# Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

## A) Projektdaten

| Allgemeines zum Projekt | |
|---|---|
| **Kurztitel:** | GLADE |
| **Langtitel:** | GravitationaL hazards Amplified by Degradation of protection forests and Extreme precipitation episodes |
| **Zitiervorschlag:** | Lexer et al. 2019. GravitationaL Hazards Amplified by Degradation of protection forests and Extreme precipitation episodes |
| **Programm inkl. Jahr:** | ACRP 8th Call, 2015 |
| **Dauer:** | 01.05.2016 bis 30.09.2018 |
| **KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:** | Universität für Bodenkultur Wien |
| **Kontaktperson Name:** | Manfred J. Lexer |
| **Kontaktperson Adresse:** | Institut für Waldbau<br>Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Wien |
| **Kontaktperson Telefon:** | 0043 (0)1 47654 91316 |
| **Kontaktperson E-Mail:** | mj.lexer@boku.ac.at |
| **Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):** | Umweltbundesamt (Wien)<br>Austrian Institute of Technology (AIT) (Niederösterreich) |
| **Schlagwörter:** | Hangrutschung, Klimawandel, Niederschlagsschwellenwerte, Schutzwald |
| **Projektgesamtkosten:** | 299.992 € |
| **Fördersumme:** | 299.992 € |
| **Klimafonds-Nr:** | KR15AC8K12598 |
| **Erstellt am:** | 29.06.2020 |

# B) Projektübersicht

## 1 Kurzfassung

Rutschungen sind ein weitverbreitetes Risiko für Infrastrukturanlagen. Der häufigste Auslöser sind extreme Niederschläge entweder in Form von Starkniederschlagsereignissen oder in Form von langandauernden Niederschlagsereignissen. Detaillierte Analysen des Zusammenhangs zwischen Rutschungsereignissen und Niederschlagsmustern gibt es bisher nur in sehr beschränktem Ausmaß. Zusätzlich ist der Einfluß von Waldvegetation auf das Rutschungsrisiko von hohem Interesse.

Als Ziele von GLADE wurden initial definiert, die mittel- bis langfristigen Auswirkungen eines Klimawandels auf das Hangrutschungsrisiko und die Gefährdung von Infrastruktur abzuschätzen.

Dies umfasst insbesondere (1) die Simulation der zukünftigen Waldentwicklung unter besonderer Berücksichtigung von Borkenkäfer- und Sturmkalamitäten und die damit zusammenhängende Schutzwirkung gegenüber Hangrutschungen, (2) die Ableitung von Schwellenwerten für Niederschlagsereignisse basierend auf empirischen Daten zu Niederschlag und Rutschungsereignissen, (3) die Kombination von Waldwirkung, Schwellenwerten und Infrastruktur zu einer Vulnerabilitätsanalyse für alle Bezirke in Österreich.

In einer online-Umfrage unter Stakeholdern von Infrastrukturabteilungen der Landesregierungen, der Forstabteilung sowie dem Forsttechnischen Dienst der der Wildbach- und Lawinenverbauung wurde die Bedeutung des Themas bestätigt.

Die Evaluierung des Waldökosystemmodells PICUS zur Simulation von Waldentwicklung und Störungsregimen bestätigte frühere Erfahrungen. Die Simulation von Borkenkäferstörungen für den gesamten österreichischen Ertragswald zeigte gute Übereinstimmung mit beobachteten Schadensdaten. Für Sturmstörungen stellte sich heraus, dass die verfügbaren Sturmproxies nicht ausreichten, um die räumlich-zeitlichen Muster von Sturmschäden in Österreich in der Periode 2005-2013 zu reproduzieren. Da aber Sturmschäden auch das Auftreten und die Intensität von Borkenkäferschäden beeinflussen, ist von einer weiteren Steigerung der genauigkeit der Borkenkägerstörungen auszugehen, sollten verbesserte Sturmdaten zur Verfügung stehen.

Der "klassische" Moser und Hohensinn (1983) Schwellenwertansatz als Analysetool für die Rutschgefährdung konnte mit den verfügbaren Rutschungsdaten nicht bestätigt warden. Auch andere methodische Verfahren ergaben keine Hinweise auf einen allgemeinen Schwellenwert für Niederschlagsintensität oder –mengen. Wohl aber konnten Hangneigung und Nähe zu Waldflächen als erklärende Variablen für aufgetretene Rutschungen anhand der zur Verfügung stehenden empirischen Rutschungsdaten identifiziert

werden. Eine Folgerung aus den Analysen war, dass die Protokolle zur Aufzeichnung von Rutschungen dringend harmonisiert und die Qualität der Aufzeichnungen erhöht werden sollten.

