hangrutschungsgefahr in verschiedenen Klimaszenarien herangezogen (Abbildung 2).

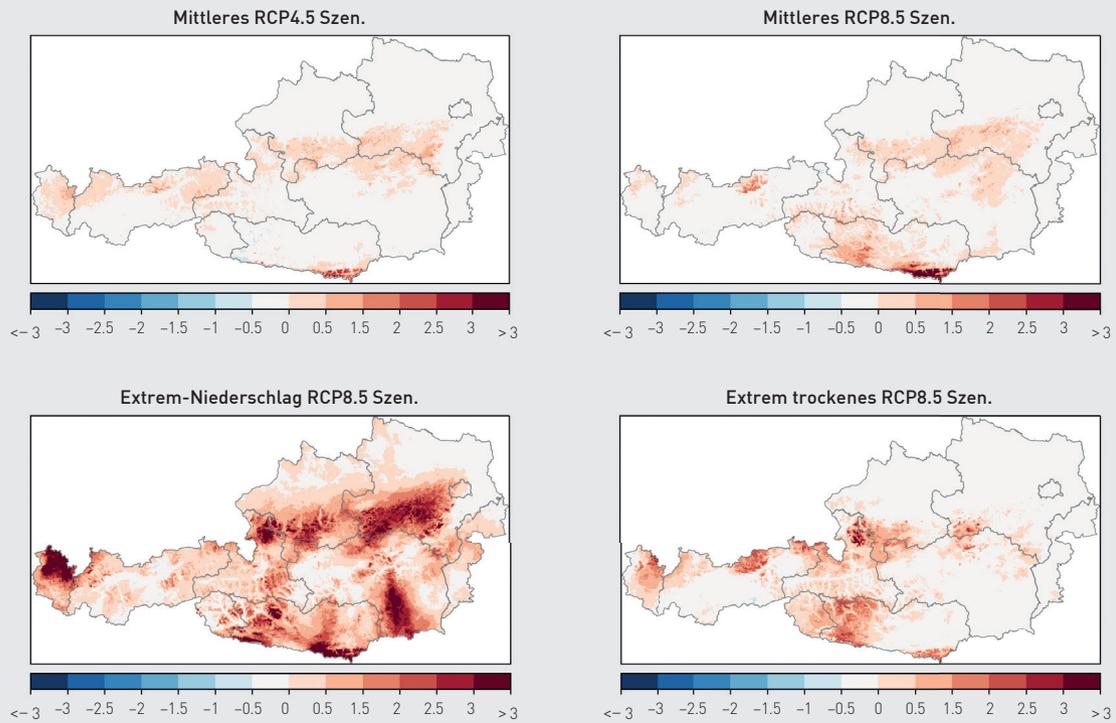
Dieser Indikator nimmt in allen untersuchten Klimawandelszenarios zu (Abbildung 3).

### Rutschwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Terrain- und Niederschlagsparametern

Geringe Hangneigung zusammen mit Waldbewuchs erwies sich im Modell als die Faktorkombination, bei der unter ansonsten gleichen Rahmenbedingungen die wenigsten Hangrutschungen beobachtet wurden. Für sich betrachtet hatte der geologische Untergrund (Stichwort „Flysch“) den stärksten Einfluss auf die Rutschungshäufigkeit, gefolgt von der Geländeneigung. Weitere Faktoren, etwa Nord- ggü. Südlage des Hanges, hingen mit der Rutschungsfrequenz zusammen – hier kommen aber bereits mehrere Ursachen in Frage: Anströmung durch feuchte Luftmassen, Unterschiede in der temperaturbedingten Bodenlockerung bis hin zum Beobachtungsbias (Infrastrukturen mit „meldewürdigen“ Schäden eher in Südlage etc.).

Für die Ermittlung von Niederschlagsschwellen wurde (neben der versuchten Anpassung einer Intensitäts-Dauer-Funktion über Quantilregression) der kumulierte vorangegangene Niederschlag (über 3, 5, 10, 14 und 28) als Parameter verwendet, und zwar als absolutes Volumen, relativ oder

**Änderung der Anzahl der Tage mit Überschreitung  
des Moser-Schwellwerts, SPARTACUS**  
2071-2100 – 1981-2010



**Abb. 3:** Alle untersuchten Klimawandelszenarien ergeben häufigere Rutschungs-kritische Tage als im aktuellen Klima [Zunahme der kritischen Tage bis zur Periode 2071-2100, Indikator und Ausgangssituation in Abbildung 2; Differenz der kritischen Tage].

als Überschuss zum langjährigen Median bzw. 80er-Perzentil.

Diese Untersuchungen ergaben, dass die Kombination aus Regenmenge und -dauer, relativ zu den ortstypischen Verhältnissen, geeigneter für die lokale Vorsorge ist als die überregionale Betrachtung von Intensität und Dauer.

### Stakeholder\*innen-Workshop

In einem abschließenden Workshop mit Stakeholder\*innen wurden o.g. Ergebnisse vorgestellt und die Sinnhaftigkeit einer formalen Vulnerabilitätsanalyse diskutiert. Als Ergebnisse des Austauschs wurden protokolliert: (i) Das ursprüngliche Konzept einer „Hot spot“-Karte ist auf lokaler Ebene wenig praxistauglich. (ii) Die Ergebnisse können nicht als finale Risikoanalyse interpretiert werden, sondern stellen wichtige Information dar, auf deren Basis Expert\*innen dann lokale spezifische Einschätzungen vornehmen können. (iii) Eine monetäre Abschätzung des Gefährdungspotenzials ist angesichts der hohen Unsicherheiten nicht sinnvoll.

