Der OAK-Wald im Klimawandel

Eine Simulationsstudie der zukünftigen Walddynamik für die Bestände Brünischart, Fronwald, Herrenwald, Tröligerwald und Schwarzstock

Kurzbericht

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

April 2019

Dr. Timothy Thrippleton & Prof. Dr. Harald Bugmann

Professur Waldökologie, ETH Zürich

Universitätstrasse 16, 8092 Zürich

Kurzzusammenfassung

Die Auswirkungen des Klimawandels werden zunehmend spürbar und sollten für die Waldplanung berücksichtigt werden. Für fünf Bestände (submontan: Brünischart, untermontan: Fronwald, obermontan: Herrenwald, hochmontan: Tröligerwald und subalpin: Schwarzstock) wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder der OAK Schwyz mit Hilfe des Waldmodelles ForClim abgeschätzt. Als Klimawandel-Szenarien wurden die IPCC-Szenarien RCP3PD ('schwaches' Klimawandelszenario aufgrund von starken Emissionsreduktionen) und A2 ('starkes' Klimawandelszenario aufgrund fehlender Klimaschutzmassnahmen) verwendet. Zudem wurde untersucht, wie sich die Walddynamik unter schwachem und starkem Wildverbiss sowie mit und ohne Waldbewirtschaftung entwickelt.

Die Ergebnisse zeigen grosse Unterschiede zwischen den Klimawandel-Szenarien hinsichtlich der Entwicklung der Waldstruktur und Artzusammensetzung in den verschiedenen Höhenlagen. Während die tiefer gelegenen Bestände (Brünischart und Fronwald) zunehmend von trockenheitsbedingtem Baumsterben betroffen sind, profitieren Bestände in den Hochlagen generell von der Erwärmung.

Die Veränderungen in den tieferen Lagen gehen mit einer Verschiebung der Artenzusammensetzung einher, die insbesondere die Linde (unter dem 'schwachen' Klimawandelszenario) und die Waldföhre (unter dem 'starken' Klimawandelszenario) begünstigen. Eine besondere Rolle kommt der Waldbewirtschaftung zu, welche (im Vergleich zu den Szenarien ohne Bewirtschaftung) eine deutlich frühere Umstellung auf klima-angepasste Baumarten fördert und somit nachteilige Effekte des Klimawandels im Falle des 'schwachen' Klimawandelszenarios abmildern kann. Im Falle des 'starken' Klimawandelszenarios treten jedoch für das späte 21. Jahrhundert drastische trockenheitsbedingte Einbrüche der Bestandes-Grundfläche sowie der Schutzfunktion an den tiefer gelegenen Beständen auf.

Eine Reihe exemplarischer Störungsszenarien (Windwurf und Borkenkäferbefall) zeigte zudem die Bedeutung einer konsequenten Waldbewirtschaftung (Gebirgsplenterung) und eines verringerten Wildverbisses für eine umfangreichere Vorverjüngung im Bestand auf, denn nur so erfolgte die Wiederbewaldung der Störungsflächen hinreichend rasch.

Zusammenfassend weisen die Simulationen auf eine besondere Gefährdung der Tieflagenbestände durch zunehmende Trockenheitsereignisse hin und verdeutlichen den gravierenden Unterschied zwischen einem 'schwachen' (RCP3PD) und 'starken' (A2) Klimawandelszenario. Während die Auswirkungen eines 'schwachen' Szenarios eher gradueller Natur sind und negative Auswirkungen durch die Waldbewirtschaftung abgemildert werden können, führen die Auswirkungen eines 'starken' Szenarios z.T. zu abrupten und drastischen Einbrüchen und einem erheblichen Verlust der Schutzfunktion. Eine Einhaltung des Pariser Klimaschutzabkommens (gleichbedeutend mit einem 'schwachen' Klimawandelszenario) ist daher auch für die Gebirgswälder der OAK und den Erhalt ihrer Schutzfunktion von grosser Bedeutung.