Der Schwellenwert von Moser-Hohensinn wurde trotzdem zur Analyse der Veränderungen in der Anzahl der Tage, an denen der Schwellenwert in Klimawandelszenarien überschritten wird, verwendet. Regionen, die im Klimawandel erhöhtes Rutschungsrisiko erleben werden sind der Bregenzer Wald, die Karawanken an der Grenze zu Slowenien und der Nordalpenbereich.

In einem Stakeholder Workshop wurden die Erkenntnisse der GLADE Analysen präsentiert und diskutiert. Wichtigste Folgerung für den weiteren Projektverlauf war, dass es nicht sinnvoll ist, angesichts der Unsicherheiten in eine volle Vulnerabilitätsanalyse zu investieren, wie ursprünglich im Projektkonzept vorgesehen. Alle beim Workshop vertretenen Usergruppen (Landesforstdienst, Strassenbauabteilung Bundesland, Wildbach- und Lawinenverbauung, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald und Landschaft (BFW) sahen die präsentierten Einzelkomponenten als relevante Entscheidungsgrundlagen an, und stimmten darin überein, die Integration für Entscheidungsfindung auf lokalem Maßstab besser individuell durchführen zu können.

# 2 Executive Summary

Landslides are a particular wide-spread risk to infrastructure in many regions in Austria. The main natural triggers for landslides in Austria are extreme rainfall events consisting of long lasting and/or heavy precipitation. The relation of precipitation pattern and occurrence of landslides and related thresholds have only been examined for single Austrian subregions so far. In forested landscapes such as in Austria such thresholds may also be related to the status of forests surrounding a potential landslide spot.

According to the project outline the overall aim of the GLADE project is to assess the mid- to long-term impacts of climate change on vulnerability and risk of damage for infrastructure (i.e. roads, railways, electricity grid, buildings and settlements) from landslides for three time slices (2030, 2050, 2085) throughout the 21$^{st}$ century.

This includes (1) to **simulate the future development of Austrian forests** at the spatial resolution of districts from 2010 to 2100 with particular consideration of natural disturbances (bark beetles, storms) and to **derive indicators for the protection services of forests against landslides under** a set of climate change scenarios, (2) to derive **precipitation thresholds** for Austria based on landslide damage data, and forecast exceedance probabilities of those thresholds for time slices 2030/2050/2085 under climate change conditions; (3) to combine indicators of forest protection service provisioning, slope stability and GIS-based data on roads, railways, electricity grid and settlements as well as qualitative

data on exposure to landslides in an **assessment of vulnerability of infrastructure** towards gravitational hazards for all districts in Austria.

An online questionnaire to invited stakeholders from infrastructure departments, forest administration and torrent and avalanche control services confirmed the relevance of the topic and explored opinions among the stakeholders about the future development of landslide risks in a changing climate.

The evaluation of the forest simulation setup showed that initialisation and projection of forest-related processes works well. This finding confirmed earlier studies. While bark beetle damages could be reconstructed well, temporal and spatial accuracy of storm drivers in historic climate records were not sufficient to reproduce the historic pattern of storm damages.

Based on landslide event data from different Austrian provinces the Moser and Hohensinn (1983) duration-intensity precipitation threshold indicating increased landslide risk could not be confirmed. Reasons were, inter alia, weak data quality regarding time and location of the slides in the event data bases. Here, a conclusion was to harmonize and improve the protocols for the inventarisation of landslides.

However, the Moser-Hohensinn threshold was used to analyse precipitation pattern under historic climate and climate change scenarios. Major findings were that an increase in the exceedance of the threshold occurred most frequent along the Northern rim of the Alps, in the west in Bregenzer Wald, and in the south along the Karawanks at the order to Slovenia. In the extreme RCP8.5 scenario a hot spot of exceedances is also the Mur valley south of Graz, the capital city of Styria.

For a subset of the slide events which had better data quality a logistic regression approach was employed to link landslide events/non events with surrounding topography, forest distance and precipitation data. The best model included slope and distance to the nearest forest as significant predictors. Precipitation thresholds could not be identified with this method either.

In a stakeholder workshop the major findings of GLADE were presented and discussed with experts. One of the main conclusions was, not to engage in a fully fledged vulnerability assessment of infrastructure exposed to landslides because of the weak predictive power of the available threshold models. Instead, selected knowledge elements such as protection capacity of forests against landslides and future precipitation pattern should be made available to stakeholders. These elements were considered valuable for decision support. However, the integration at lical level could be better accomplished for experts on site.

# 3 Hintergrund und Zielsetzung

Hangrutschungen stellen in Österreich eine beträchtliche Gefährdung von Infrastruktur wie z.B. Strassen, Bahnanlagen und Siedlungsraum dar. Der häufigste natürliche Auslöser von Hangrutschungen sind extreme Niederschlagsereignisse in Form von Starkregenereignissen oder lange anhaltenden Niederschlägen. Waldvegetation kann Schutzwirkung gegen Hangrutschungen bieten durch Reduktion des wirksamen Niederschlags wegen Interzeptions- und Evaporationsverlusten sowie die mechanische Verankerung und Stabilisierung von Bodenhorizonten durch das Wurzelsystem von Bäumen und Sträuchern.