### Synthese

Die verfügbaren Datenbasen zu Rutschungseignissen sind sehr inhomogen. Quasi schließt die z. T. mangelnde Qualität und Zuverlässigkeit eine detaillierte Analyse aus. Eine Harmonisierung bei der Erhebung in Bezug auf Methodik und Genauigkeit wird empfohlen.

Die Zahl der Tage, an denen ein Schwellenwert aus Niederschlagsintensität und -dauer überschritten wird, stieg in den Klimawandelszenarien deutlich an.

Die Überschreitung lokal charakteristischer Niederschlagsmengen (ähnlich wie bei den Jährlichkeiten von Hochwässern) dürfte den geeignetsten Ansatz für die kurzfristige Gefahrenabschätzung

darstellen und ist bei Verfügbarkeit entsprechender meteorologischer Aufzeichnungen mit verhältnismäßig geringem Aufwand zu ermitteln. Hierin könnte eine wertvolle Unterstützung des von den Stakeholder\*innen betonten lokalen Planungs- und Vorsorgewissens liegen.



- 1) GLM einer logistischen Verteilung („Rutschung oder nicht“) mit den unabhängigen Variablen Geologie, Seehöhe, Hangneigung, Exposition (Azimuth), Geländeform und Waldnähe; ergänzend zur GLM wurden Entscheidungsbäume mit denselben Eingangsvariablen gerechnet.

#### Literatur:

- Guzzetti, F.; Peruccacci, S.; Rossi, M.; Stark, C.P. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: An update. *Landslides* 2008, 5, 3–17.
- Haiden, T., A. Kann, G. Pistotnik, K. Stadlbacher, and C. Wittmann, 2009: Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) – System description. ZAMG report, 60p. [www.zamg.ac.at/fix/INCA\\_system.pdf](http://www.zamg.ac.at/fix/INCA_system.pdf)
- Hiebl J, Frei C (2018) Daily precipitation grids for Austria since 1961—development and evaluation of a spatial dataset for hydroclimatic monitoring and modelling. *Theoretical and Applied Climatology* 132(1):327–345, DOI 10.1007/s00704-017-2093-x, URL <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2093-x>
- Moser, M., Hohensinn, F., 1983. Geotechnical aspects of soil slips in Alpine regions. *Eng. Geol.*, 19: 185–211.
- Offenthaler, I., Felderer, A., Formayer, H., Glas, N., Leidinger, D., Leopold, P., Schmid, A. & Lexer, M. J. (2020). Threshold or Limit? Precipitation Dependency of Austrian Landslides, an Ongoing Challenge for Hazard Mapping under Climate Change. *Sustainability*, 12(15), 6182.



## Projektleitung

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

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Waldbau



## Beteiligte Institutionen

Universität für Bodenkultur Wien

- Institut für Waldbau
- Institut für Meteorologie und Klimatologie

**Autor\*innen:** Manfred J. Lexer, Herbert Formayer, David Leidinger, Imran Nadeem, Christian Hochauer, Christoph Pucher

**Statement der Projektleiterin:** „Innovation muss sich auch in der makroökonomischen Modellierung spiegeln.“



## Gute Gründe für das Projekt:

- Sturm ist der Risikofaktor, der in europäischen Wäldern die höchsten Schäden verursacht. Die Berücksichtigung von Stürmen in der Klimafolgenforschung ist daher von hoher Relevanz.
- WINDFALLS verbessert wesentlich die dafür erforderliche Information zu flächigen Windgeschwindigkeiten durch Fingerprinting-Methoden für historische Zeitreihen und für Klimawandelszenarien.
- Damit ermöglicht WINDFALLS die räumlich explizite Szenario-Simulation von Wäldern unter Berücksichtigung von Sturm als Störungsfaktor.

# WINDFALLS

## Wind Induced Disturbances in Forests at Local and Regional Scales

### Einleitung und Hintergrund

Sturm ist einer der relevantesten Störungsfaktoren in temperierten Wäldern und beeinflusst wesentlich die Bereitstellung von vielen Ökosystemleistungen wie zum Beispiel die Bereitstellung von Holz und Biomasse, den Schutz vor Lawinen, Steinschlag und Hangrutschungen oder die Bereitstellung von Trinkwasser. Sturmbedingte Störungen sind außerdem oftmals der Auslöser von Borkenkäferstörungen, da die durch den Sturm geschädigten Waldflächen ausgezeichnetes Bruthabitat für Borkenkäfer bereitstellen.

Für Szenario-Simulationen mit Waldökosystemmodellen stehen für Österreich flächige Temperatur- und Niederschlagsinformationen sowie Globalstrahlung und Luftfeuchte maße in guter bis befriedigender Qualität zur Verfügung (INCA (Haiden et al. 2011), SPARTACUS (Hiebl and Frei 2016, 2017), ÖKS15 (Chimani et al. 2016)), während Informationen zu Windgeschwindigkeiten keine ausreichende Qualität in Bezug auf auftretende Böengeschwindigkeiten und geographische Verortung aufweisen. Gründe dafür sind u. a. die räumliche und zeitliche Variabilität der Windfelder wegen ihrer Abhängigkeit von lokalen Eigenschaften wie Terrain, Rauigkeit der Oberfläche und Abschirmungseffekte, die in Wetter- und Klimamodellen mit üblicher Auflösung von 2-10 km nicht abgebildet werden können. Zusätzlich sind in der Fläche

interpolierte Windgeschwindigkeitsdaten wegen der kleinräumigen Struktur des Windfeldes und der relativ geringen Anzahl von Wetterstationen mit Windmessungen mit hoher Unsicherheit behaftet.