Einleitung

Der Klimawandel wird in der Schweiz voraussichtlich zu wärmeren Bedingungen und erhöhter Sommertrockenheit führen (Rigling et al., 2016; Leuch et al., 2017). Dies führt zu einer Verschiebung der Standortbedingungen und der Konkurrenzverhältnisse zwischen den Baumarten und kann eine starke Veränderung wichtiger Waldfunktionen (Zuwachs, Schutzfunktion, etc.) mit sich bringen.

Für die Waldungen der OAK, welche einen grossen Höhengradienten (435 m bis 1900 m ü.N.N, submontane bis subalpine Höhenstufe) sowie einen ausgeprägten Niederschlagsgradienten (ca. 1100 mm bis > 2000 mm Jahresniederschlag) umfassen, ist besonders der Erhalt der Schutzfunktion (Steinschlag, Lawine) von grossem Interesse.

Im vorliegenden Projekt wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf die OAK-Waldungen anhand von fünf Beständen in verschiedenen Höhenstufen (submontan, untermontan, obermontan, hochmontan und subalpin) mit Hilfe eines dynamischen, prozessbasierten Waldmodelles untersucht, um folgende Fragen zu klären:

(1) Wie entwickelt sich diese Wälder in den nächsten 150 Jahren unter verschiedenen Klimaszenarien ('schwaches' und 'starkes' Klimawandelszenario)?
(2) Wann werden Klimawandel-bedingte Veränderungen auftreten, und wie gross wird ihr Ausmass sein?

Um weitergehende Aussagen treffen zu können, wurden die Simulationen für die fünf Bestände für verschiedene Szenarien durchgeführt:

(1) unter gegenwärtigem Klima sowie unter zwei gegensätzlichen Klimawandelszenarien (RCP3PD: 'schwaches' Szenario; A2: 'starkes' Szenario)
(2) mit und ohne Bewirtschaftung
(3) unter geringem und starkem Verbissdruck.

Material und Methoden

Waldbestände

Der Waldbestand Brünischart (submontan) befindet sich auf einem flachgründigen, südexponierten Hang auf einer Höhe von ca. 700 m ü.N.N. (Koordinaten 2'685'978, 1'206'187; CH1903+ /LV95; siehe Abb. 1) und wird von Traubeneichen (*Quercus petraea*) und Edellaubbaumarten dominiert. Der Bestand ist mit einer mittleren Jahresniederschlagssumme von < 1200 mm und Jahresmitteltemperaturen von ca. 8.6 °C der wärmste und trockenste der fünf Bestände.

Der Bestand Fronwald (Riemenstalden) befindet sich auf einer Höhe von 1000 m ü.N.N. (Koordinaten: 2'691'008, 1'201'155; CH1903+ /LV95; siehe Abb. 1) und wird von der Tanne (*Abies alba*) und Fichte (*Picea abies*) dominiert. Im Vergleich zu Brünischart sind die Jahresmitteltemperaturen (6.1 °C) aufgrund der höheren Lage deutlich niedriger und Niederschläge (1360 mm) höher. Der Bestand liegt jedoch ebenfalls auf einem relativ steilen, südexponierten Hang mit relativ gering mächtigem Boden.

Der Bestand Herrenwald befindet sich auf einer Höhe von ca. 1200 m ü.N.N. (Koordinaten: 2'695'240, 1'217'831; CH1903+ /LV95; siehe Abb. 1) und zeichnet sich durch eine Dominanz von Tanne und Fichte aus. Im Vergleich zu den beiden tiefer gelegenen Beständen ist der Herrenwald weniger steil und weist einen vergleichsweise tiefgründigen Boden auf, sowie höhere Jahresniederschläge (2000 mm) und niedrigere Jahresmitteltemperaturen (5.0 °C).