Im Klimawandel wird die Wahrscheinlichkeit von Hangrutschungen durch das veränderte Niederschlagsregime sowie indirekt über eine möglicherweise verminderte Schutzwirkung von Waldvegetation beeinflusst werden.

Der Zusammenhang von Hangrutschungen und Niederschlagsschwellenwerten einerseits und Waldvegetation andererseits ist in Österreich nur ansatzweise für einzelne Regionen oder auf Fallstudienebene untersucht worden.

Das allgemeine Ziel von GLADE ist es, die mittel-bis langfristigen Auswirkungen eines Klimawandels auf das Risiko von Hangrutschungen und daraus folgende Beeinträchtigung von Infrastruktur zu untersuchen. Dies umfasst insbesondere folgende Teilziele:

(1) Die Simulation der Waldentwicklung unter besonderer Berücksichtigung von Störungen durch Borkenkäfer- und Sturmschäden und Ableitung von Indikatoren für die Schutzwirkung gegenüber Hangrutschungen.

(2) Die Herleitung von Schwellenwerten für Niederschlagsereignisse und die Vorausschau der Übertretenswahrscheinlichkeit für diese Schwellenwerte unter Klimawandelszenarios.

(3) Die Kombination von Schwellenwerten, Schutzwirkung durch Wald und Infrastrukturlageinformation in einer Vulnerabilitätsanalyse.

# 4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

GLADE ist in drei Forschungs-Arbeitspakete (AP2, AP3, AP4), einem Koordinations-AP (AP1) und einem Kommunikations- und Wissenstransfer-AP (AP5) gegliedert.

In AP2 werden Störungsmodelle für die Waldökosystemsimulation an empirischen Schadensdaten evaluiert und der österreichische Wald auf Basis der österreichischen Waldinventur unter historischem Klima und unter Klimawandelszenarien simuliert.

AP3 stellt historische Klimadaten für AP2 und für die Analyse von Niederschlagsschwellenwerten in AP3 zur Verfügung. Ebenso Klimawandelszenarios. Hauptdatenquelle für historische Klimadaten ist das INCA-Datenset der ZAMG. Weiters wurden in AP3 Datensätze zu Hangrutschungen gesammelt und harmonisiert sowie die Analysen von Niederschlagsschwellenwerten durchgeführt.

AP4 erstellt eine GIS-Datenbank für Infrastruktur, die von Hangrutschungen betroffen sein könnte, waldspezifische Indikatoren für Schutzwirkung gegen Hangrutschung auf Bezirksebene, sowie die räumliche Übertretenswahrscheinlichkeit von Niederschlagsschwellenwerten.

**Wichtigste Ergebnisse**

Auf Basis der Österreichischen Waldinventur wurden representative Waldtypen definiert. Das flächenmäßige Auftreten dieser Waldtypen in Höhenzonen in den Bezirken wurde in Form von 1 x 1 km Pixeln berücksichtigt. Jedes Pixel wurde durch einen Hektar dem jeweiligen Waldtyp entsprechenden virtuellen Simulationsbestand repräsentiert (Abb. 1).