Damit ist aber eine realistische Simulation von Störungsregimen, die Sturm als Störungsfaktor enthalten, nicht möglich. Um das Potenzial von dynamischen Waldökosystemmodellen für Szenarioanalysen in der Klimaanpassungsforschung nutzen zu können, sind bessere Windgeschwindigkeitsdaten oder zuverlässige Proxy-Attribute, die das „wahre“ Windklima besser repräsentieren, erforderlich.

Ziel von WINDFALLS war Windgeschwindigkeitsdaten zu verbessern, um die Simulation von Sturmstörungen in waldbezogenen Studien zu Auswirkungen des Klimawandels auf Waldökosystemleistungen und zur Klimawandelanpassung zu erleichtern.

Um dies zu erreichen, verfolgte WINDFALLS u. a. folgende Teilziele:

- 1 Entwicklung einer Methode, um die Sturminformation aus Wettermodellen und regionalen Klimamodellen (RCM) zu verbessern und diese dann für Ökosystemsimulationen verfügbar zu machen.



2. Einen Vergleich, der dann mittels dieser Sturminformation mit dynamischen Waldökosystemmodellen simulierten Schäden im Wald mit einem empirischen Vergleichsdatensatz zu Sturm- und Borkenkäferschäden in Österreich liefert.

## Methodischer Ansatz

### Windmodellierung und Erstellung von Windszenarien

Direkte Windinformationen von regionalen Klimamodellen liegen meist nur als Tagesmittelwerte oder als instantane Werte alle 6 oder 12 Stunden vor. Zur Abschätzung von Windwurfereignissen benötigt man jedoch Informationen zu den maximalen Windböen eines Tages, da sich Schwellwerte, ab denen erfahrungsgemäß Waldschäden auftreten, wie etwa 90 bzw. 120 km/h, immer auf die maximalen Windspitzen beziehen. Daher muss Windinformation aus den Modellen statistisch nachbearbeitet werden. Die Windgeschwindigkeit wird in regionalen Klimamodellen, speziell in Gebirgsregionen, aber auch aufgrund der räumlichen Auflösung von derzeit rund 10x10 km systematisch unterschätzt.

Ein Teil der Analysen bestand darin festzustellen, ob regionale Klimamodelle Sturmereignisse realistischer abbilden können, wenn man die räumliche Auflösung erhöht. Hierbei wird zwischen atlantischen Stürmen, Föhnstürmen sowie Stürmen im Zusammenhang mit Gewittern differenziert, da diesen Kategorien unterschiedliche Prozesse zugrunde liegen und diese von den Modellen nicht gleich gut aufgelöst werden können. Die hochaufgelösten Windmodellierungen erfolgten mit dem regionalen Model WRF (Weather Research and Forecasting Model, Skamarock et al., 2005).

Als zweiter Schritt wird eine Methodik entwickelt, Informationen, welche von regionalen Klimamodellen zur Verfügung stehen, mit Windfeldern zu verknüpfen, welche eine realistische räumliche

Struktur und maximale Windspitzen aufweisen. Diese werden dann für die Verwendung in der Waldmodellierung zur Verfügung gestellt.

### Simulation von Sturm- und Borkenkäferschäden

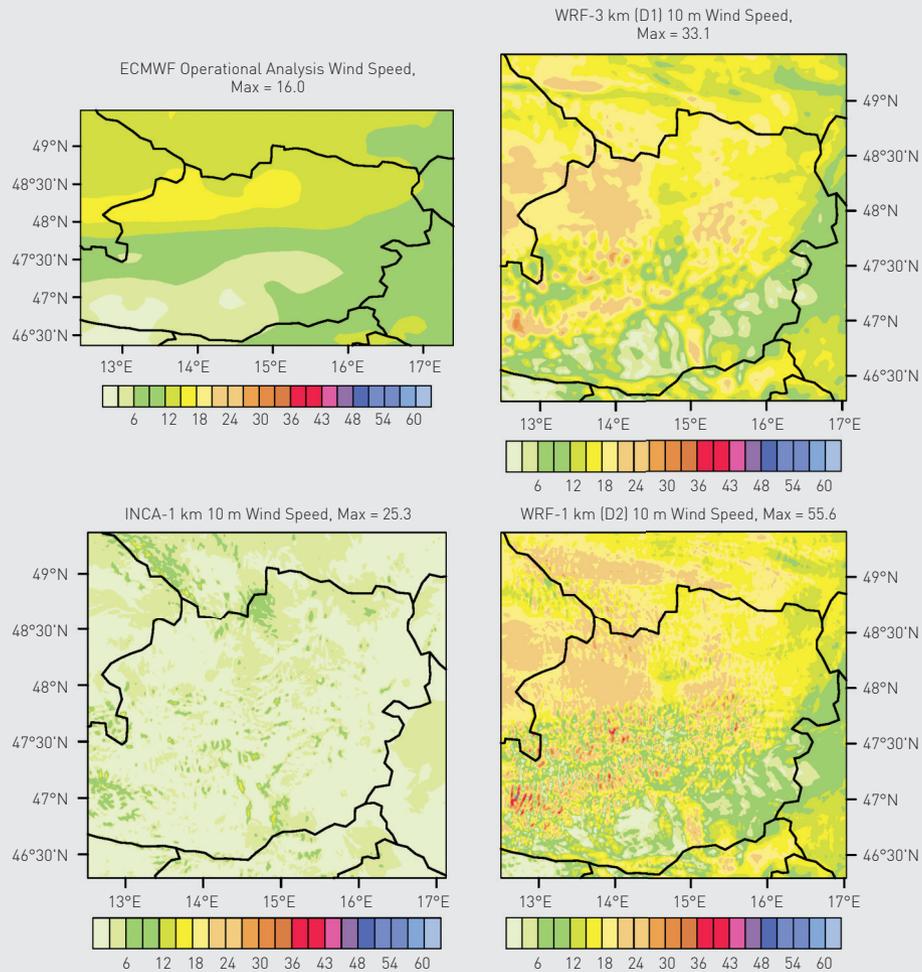
Voraussetzung für die Waldökosystemsimulation von realen Waldlandschaften ist die Herstellung eines räumlich expliziten Waldzustands. Anhand der verfügbaren Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) wurden Mischungstypen aggregiert, die sich im Wesentlichen über ihre Baumartenanteile definieren. Insgesamt wurden 46 Mischungstypen unterschieden, wobei jeder Mischungstyp einem von drei möglichen CORINE Landcover Waldtypen (Laubwald, Nadelwald, Mischwald) zugeordnet wurde. Die genauen Baumartenanteile innerhalb eines Mischungstyps unterscheiden sich teilweise, je nachdem in welcher Region und in welcher Seehöhe ein Mischungstyp auftritt.