Der Bestand Tröligerwald befindet sich auf einer Höhe von ca. 1350 m ü.N.N. (Koordinaten: 2'696'113, 1'202'920; CH1903+ /LV95; siehe Abb. 1) und wird hauptsächlich von der Fichte dominiert. Im Vergleich zu den anderen Beständen zeichnet sich der Tröligerwald durch eine relativ flache Hanglage,

vergleichsweise tiefgründigen Boden sowie hohe Niederschläge (> 2000 mm) und niedrige Jahresmitteltemperaturen (4.7°C) aus.

Der Bestand Schwarzstock befindet sich auf einer Höhe von ca. 1450 m ü.N.N. (Koordinaten: 2'698'254, 1'202'064; CH1903+ /LV95; siehe Abb. 1) an einem steilen, nordexponierten Hang. Dieser fichtendominierte Bestand weist die höchsten Niederschläge (> 2030 mm) und niedrigsten Jahresmitteltemperaturen (< 4.5 °C) der fünf Bestände auf.

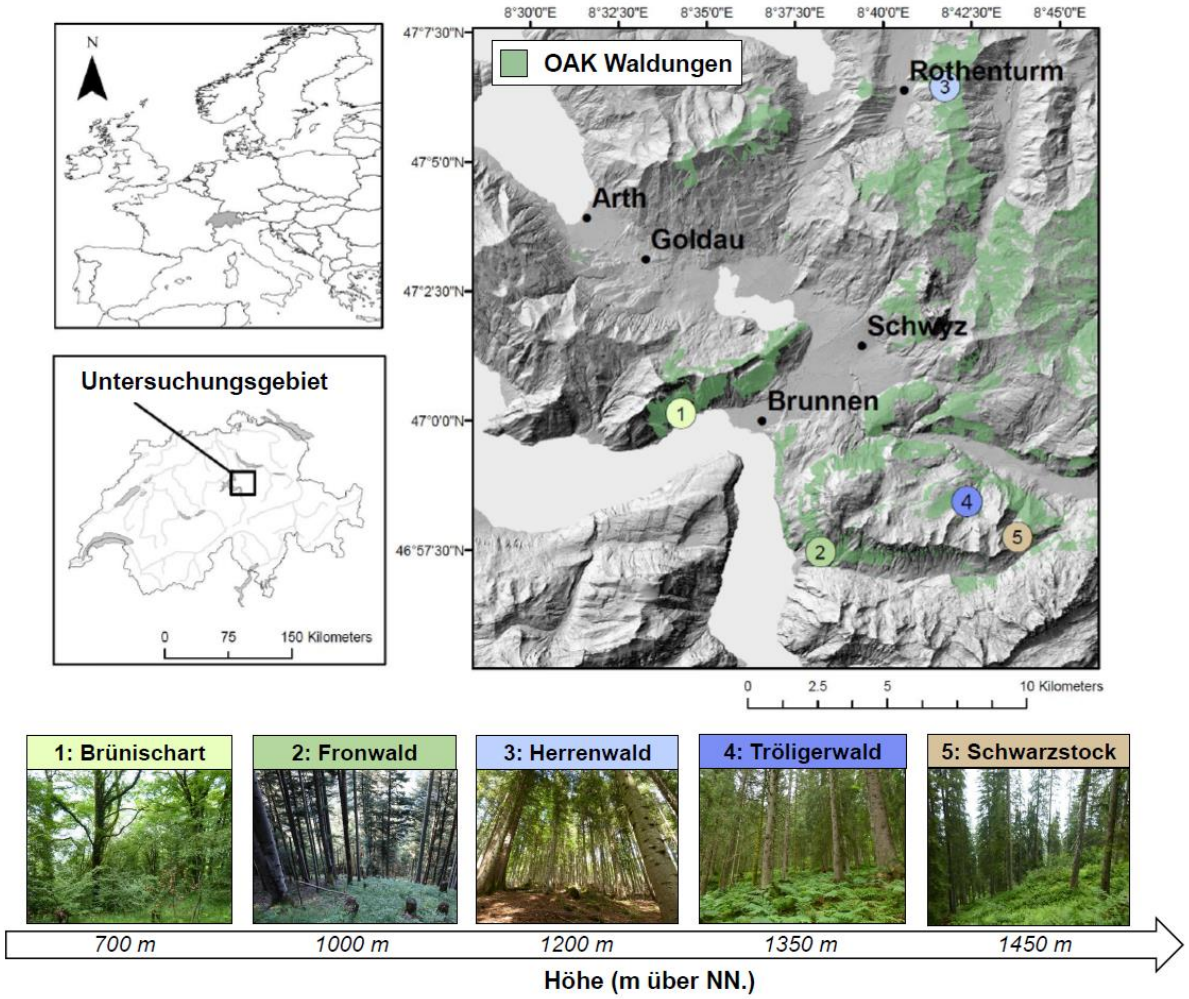

Abbildung 1 Lage der Untersuchungs-Bestände in den Waldungen der OAK Schwyz.

Die Bestandesdaten zur Initialisierung des Modells wurden im Sommer 2018 auf Flächen von 1 ha pro Bestand durch Mitarbeiter der OAK Schwyz durch Vollkluppierung erhoben. Eine Ausnahme bildet dabei der Bestand Fronwald-Riemenstalden, welcher Teil des Netzwerks Waldbaulicher Versuchsflächen der WSL Birmensdorf (Ertragskunde) ist. Für diesen Bestand wurden die Daten der Inventur aus dem Jahr 2012 von David I. Forrester (WSL) zur Verfügung gestellt.

Modell ForClim