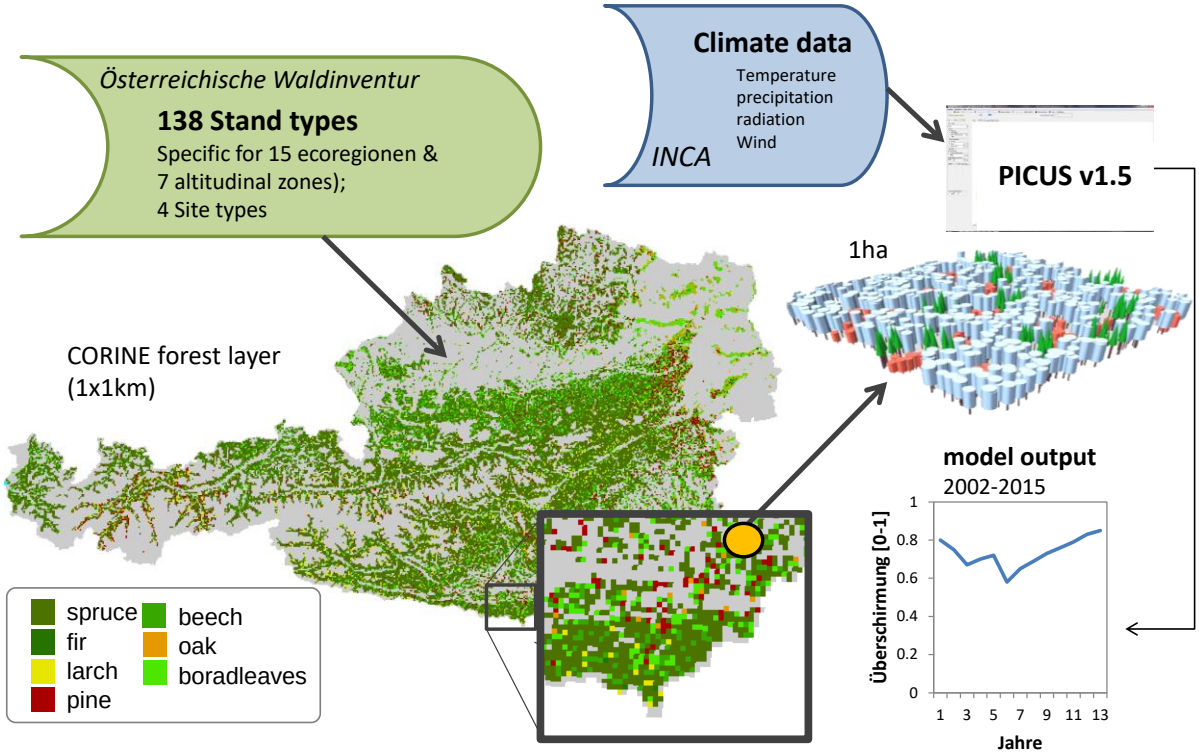


**Abbildung 1.** Schema für die Simulation des österreichischen Waldes. Repräsentative Waldtypen warden den bezirken und Höhenlagen zugeordnet. Innerhalb der Bezirke und Höhenzonen werden die Waldtypen auf 1x1km Pixel zufällig entsprechend ihres relativen Anteils verteilt.

Diese Waldfläche wurde unter dem Klima der Periode 2005-20013 mit dem Waldökosystemmodell PICUS, das Störungsmodule für Borkenkäfer- und Sturmstörungen inkludiert, simuliert. Die simulierten Schäden wurden auf Bezirksebene aggregiert und mit den Schadensmengen des Waldschadensmonitoring-Systems verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass die Borkenkäferschäden in befriedigender Genauigkeit simuliert wurden. Insgesamt wurden 47% der Variabilität in den beobachteten Schadensmengen, die durch Borkenkäferbefall verursacht wurden, durch das Simulationsmodell erklärt.

Die Sturmschäden konnten nicht ausreichend durch die Simulation erklärt werden. Analysen ergaben, dass die verwendeten maximalen Windgeschwindigkeiten sowohl in Bezug auf die absolute Höhe der Windgeschwindigkeiten, als auch in Bezug auf zeitliches und örtliches Auftreten nicht die erforderliche Genauigkeit aufwiesen. Dies zeigte deutlich weiteren Forschungsbedarf auf.

Weiters wurde die gesamte Waldfläche mit diesem Ansatz unter historischem Klima der Periode 1980-2010 sowie unter drei transienten Klimawandelszenarios aus AP3 über insgesamt 100 Jahre simuliert und die Indikatoren in Tabelle 1. bereitgestellt. Als Bewirtschaftungspraxis wurden dabei die derzeitig im österreichischen Wald angewendeten Konzepte unterstellt.

**Tabelle 1.** Indikatoren zur Charakterisierung der Schutzwirkung gegenüber Hangrutschungen.

| Attribut | Characterisierung | [Einheit] |
|---|---|---|
| Volumen | Baumvolumen >7cm | [$m^3$/ha] |
| Grundfläche | Summe der Stammkreisflächen per ha | [$m^2$/ha] |
| Schaden durch Borkenkäfer | Volumen der durch Borkenkäfer getöteten Bäume | [$m^3$/ha*yr] |
| Schaden durch Sturm | Volumen der durch Sturm getöteten Bäume | [$m^3$/ha*yr] |
| Baumartenanteile | Volumsanteile | [0-1] |
| | | [0-1] |
| Schutzindex Hangrutschung (LPI) | Basierend auf Cordonnier et al. (2015) | [0,1,2] |
| Überschirmung | Summe der Baumkronenprojektionen per ha/ 10000 | [%] |

Die Annahme, dass derzeitge Bewirtschaftungspraktiken weitergeführt werden, führt zu relativ stabilen Anteilen der Fichte. Es treten zwar häufige Störungen durch Borkenkäfer auf, diese Ausfälle werden jedoch gemäß heutiger Praxis weitgehend wieder durch Fichte ersetzt. Während inder submontanen Zone die Borkenkäferschäden etwa auf dem Level der letzten 10 Jahre bleiben, nehmen die Schäden in der montanen Höhenzone von ca. 0.4$m^3$ $ha^{-1}$ $yr^{-1}$ auf etwa 1.8$m^3$ $ha^{-1}$ $yr^{-1}$ zu. Simulierte Sturmschäden liegen zwischen 0.5-2.0$m^3$ $ha^{-1}$ $yr^{-1}$.