Auf Basis der ca. 10.000 Erhebungspunkte der ÖWI wurden die Flächenanteile jedes Mischungstyps in den politischen Verwaltungsbezirken ermittelt. Die Waldfläche Österreichs wurde in 1x1km Pixel gegliedert und die Waldtypen in jedem Bezirk entsprechend ihrem Anteil den Zellen zugeteilt (Abb. 1).

Anhand der Inventurdaten wurde regionsweise und höhenzonenweise je Mischungstyp Durchmesserverteilungsfunktionen angepasst sowie Höhenfunktionen je Baumart erstellt. Diese beiden Elemente wurden ergänzt um die Grundfläche je Hektar für die Altersklassen eines Mischungstyps (Abb. 2).

Aus dem Österreichischen Waldschadensbeobachtungssystem (WBS; Steyrer et al. 2011) standen für die Periode 2005-2019 auf Bezirksebene die Schäden auf der Waldfläche in Kubikmeter stratifiziert nach Schadensursachen zur Verfügung. Für die vorliegende Studie wurden ausschließlich die durch Sturm und Fichtenborkenkäfer verursachten Schadensvolumina verwendet.

## WRF-Da (3 km), WRF-D2 (1 km) Vs Observed Windspeed 2007011900



**Abb. 3:** Atlantischer Sturm Kyril (19. Jänner 2007 um 0 Uhr). Windgeschwindigkeit aus der ECMWF-Analyse mit 25 km räumlicher Auflösung (oben, links), WRF mit 3 km (oben, rechts), WRF mit 1 km (unten, rechts) und INCA 1km (unten links). Mit zunehmender Modellauflösung nimmt die Windgeschwindigkeit signifikant zu. Die Modellwerte scheinen auch plausibler als die INCA-Daten.

Das historische Klima der Periode 2005-2019 wurde durch das INCA Reanalyse Datensatz repräsentiert. Maximale Tageswindgeschwindigkeiten wurden mittels der in WINDFALLS entwickelten Methode (siehe oben) generiert.

In Experiment 1 wurden spezifische Sturmereignisse simuliert, für die hochaufgelöste Windgeschwindigkeitsinformation generiert wurde.

In Experiment 2 wurden die initialen Waldbestände auf den 1x1km Pixeln über die Periode 2005-2019 simuliert und die simulierten Schäden auf Bezirksebene zu einem Periodenwert aggregiert und mit den entsprechenden beobachteten Werten des WBS verglichen.

Das Waldökosystemmodell PICUS v1.5 (Lexer und Hönninger 2001, Seidl et al. 2005, Irauschek et al. 2017) wurde dazu verwendet, um die Waldbestände auf den 1x1km Pixeln für die Periode 2005-2019 unter dem historischen Klima des INCA-Datensatzes unter Berücksichtigung von Sturm- und Borkenkäferschäden zu simulieren (Experiment 2) sowie für ausgewählte Sturmereignisse die Störungssimulation durchzuführen (Experiment 1).

## Ergebnisse

### Hochaufgelöste regionale Windmodellierung

Mittels WRF wurden verschiedene Atlantische Stürme und Föhnstürme nachgerechnet und der Effekt der räumlichen Auflösung in den Klimasimulationen analysiert. Exemplarisch werden die Ergebnisse für den Sturm Kyril aus dem Jahr 2007 gezeigt. Dieser Sturm richtete europaweit und auch in Österreich verheerende Schäden an (Abb. 3).