ForClim ist ein dynamisches, prozessbasiertes Waldsukzessionsmodell, das die Walddynamik auf einer Vielzahl unabhängiger kleiner Flächen (sog. ‘gaps’) simuliert (Bugmann, 1996; Schmid et al., 2015). In jeder dieser Kleinflächen werden die Verjüngung, das Wachstum und die Mortalität der Bäume in Abhängigkeit von Licht-, Wasser- und Temperaturbedingungen simuliert.

Das Modell ist in verschiedene Untermodelle gegliedert (siehe Abb. 2). Das Wetter wird mit Hilfe eines Wettergenerators berechnet, welcher auf standortspezifischen Klimabedingungen (mittlere Monatstemperaturen und Niederschlagsmengen) basiert. Im Wasser-Submodell wird auf Basis der monatlichen Wetterdaten die Verdunstung berechnet. Unter Einbezug des Wasserrückhaltevermögens des Bodens sowie standortspezifischer Kennwerte für Exposition und Hangneigung wird ein Trockenheitsindex ermittelt. Im Pflanzen-Submodell werden basierend auf den zuvor berechneten bioklimatischen Bedingungen sowie der baumartenspezifischen Eigenschaften (z.B. Schattentoleranz, Trockentoleranz, Wärmeansprüche, Lebensdauer, etc.) Verjüngung, Wachstum und Mortalität der Baumkohorten simuliert.

Die Simulationen wurden mit einer neu entwickelten Version des Modelles (ForClim 4.0.1) durchgeführt, welches überarbeitete Wachstumsparameter der Baumarten und ein überarbeitetes Verjüngungs- und Mortalitätsmodell beinhaltet. Eine detaillierte Modellbeschreibung und Modellvalidierung anhand empirischer Daten ist derzeit in Veröffentlichung (Huber et al., in Überarbeitung).

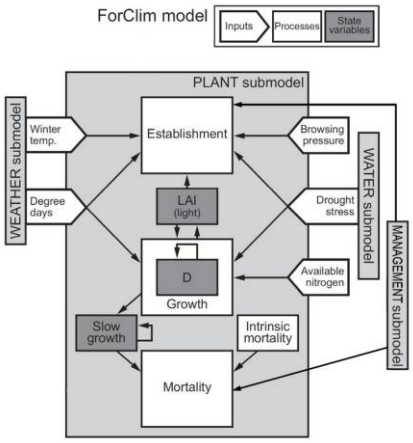

Abbildung 2 Konzeptioneller Aufbau des Waldmodelles ForClim (Rasche et al., 2012; modifiziert)