Der Überschirmungsgrad als relevanter Indikator für Schutz vor Hangrutschungen ist unter historischem Klima in 29 von 64 Bezirken im Mittel unter 80%. Unter Klimawandelbedingungen steigt dies auf bis zu 35 Bezirke an.

Der Hangrutschungsindikator LPI nimmt in den unteren Vegetationszonen im Klimawandel schlechtere Werte an, in der subalpinen Zone hingegen verbessert sich der Indikatorwert. Durch längere Vegetationsperioden und günstigere Wachstumsbedingungen in den subalpinen Regionen schliesst sich hier oftmals das Kronendach, während in den tiefer liegenden Regionen durch erhöhte Baummortalität vor allem in Fichtenwäldern Tendenzen zur Auflösung der Bestandesstrukturen bestehen.

Im AP3 wurden 2 historische Klimadatensätze aufbereitet und für die Analysen zur Verfügung gestellt. Für die Waldsimulationen in AP2 wurden Temperaturminima, -maxima und –mittelwerte, Luftfeuchte, Niederschlag, Globalstrahlung sowie die maximale Windgeschwindigkeit auf Tagesbasis in 1x1km grids bereitgestellt. Für die Analyse von Niederschlagsschwellenwerten für die Auslösung von Hangrutschungen wurden Niederschlagszeitriehen in Tagesauflösung aus dem SPARTACUS Datensatz für die Periode 1961-2003, für die Zeit nach 2003 aus dem INCA Datensatz, in 1x1km Auflösung in die Fläche interpoliert. Als Herausforderung erwies sich die Bereitstellung von

Windgeschwindigkeiten. Die im INCA Datensatz enthaltenen Maximalwerte mussten mehrfach korrigiert werden, um annähernd realistischen Werten und zeitlich-/räumlichen Verteilungen von Sturmereignissen zu entsprechen. Diesselbe Prozedur wurde auch auf die vier Klimawandelszenarios, die für die GLADE Analysen ausgesucht wurden, durchgeführt.

Die Auswahl der Klimawandelszenarios berücksichtigte die mögliche Bandbreite des zukünftigen Klimas. Aus dem EUROCORDEX EUR11 Ensemble wurden mittlere Szenarios für RCP4.5 und RCP8.5 Emmissionsszenarios gewählt. Zusätzlich wurden das feuchteste und das wärmste RCP8.5 Szenario aufbereitet. Zum zeitpunkt der Projektdurchführung waren keine auf RCP2.6 basierenden Szenariodaten vorhanden. Dadurch konnten keine Klimawandelszenarien verwendet werden, die formal den in den Abkommen von paris getroffenen Vereinbarungen entsprechen.

Abbildung 2 zeigt die Klimawandelszenarios im Kontext aller ÖKS15 Szenarios.

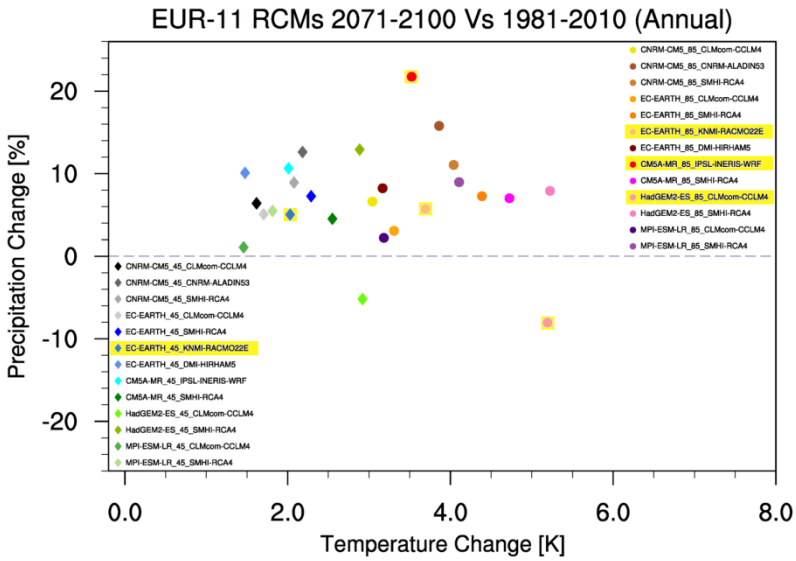


**Abbildung 2.** Veränderungen in Temperatur und Niederschlag verschiedener ÖKS15 Klimawandelszenarios am Ende des 21. Jahrhunderts (Periode 1981-2010 vs. 2071-2100). Die ausgewählten GLADE Szenarios sind gelb markiert.