Betrachtet man die Windgeschwindigkeiten des ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)-Analysefeldes zum Zeitpunkt der höchsten Windgeschwindigkeiten in Österreich (Abb. 3; links oben), so sieht man sehr glatte Strukturen mit

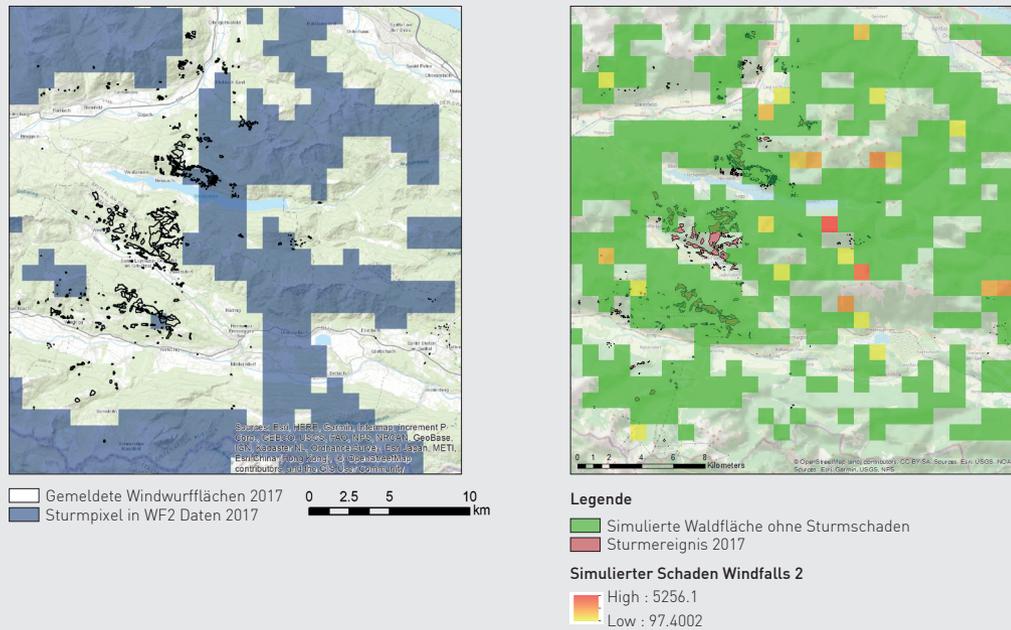
einem Maximum in Oberösterreich und maximalen Windgeschwindigkeiten von 16 m/s. Dies ist eine massive Unterschätzung der realen Maxima. Selbst im INCA-Datensatz (Abb. 3; links unten) werden zu dem Zeitpunkt Maxima bis zu 25.3 m/s erreicht, wobei dies der 10 m Mittelwind ist. Die gemessenen Windspitzen auf Bergstationen lagen jedoch bei rund 45 m/s.

Diese Unterschätzung der Windgeschwindigkeit im Analysemodell liegt lediglich an der groben räumlichen Auflösung, welche zum damaligen Zeitpunkt bei 25 km lag. Rechnet man dieses Ereignis mit 3 km räumlicher Auflösung (Abb. 3; rechts oben), so steigen die Windgeschwindigkeiten auf rund 33 m/s stark an und die räumlichen Strukturen spiegeln die Gebirgszüge wider. Verfeinert man die Auflösung auf 1 km, so nimmt die Windgeschwindigkeit auf bis zu 56.6 m/s zu und die Gebirgseffekte kommen noch stärker zum Vorschein.

Die WRF-Modellergebnisse mit 1 km Auflösung zeigen sehr plausible räumliche Strukturen und die Windgeschwindigkeiten ähneln mehr den Windböen als der 10 min Mittelwind. Da regionale Klimamodelle eine ähnliche räumliche Auflösung haben wie das Analysemodell des ECMWF, kann man daraus schließen, dass die systematische Unterschätzung der Windgeschwindigkeiten zu einem guten Teil durch die räumliche Auflösung verursacht wird. Die grundsätzliche Information über die Sturmintensität ist in den Modellen enthalten und man kann mit statistischen Methoden dem Sturmereignis ein realistischeres Feld der maximalen Windspitzen zuordnen.

### Fingerprintmethode

Die Bodenwindfelder für die Fingerprints für Atlantische Stürme beruhen auf den maximalen Windfeldern der WRF-Modellierung mit 1 km Auflösung für drei Sturmereignisse. Jedem dieser drei Fingerprints wird das jeweilige Windfeld auf 500 hPa zugeordnet. Da die ausgewählten Sturmereignisse zu



**Abb. 4:** Gewittersturm 10.08.2017. Links: Graue Pixel mit Windgeschwindigkeitsspitzen >90 km/h. Rechts: Grüne Pixel sind ungeschädigte Waldflächen, rote und gelbe Pixel sind geschädigte Waldflächen.

Störungsfaktor	WSM	Simuliert
Sturm	37.1	53.5
Borkenkäfer	34.6	30.6

**Tab. 1:** Simulierte und beobachtete (WSM) Sturm- und Borkenkäferschäden im österreichischen Wald in der Periode 2005-2019. [mill. m<sup>3</sup>]

den stärksten Stürmen der letzten 20 Jahre zählen, sind diese Fingerprints für sehr starke Stürme repräsentativ. Die Auswahl der Sturmereignisse, die durch Fingerprints ersetzt werden, erfolgte anhand eines Intensitätskriteriums.

Die Auswahl der Fingerprints für Föhnstürme ist komplexer. Insgesamt wurde Österreich in fünf Föhnregionen eingeteilt, wobei sowohl Nord- als auch Südföhn unterschieden wird. Die Windfelder der Fingerprints konnten nicht aus hochaufgelösten WRF-Modellierungen abgeleitet werden, da die Durchführung einer so großen Anzahl an Modellierungen den Projektumfang gesprengt hätte, daher wurden diese aus den INCA Windfeldern abgeleitet. Hierzu wurden Föhnstürme mittels der Detektionsmethode für jede der Föhnregionen ausgewählt und die verfügbaren INCA Windböen aller Föhnstürme einer Region gemittelt.