Klima-Daten

Für die Simulation mit ForClim wurden Klimadaten für das gegenwärtige Klima aus der DAYMET-Datenbank der WSL verwendet, welche kleinräumig interpolierte Klimadaten mit einer Auflösung von 100m x 100m für die gesamte Schweiz zur Verfügung stellt (https://www.wsl.ch/de/projekte/climate-data-portal.html). Die Daten umfassen eine Zeitreihe von 1931 bis 2017 (Portner, 2010). Auf Basis der DAYMET Daten wurden monatliche Mitteltemperaturen, mittlere Niederschlagssummen und deren Standardabweichungen berechnet, welche als Eingangsdaten für den Wettergenerator von ForClim dienen.

Klimwandelszenarien

Die Klimawandelsimulationen wurden für zwei Szenarien durchgeführt, welche die Spannbreite von minimalen bis maximalen Emissionsszenarien abdecken: das Szenario RCP3PD (‘schwaches’ Klimawandelszenario, drastische Verminderung globaler Emissionen), sowie das Szenario A2 (‘starkes’ Klimawandelszenario, keine expliziten Massnahmen zum Klimaschutz») (Leuch et al., 2017).

Aus den Emissionsszenarien ergeben sich folgende Temperatur- und Niederschlagsänderungen für die Schweiz bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (Periode 2070-2099) im Vergleich zur Periode 1980-2009 (Leuch et al., 2017):

- **RCP3PD**: Zunahme der Jahresmitteltemperatur um 1.5°C und Abnahme des Jahresniederschlages um 10%
- **A2**: Zunahme der Jahresmitteltemperatur um 4°C und Abnahme des Jahresniederschlages um 25%.

Für die Simulationen wurde angenommen, dass die Korrelation zwischen Temperatur und Niederschlag über die Zeit unverändert bleibt. Für die genannten Klimaveränderungen wurde ein linearer Verlauf zwischen 2018 und 2100 angenommen. Für Simulationen über das Jahr 2100 hinaus wurde angenommen, dass keine weitere Klimaveränderung stattfindet (was nicht realistisch ist, aber mangels weitergehender Szenarien-Daten nicht anders umgesetzt werden konnte).

Bewirtschaftung

Für die Bewirtschaftung der Bestände wurde das ForClim-Modul für die kleinräumige Gebirgsplenterung verwendet. Nach Beginn der Simulation (Jahr 2018) wurde der erste Eingriff im Jahr 2019 durchgeführt, gefolgt von weiteren Eingriffen alle 20 Jahre. Für die Bestände Brünischart und Fronwald wurde ein Zielvolumen von 15% pro Eingriff sowie ein Zieldurchmesser von 40 cm für die Fichte und 60 cm für alle anderen Arten angenommen. Für die Bestände in höheren Lagen wurde zuerst ein stärkerer Eingriff (Zielvolumen von 25%, Zieldurchmesser von 12 cm für alle Arten), gefolgt von weiteren schwächeren Eingriffen (15% Zielvolumen mit Zieldurchmesser von 40 cm für die Fichte und 60 cm für alle anderen Arten) durchgeführt. Es wurde angenommen, dass die Bewirtschaftung ausschliesslich mit Naturverjüngung arbeitet, d.h. es wurden keine Pflanzungen simuliert.

Verbiss-Szenarien

Um die Auswirkung verschieden hohen Verbissdrucks abzuschätzen, wurden die Simulationen mit zwei Verbiss-Intensitäten (ForClim-Parameter *kBrPr*) durchgeführt: (1) schwacher Verbiss (*kBrPr* = 10) und (2) starker Verbiss (*kBrPr* = 80). Es wurde angenommen, dass die Verbiss-Intensität über den gesamten Simulationszeitraum konstant bleibt.