Abbildung 3 zeigt die zur Verfügung stehenden Rutschungsereignisse. 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. Datenquelle und –qualität variierte stark zwischen den einzelnen Datensätzen. Zeitliche und tw. die räumliche Verortung wiesen hohe Unsicherheiten auf. Wesentliche Ursachen, die das Analysekonzept stark beeinflussten waren die zwischen den Bundesländern stark variierenden Attributssätze zu den erhobenen Hangrutschungen sowie das Fehlen einer genauen zeitlichen Zuordnung der Rutschereignisse in der Niederösterreichischen Datensammlung.

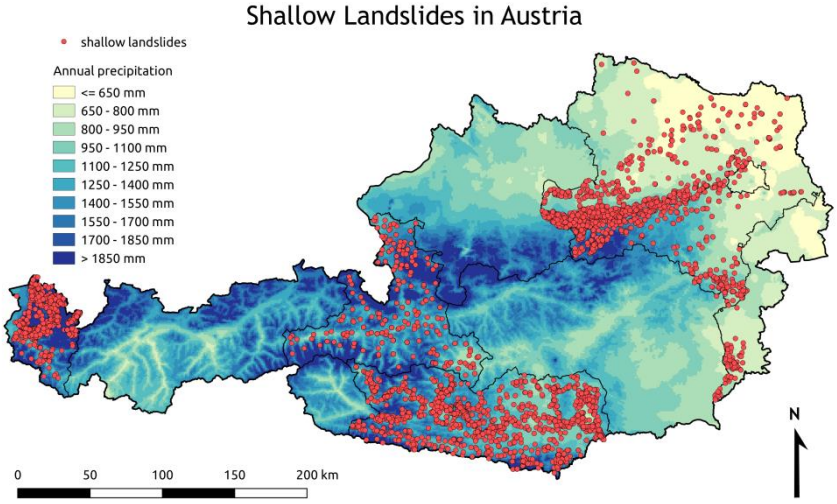


**Abbildung 3.** Kartendarstellung der zur Verfügung stehenden Hangrutschungsereignisse.

## Schwellenwert von Moser-Hohensinn

Alle Versuche, den Schwellenwertansatz von Moser-Hohensinn mit den zur Verfügung stehenden Rutschungsdaten zu verifizieren, scheiterten. Ob dies auf die Inhomogenität der Daten oder die mangelnde Verallgemeinerbarkeit des Ansatzes selbst zurückzuführen ist, kann nicht zweifelsfrei beantwortet werden.

$M = (41.66h^{-0.77})h$

M ist dabei die Niederschlagssumme, h die Anzahl der berücksichtigten Stunden. Dieser Ansatz ergibt bei 24h einen Schwellenwert von 86.5mm, bei 48h einen Wert von 101.5mm und 111.4mm bei 72 Stunden Niederschlagsdauer. Der Erklärungswert dieses Ansatzes für die Rutschungsereignisse war gering. Trotzdem wurde die Formel zur Berechnung der Übertretenswahrscheinlichkeit in den Klimaszenarios verwendet. In Abbildung 4 wird dieser Indikator als Karte gezeigt.

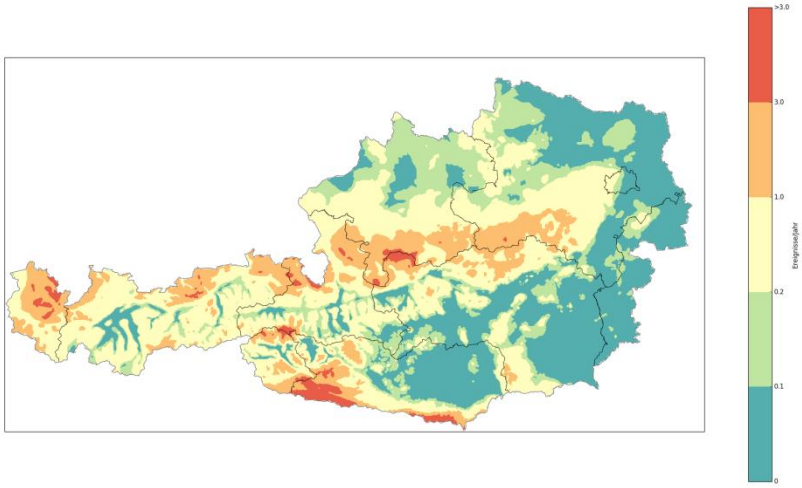

**Abbildung 4.** Anzahl der Tage an denen der Schwellenwert von Moser-Hohensinn überschritten wird, unabhängig ob für 24h, 48h oder 72h. Periode 1981 - 2010. Dataquelle: SPARTACUS. Blaugrau = 0, Rot >= 3.