Eine Evaluierung der Fingerprintmethodik durch den Vergleich der Fläche, welche jedes Jahr Windgeschwindigkeiten von mehr als 90 km/h aufweist, zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit den direkten INCA maximalen Windböen.

## Experiment 1

Am 10. 08. 2017 zog eine Gewitterfront von Oberitalien über die Karnischen Alpen ins Gailtal und dann nördlich weiter ins Drautal. Von der Landesforstbehörde Kärnten wurden die geschädigten Waldflächen kartiert. Die mittels Fingerprintmethode ermittelte Sturmbahn sowie die daraus simulierten Sturmschäden in der Waldfläche sind in [Abb. 4](#) dargestellt. Deutlich sichtbar ist die nach Osten verschobene Sturmbahn anhand der beobachteten Schadflächen. Daraus folgen natürlich dann ebenfalls räumlich nach Osten versetzte simulierte Schäden.

Das Beispiel zeigt gut die Problematik von Sturm- schadenssimulationen auf: Sind räumlich explizite

Auswirkungen auf Ökosystemleistungen gefragt, müssen sowohl Lage als auch Intensität von Stürmen akkurat repräsentiert werden.

## Experiment 2

Insgesamt berichtet das WSM für die Periode 2005-2019 von 37.1 mill m<sup>3</sup> Sturmschaden. PICUS simulierte 53.5 mill. m<sup>3</sup>. Dies ist zwar eine deutliche Überschätzung, die Korrelation mit den bezirksweisen Schadensmengen ist jedoch gut, der Anteil der erklärten Varianz durch die Simulation beträgt  $R^2 = 0.53$  ([Abb. 5](#)).

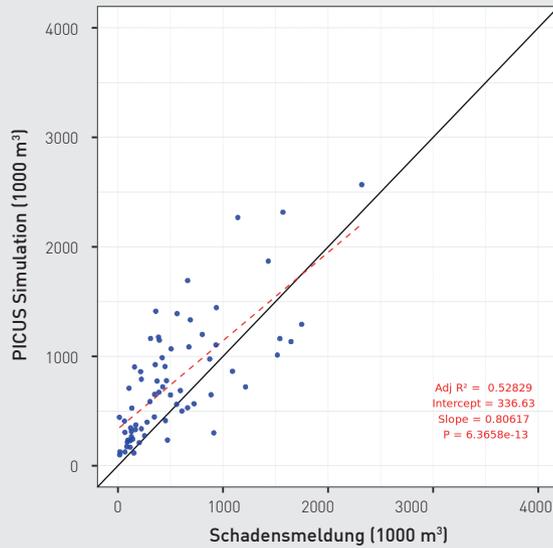
Borkenkäferschäden in Fichtenbeständen werden hauptsächlich durch klimatische Bedingungen und die Verfügbarkeit von Brutmaterial bestimmt. Zusätzlich gibt es eine Verstärkung durch Sturmschäden und fallweise Managementaktivitäten, da dadurch zusätzliches Brutmaterial bereitgestellt werden kann. [Tabelle 1](#) zeigt kumulierte Sturm- und Borkenkäferschäden aus der Simulation und den Beobachtungen des WSM.

Die Borkenkäferschäden wurden in der Simulation etwas unterschätzt, die erklärte Variation betrug  $R^2 = 0.48$  ([Abb. 6](#)). Mit den überschätzten Sturmschäden würde man auch höhere Borkenkäferschäden erwarten. Detailanalysen ergaben, dass Stürme vermehrt in Berglagen auftreten, wo Borkenkäfer keine günstigen Entwicklungsbedingungen vorfinden und daher das erwartete positive Feedback nicht auftritt. Ebenfalls dämpfend auf Borkenkäferschäden wirken sich in tieferen Lagen die zunehmenden Sturmschäden aus, da weniger geeignete Wirtsbäume zur Verfügung stehen.

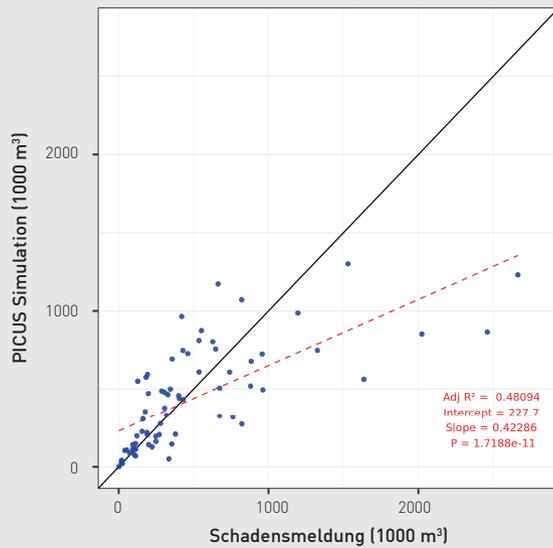
## Synthese

### Sturmszenarien

Für Atlantische Stürme und Föhnstürme können die maximalen Windspitzen mittels statistischer Methoden abgeleitet werden. Die hier individuell für Atlantische und Föhnstürme entwickelten



**Abb. 5:** Simulierte versus beobachtete Sturmschäden in politischen Bezirken in der Periode 2005-2019. Quelle beobachtete Daten: WSM (Steyrer et al. 2011).