Simulationen

Die ForClim-Simulationen wurden mit den gemessenen Bestandesstrukturen (siehe oben) initialisiert und die Waldentwicklung über einen Zeitraum von 150 Jahren für folgende Szenarien simuliert:

- **Klima**: (1) gegenwärtig, (2) ‘schwaches’ Szenario RCP3PD, (3) ‘starkes’ Szenario A2
- **Bewirtschaftung**: (1) ohne Eingriffe, (2) mit Bewirtschaftung
- **Verbiss**: (1) schwache Verbiss-Intensität, (2) starke Verbiss-Intensität

Zudem wurde für jeden Bestand und jedes Klimaszenario jeweils eine Simulation für die potentielle natürliche Vegetation (‘**PNV’**, Artzusammensetzung im Gleichgewicht mit dem Klima, ohne menschliche Beeinflussung) simuliert. Diese Simulationen wurden für einen Zeitraum von 1000 Jahren (ohne Bewirtschaftung, schwache Verbiss-Intensität) durchgeführt.

Um die Wiederbewaldung nach **Störungsereignissen** zu untersuchen, wurden für den fichtendominierten Bestand Tröligerwald zwei exemplarische Störungsszenarien simuliert: (1) Windwurf und (2) Borkenkäfer-Befall. Für die Störung durch Windwürfe würde angenommen, dass alle Baumarten mit einem Durchmesser > 10 cm betroffen sind, während für die Störung durch Borkenkäfer nur Fichten mit einem Durchmesser > 15 cm betroffen sind. Um die Auswirkung verschiedener Auftretens-Zeitpunkte zu untersuchen, wurden die Simulationen unter einem ‘starken’ Klimawandelszenario (A2) zu zwei unterschiedlichen Störungszeitpunkten (Jahr 2030 und 2080) simuliert.

Ergebnisse

a) Klimawandelszenario RCP3PD ('schwaches' Szenario)

Die Simulationsergebnisse für das 'schwache' Klimawandelszenario zeigen nur relativ geringe Änderungen der Bestandes-Grundfläche, jedoch z.T. deutliche Verschiebungen der Baumarten-Zusammensetzungen bis zum Jahr 2150 (Abb.3, vgl. 'Gegenw. Zustand' und 'Zuk. Zustand'). Die Artenverschiebungen (v.a. eine Zunahme von *Tilia cordata* und *Fagus sylvatica*) waren in den niederen Lagen (Brünischart und Fronwald) stärker ausgeprägt, in höheren Lagen trat eine leichte Verschiebung hin zu einem höheren Anteil an Laubbaumarten auf (v.a. mehr *Fagus sylvatica*). Die Ergebnisse der PNV-Simulationen für Brünischart und Fronwald weisen darauf hin, dass es sich bei diesen Änderungen um den Beginn einer langfristigen Verschiebung der Artendominanz handelt. Simulationen 'mit Waldbewirtschaftung' wiesen einen generell höheren Anteil an Laubbaumarten (z.B. *Fagus* und *Acer*) im Jahr 2150 auf. Dies deutet auf einen früheren Übergang zu einer Artzusammensetzung im Gleichgewicht mit dem Klima hin (Abb.3, vgl. 'Ohne Bewirtschaftung' und 'Mit Bewirtschaftung').