In Abbildung 5 wird dargestellt, wie sich dieser Indikator in den 4 Klimawandelszenarios verhält. Er nimmt in allen Szenarios zu.

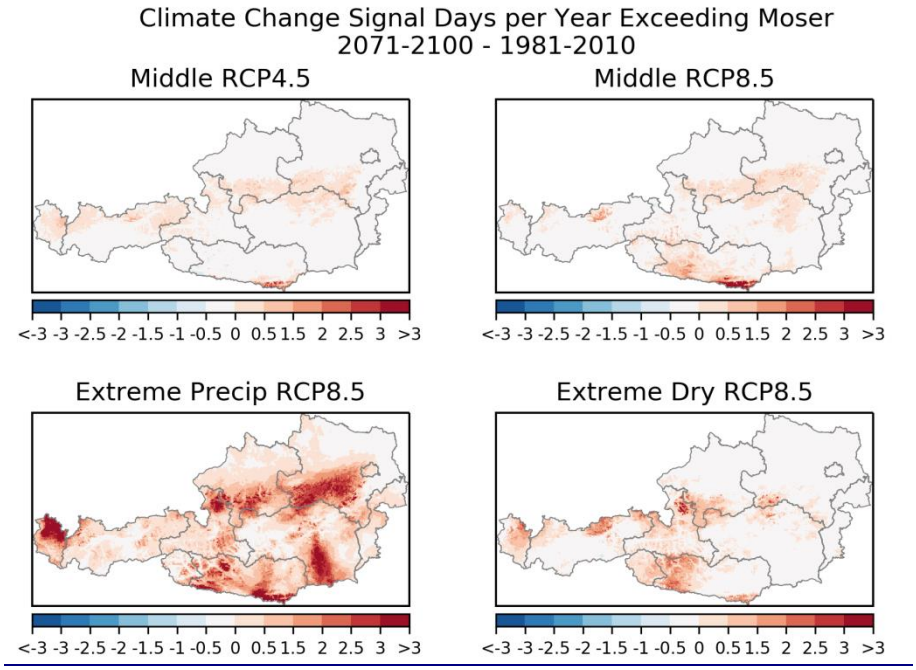


**Abbildung 5.** Vergleich der Klimawandelszenarios. Gezeigt wird die Differenz in der Anzahl der Tage über dem Moser-Hohensinn Schwellenwert (24, 48 oder 72h) zwischen der Periode 1981-2010 und 2071-2100.

## Rutschwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Terrain- und Niederschlagsparametern

Der Niederschlag wurde in verschiedenen korrelativen und Regressionsmethoden entweder als kumuliertes Volumen (über 3-28 Tage vor einem Ereignis) oder als

Abweichung von einem langjährigen Mittelwert in der jeweiligen Region verwendet. An Terrainparametern wurden die Seehöhe, Neigung, Orientierung, Topographie (Tal, Ebene, Unterhang, Mittelhang, Oberhang, Kuppe), die Entfernung von Wald und die Geologie verwendet. Diese Merkmale wurden von einem 10x10km Geländemodell abgeleitet.

Die Punkte mit "non-events" wurden im Umkreis von 300m um ein Ereignis zufällig ausgewählt. Mittels eines logistischen GLM und mit Klassifikationsbäumen wurde versucht, einflussreiche Parameter auf die Rutschwahrscheinlichkeit zu finden. Auch mit diesen Methoden war es nicht möglich, einen allgemeinen Schwellenwert für Niederschlagsereignisse vor einem Rutschereignis zu identifizieren. Die besten Prädiktoren für einen Hangrutsch waren in Kombination die Neigung und die Nähe zu einer Waldfläche. Je steiler, desto grösser das Risiko eines Rutsches, je näher bei Wald, desto geringer das Risiko. Allgemein war aber auch hier der Erklärungswert der Modelle niedrig.

**Stakeholder Workshop**

In einem abschliessenden Workshop mit Stakeholdern (alle Teilnehmer hatten auch an der online Umfrage teilgenommen) wurden o.g. Ergebnisse vorgestellt und die Sinnhaftigkeit einer formalin Vulnerabilitätsanalyse diskutiert. Als Ergbnisse des Austauschs wurden protokolliert: (i) das ursprüngliche GLADe Konzept einer "hot spot" Karte ist auf lokaler Ebene wenig praxistauglich. (ii) Die Ergbnisse können nicht als finale Risikoanalyse interpretiert warden, sondern stellen wichtige Information dar, auf deren Basis Experten dann lokale spezifische Einschätzungen vornehmen können. (iii) Eine monetäre Abschätzung des Gefährdungspotentials ist angesichts der hohen Unsicherheiten nicht sinnvoll.