**Abb. 6:** Simulierte versus beobachtete Borkenkäferschäden in politischen Bezirken in der Periode 2005-2019. Quelle beobachtete Daten: WSM (Steyrer et al. 2011).

Fingerprintmethoden führen zu deutlich realistischeren Windgeschwindigkeiten und räumlichen Mustern als klassische Fehlerkorrekturen, bei denen der Tagesmittelwind fehlerkorrigiert wird und anschließend die maximale Windböe mittels Regression geschätzt wird.

Eine Limitierung der Fingerprintmethode bei Föhnstürme stellt die Qualität der verfügbaren gerasterten Windgeschwindigkeiten (INCA) dar. Eine Verbesserung der Windinterpolation in diesem Datensatz und eine historische Nachrechnung mit der verbesserten Methodik, um einen homogenen Datensatz zu erhalten, wäre sehr hilfreich. Dies gilt umso mehr, da belastbare Beobachtungsdaten auch für die Evaluierung der regionalen Klimamodelle zur Generierung von transienten Klimawandelszenarien notwendig sind.

### Störungssimulation

Vier Millionen Hektar Wald wurden in einem stratifizierten Verfahren in 1x1km Auflösung basierend auf Daten der Österreichischen Waldinventur, einem DTM und CORINE Landcover-Typen hergestellt. Jede 1x1km Zelle wurde durch 1-2ha große virtuelle Bestände repräsentiert, die die Simulationsentitäten darstellten. Es handelt sich also bei der hergestellten Waldlandschaft noch immer um einen „punktbasierten“ Inventuransatz, der jedoch eine explizite räumliche Komponente aufweist. Mit den räumlich expliziten gepixelten Klimainformationen inkl. der verbesserten Windgeschwindigkeitsdaten konnten Sturm- und Borkenkäferschäden auf Bezirksebene für die Periode 2005–2019 gut mit dem auf dem Waldökosystemmodell PICUS aufbauenden Simulationskonzept reproduziert werden (R<sup>2</sup> zwischen 0.48 and 0.53). Die absoluten Summenwerte für Borkenkäferschäden waren sehr nahe an den Beobachtungsdaten. Die Sturmschäden wurden deutlich überschätzt. Die gute korrelative Übereinstimmung zwischen Beobachtungen und Simu-

lationsoutput belegt jedoch die interne Konsistenz des Störungsmoduls. Eine Neukalibrierung der Gleichungen für Schadenswahrscheinlichkeit und -intensität bietet sich an, um die ursprünglich für Einzelbestände entwickelten Gleichungen für regionale Anwendungen anzupassen. Während Stürme in den Daten direkt einen Sturmschaden auslösen können, beeinflussen in der Realität bei Borkenkäferstörungen zusätzlich die (nicht bekannten) gesetzten Forstschutzmaßnahmen die Schadenshöhe, was eine jahresspezifische Schätzung von Schäden sehr schwierig macht und eine noch höhere Genauigkeit für großflächige Anwendungen als unwahrscheinlich erscheinen lässt.



### Literatur:

- Chimani, B., Heinrich, G., Hofstätter, M., Kerschbaumer, M., Kienberger, S., Leuprecht, A., . . . Salzmann, M. (2016). ÖKS15-Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse, Report, Vienna.
- Haiden, T., Kann, A., Wittmann, C., Pistotnik, G., Bica, B., & Gruber, C. (2011). The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the Eastern Alpine region. *Weather and Forecasting*, 26(2), 166–183.
- Hiebl J., Frei C. (2016): Daily temperature grids for Austria since 1961 – concept, creation and applicability. *Theoretical and Applied Climatology* 124, 161–178, doi:10.1007/s00704-015-1411-4
- Hiebl J., Frei C. (2017): Daily precipitation grids for Austria since 1961 – development and evaluation of a spatial dataset for hydro-climatic monitoring and modelling. *Theoretical and Applied Climatology*, doi:10.1007/s00704-017-2093-x
- Irauschek, F.; Rammer, W.; Lexer, M.J. (2017a): Can current management maintain forest landscape multifunctionality in the Eastern Alps in Austria under climate change?. *REG ENVIRON CHANGE*. 17(1):33–48.
- Lexer, M.J., Honninger, K. (2001): A modified 3D patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. *For. Ecol. Manage.*, 144, 43–65
- Powers (2008): A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp. doi:10.5065/D68S4MVH
- Seidl, R., Lexer, M.J., Jäger, D., Honninger, K., 2005. Evaluating the accuracy and generality of a hybrid patch model. *Tree Phys.* 25, 939–951.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Steyrer, G., Krenmayer, W., Schaffer, H., (2011): Dokumentation der Waldschadigungsfaktoren (DWF). *Forstschutz Aktuell* 52, 21–24.