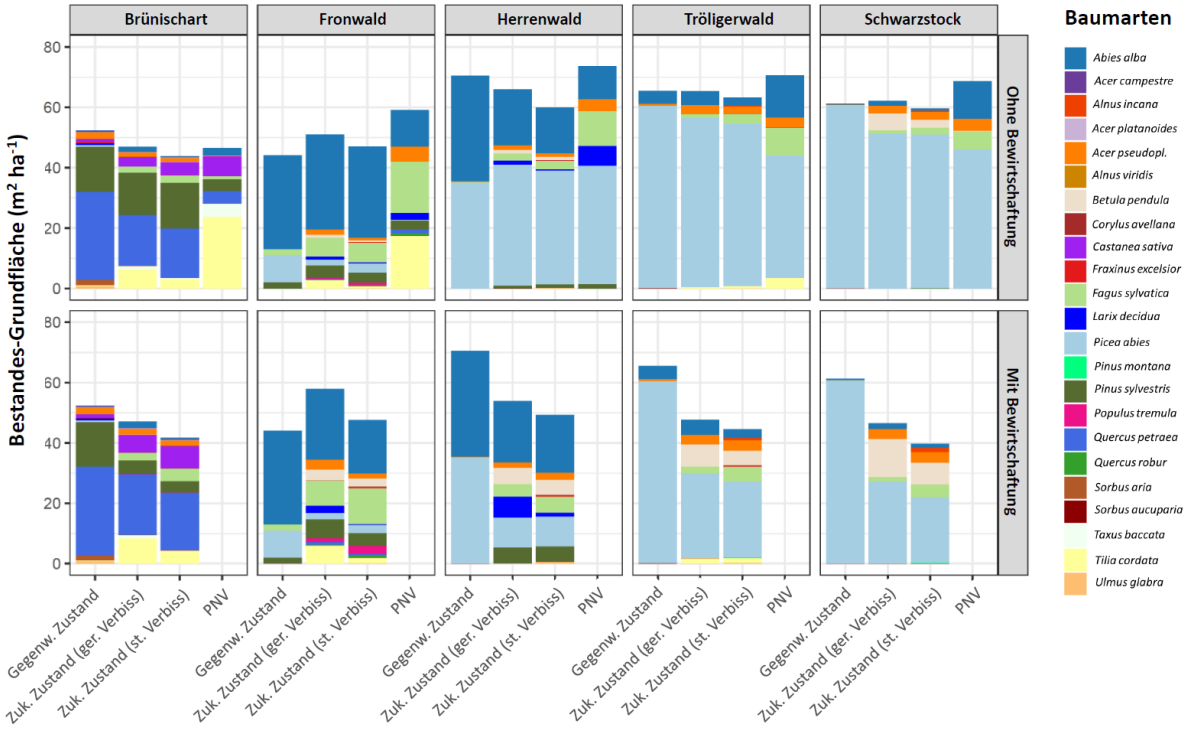

Abbildung 3 Übersicht Simulationsergebnisse (Bestandes-Grundfläche, Artenzusammensetzung) für das 'schwache' Klimawandelszenario (RCP3PD), ohne Bewirtschaftung (obere Reihe) und mit Bewirtschaftung (untere Reihe). 'Gegenw. Zustand': gemessene Initial-Bedingungen zu Beginn der Simulation (Jahr 2018), 'Zuk. Zustand': Bestandeszustand für das Jahr 2150 (für 'geringen Verbiss' und 'hohen Verbiss'), PNV: potentielle natürliche Vegetation (Zustand am Ende einer 1000-jährigen Simulation unter zukünftigen Klimabedingungen).

b) Klimawandelszenario A2 ('starkes' Szenario)

Für das 'starke' Klimawandelszenario kam es in den tieferen Lagen (Brünischart und Fronwald) zu drastischen Rückgängen der Grundfläche, während die Bestände der höheren Lagen bis zum Jahr 2150 eine Zunahme der Grundfläche aufwiesen (Abb. 4). Insbesondere für Brünischart trat eine grundlegende Änderung der Bestandesstruktur und Artzusammensetzung von einem zuvor eichendominierten Bestand hin zu einem offenen Waldföhrenbestand (*Pinus silvestris*) auf, der sich durch eine sehr geringe Grundfläche (< 10 m^2 ha^{-1}) auszeichnete. In Bezug auf die Artenzusammensetzung wiesen alle anderen

Bestände eine deutliche Zunahme im Laubholzanteil auf (insbesondere Linde im Fronwald und Buche in den höher gelegenen Beständen).