# 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

**Brauchbare Sturmproxy-Daten**: derzeit sind keine sinnvoll verwendbaren Sturmproxies verfügbar um das zeitlich-räumliche Muster der aufgetretenen Sturmereignisse in Österreich zu reproduzieren.

**Rutschereignisse**: Die verfügbaren Datenbasen zu Rutschungsereignissen 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.

Der Schwellenwert von Moser-Hohensinn konnte mit den verfügbaren Daten weder verifiziert noch verbessert werden.

Die Zahl der Tage, an denen der Mosersche Schwellenwert überschritten wird, stieg in den Klimawandelszenarien deutlich an.

Andere regressionsanalytische Versuche, Niederschlagsschwellenwerte zu identifizieren, schlugen ebenfalls fehl. Die stärksten Prädiktoren von Rutschungen waren die Terrainparameter Neigung und Nähe zum Wald.

Das **Störungsmodul** zur Simulation von Borkenkäferschäden im PICUS Simulationssystem erwies sich als zuverlässig.

Simulationen deuten an, dass unter Klimawandelbedingungen die Störungen durch Borkenkäfer zunehmen werden. Dies nicht unbedingt in den submontanen Höhenlagen, sondern in montanen Regionen. Dies wird regionsweise negative Auswirkungen auf die Schutzwirksamkeit von Waldflächen haben.

# C) Projektdetails

## 6 Methodik

Die in GLADE zur Anwendung gelangenden Methoden wurden bereits in o.g. Kapiteln vorgestellt. Insgesamt kann gesagt werden, dass in AP2 „state-of-the-art" Waldökosystemmodelle und Störungsmodule verwendet wurden. Die empirische Datenbasis, die zur Herstellung des Ausgangszustandes des österreichischen Waldes verwendet wurde, ist exzellent. Der methodische Ansatz, die repräsentativen Waldtypen bezirks- und höhenzonenweise in 1x1km Pixeln zu initialisieren kann als innovativ bezeichnet werden. Damit wurde die räumlich explizite Simulation von Borkenkäfer- und Sturmstörungen ermöglicht.

Eine wichtige Erkenntnis des Projektes war, dass derzeit verfügbare Sturmproxies nicht sinnvoll verwendet werden können, um das räumlich-zeitliche Muster von Sturmereignissen in Österreich zu rekonstruieren.

Der „klassische" Schwellenwertansatz von Moser-Hohensinn konnte trotz sehr viel Aufwand bei Erstellung der Datengrundlagen nicht bestätigt werden. Hier sind unbedingt detailliertere Analysen zu empfehlen. Die angewendeten Regressionstechniken entsprechen dem Stand des Wissens.

Die Methoden zur Interaktion mit Stakeholdern waren dem GLADE Konzept angepasst und entsprechen dem Stand des Wissens. In der Frühphase des Projektes wurde anstelle eines Workshops eine online-Umfrage durchgeführt, abschliessend dann ein intensiver Workshop mit Schlüsselstakeholdern.

## 7 Arbeits- und Zeitplan

Das GLADE Projekt wurde ursprünglich mit 24 Monaten geplant und am 01.05.2016 begonnen. Wegen Mehraufwand bei der Herstellung der Rutschungsdatenbank und der Sturmproxies wurde das Projekt Ende 2017 um 6 Monate bis Oktober 2018 kostenneutral verlängert. Projektende war damit der 30.09.2018.

Insgesamt wurden 8 physische Projekttreffen mit allen Projektpartnern abgehalten. Zusätzlich fanden häugige bilaterale Treffen zwischen einzelnen Projektpartnern statt.

# 8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Rammer, W., Leidinger, D., Formayer, H., Lexer, M.J. 2018. Simulating wind and bark beetle disturbances in Austria. 19. Österreichischen Klimatag 2018; 23.-25 April 2018, Salzburg.

Offenthaler I., Felderer A., Formayer H., Glas N., Leidinger D., Leopold P., Rammer, W., Schmidt, A., Ch. Stephan, Lexer M.J. 2018. A slippery slope. 19. Österreichischen Klimatag 2018; 23.-25 April 2018, Salzburg

Lexer, M.J., Rammer, W., Leidinger, D., Formayer, H., 2019. Simulating wind and bark beetle disturbances in Austria. IUFRO World Congress. (abstract; oral presentation)

Offenthaler et al. 2019. Model drift: theoretical and practical vulnerabilities in vulnerability mapping. sustainability, Special Issue "Climate Risk and Vulnerability Mapping" (Dec. 2019). (in preparation)

Lexer, M.J. Leidinger, D., Formayer, H., Rammer, W. 2019. Simulating wind and bark beetle disturbances in Austria (manuscript in preparation, to be submitted to Ecological Modelling)

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

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechtinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.