# ALLE GEFÖRDERTEN PROJEKTE IM ÜBERBLICK

## CareforParis

Adaptation for carbon efficient forests and the entire wood value chain (including a policy decision support tool) – evaluating pathways supporting the Paris Agreement

**PROJEKTLEITUNG**

Umweltbundesamt GmbH, Spittelauerlände 5, 1090 Wien

**KONTAKT**

Peter Weiss (Peter.weiss@umweltbundesamt.at)

**PARTNER**

Bundesforschungszentrum für Wald, Universität für Bodenkultur (Institut für Marketing & Innovation, Institut für Wald-, Umwelt- und Ressourcenpolitik), Wood-K plus

**FÖRDERPROGRAMM**

Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 9. Ausschreibung

**DAUER**

17.04.2017 – 16.11.2019

**BUDGET**

€ 249.585,-

**FÖRDERSUMME**

€ 249.585,-

## GLADE

Gravitational Hazards Amplified by Degradation of Protection Forests and Extreme Precipitation Episodes

**PROJEKTLEITUNG**

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Waldbau

**KONTAKT**

Univ.-Prof. Dr. Manfred J. Lexer

**PARTNER**

Universität für Bodenkultur Wien (Institut für Waldbau, Institut für Meteorologie), Umweltbundesamt, Austrian Institute of Technology GmbH

**FÖRDERPROGRAMM**

Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 8. Ausschreibung

**DAUER**

01.05.2016 – 30.09.2018

**BUDGET**

€ 299.992,-

**FÖRDERSUMME**

€ 299.992,-

## MoreSeedsAdapt

Abschätzung von Bedarf und Angebot an forstlichem Vermehrungsgut zur Anpassung einer nachhaltigen Forstwirtschaft an den Klimawandel

<b>PROJEKTLEITUNG</b>	Bundesforschungszentrum für Wald, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien
<b>KONTAKT</b>	Silvio Schüler (silvio.schueler@bfw.gv.at)
<b>PARTNER</b>	Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Marketing und Innovation, Kompetenzzentrum Holz GmbH, Linz, Oberösterreich
<b>FÖRDERPROGRAMM</b>	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 9. Ausschreibung
<b>DAUER</b>	01.05.2017 – 30.04.2020
<b>BUDGET</b>	€ 249,914,-
<b>FÖRDERSUMME</b>	€ 216,009,-

## PROTECTED

Der Einfluss zukünftiger Schutzwaldszenarien auf Spitzenabflüsse und Sedimentverfügbarkeit unter Berücksichtigung störungsbedingter Entwaldung

<b>PROJEKTLEITUNG</b>	Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Alpine Naturgefahren
<b>KONTAKT</b>	Christian Scheidl (christian.scheidl@boku.ac.at)
<b>PARTNER</b>	Bundesforschungszentrum für Wald, Institut für Naturgefahren – Innsbruck
<b>FÖRDERPROGRAMM</b>	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 9. Ausschreibung
<b>DAUER</b>	01.05.2017 – 30.04.2020
<b>BUDGET</b>	€ 249.995,-
<b>FÖRDERSUMME</b>	€ 249.995,-

## WINDFALLS

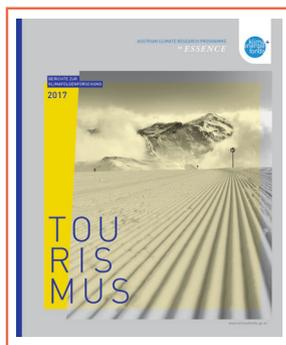
Wind Induced Disturbances in Forests at Local and Regional Scales

<b>PROJEKTLEITUNG</b>	Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Waldbau
<b>KONTAKT</b>	Univ.-Prof. Dr. Manfred J. Lexer
<b>PARTNER</b>	Universität für Bodenkultur Wien (Institut für Waldbau, Institut für Meteorologie und Klimatologie)
<b>FÖRDERPROGRAMM</b>	Klima- und Energiefonds, Austrian Climate Research Programme, 10. Ausschreibung
<b>DAUER</b>	01.06.2018 – 30.06.2021
<b>BUDGET</b>	€ 249.999,-
<b>FÖRDERSUMME</b>	€ 249.999,-

# BISHERIGE AUSGABEN VON „ACRP IN ESSENCE“

„ACRP in essence“ stellt Ihnen ausgewählte Forschungsberichte vor, die durch ihre wissenschaftlichen Fragestellungen eine Grundlage für die notwendigen Schritte in Richtung Klimawandelanpassung bilden.

[www.klimafonds.gv.at/service/broschueren/acrp-in-essence](http://www.klimafonds.gv.at/service/broschueren/acrp-in-essence)



TOURISMUS



LANDWIRTSCHAFT



WIRTSCHAFT



LANDWIRTSCHAFT



FORSTWIRTSCHAFT



BIODIVERSITÄT



WIRTSCHAFT



PARTIZIPATION



KLIMAWANDEL-ANPASSUNG



BODENFORSCHUNG



SONDERHEFT: COIN



GESUNDHEIT



WASSERWIRTSCHAFT



NATURGEFAHREN



ENERGIE

Bei Interesse an den bisherigen Themenfeldern kontaktieren Sie bitte:

[michael.poernbacher@klimafonds.gv.at](mailto:michael.poernbacher@klimafonds.gv.at)

# IMPRESSUM

## MEDIENINHABER

### KLIMA- UND ENERGIEFONDS

Leopold-Ungar-Platz 2 / Stiege 1 / 4.OG / Top 142, 1190 Wien  
Tel: +43 1 585 03 90, Fax: +43-1-585 03 90-11  
office@klimafonds.gv.at

## FÜR DEN INHALT VERANTWORTLICH

Die Autor\*innen 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 Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

## COVER

Unsplash/Sebastian Unrau

## DRUCK

Bösmüller ([www.boesmueller.at](http://www.boesmueller.at))  
Als österreichische Druckerei erfüllen sie alle Anforderungen einer umweltfreundlichen Produktion.

## GESTALTUNG

WEKA Industrie Medien GmbH ([www.industriemedien.at](http://www.industriemedien.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)





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

**AUSTRIAN CLIMATE RESEARCH PROGRAMME**  
*in ESSENCE*