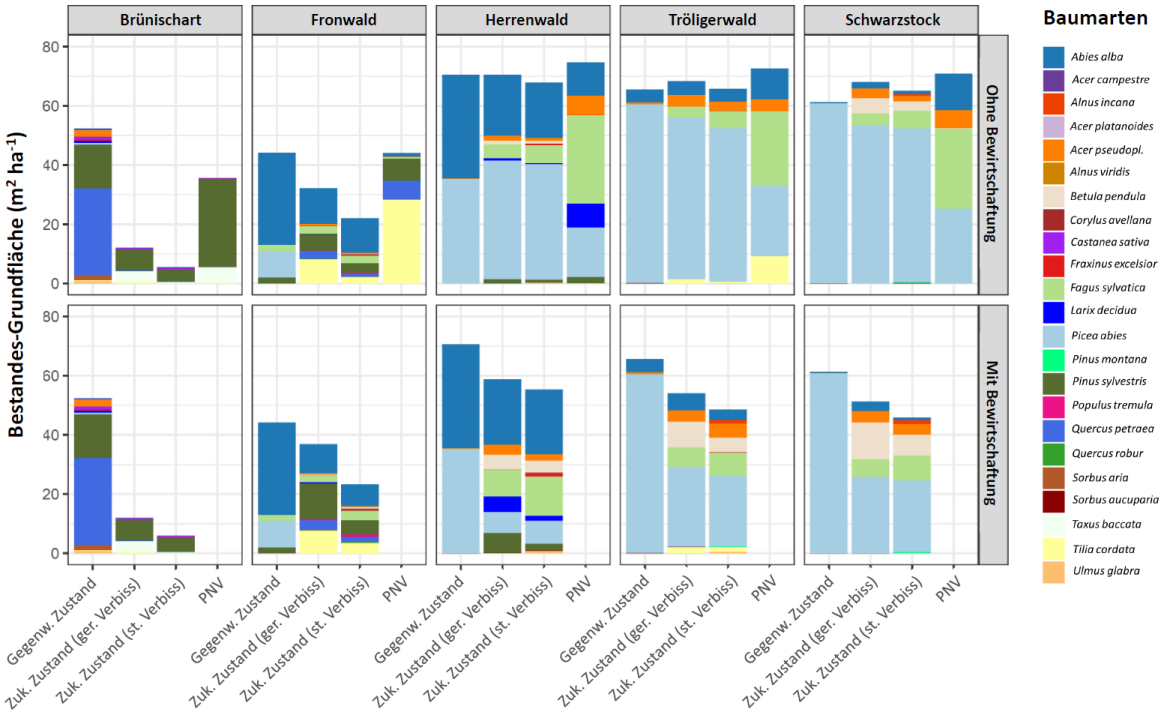

Abbildung 4 Übersicht Simulationsergebnisse (Bestandes-Grundfläche, Artenzusammensetzung) für das 'starke' Klimawandelszenario (A2), ohne Bewirtschaftung (obere Reihe) und mit Bewirtschaftung (untere Reihe). 'Gegenw. Zustand': gemessene Initial-Bedingungen zu Beginn der Simulation (Jahr 2018), 'Zuk. Zustand': Bestandeszustand für das Jahr 2150 (für 'geringen Verbiss' und 'hohen Verbiss'), PNV: potentielle natürliche Vegetation (Zustand am Ende einer 1000-jährigen Simulation unter zukünftigen Klimabedingungen).

c) Änderungen der Grundfläche und der Schutzfunktion

Die Auswirkungen des Klimawandels betrafen nicht nur die Grundfläche, sondern auch die Schutzfunktion aller Bestände, wobei das Ausmass der Änderung stark vom jeweiligen Klimaszenario abhing (Abb. 5; Abb. A2 und A3 im Anhang). Für das 'schwache' Klimawandelszenario kam es für die Bestände in niedrigen Höhenlagen (Brünischart und Fronwald) nur zu leichten Rückgängen der Grundfläche und zu praktisch keinen Veränderungen der Lawinen- und Steinschlagschutz-Funktion. Die Bestände der höheren Lagen dagegen zeigten eine Zunahme der Grundfläche und der Schutzwirkung vor Steinschlag und eine gleichbleibend hohe Lawinenschutzwirkung (Abb. 5, sowie Abb.A2-3 im Anhang).

Die Auswirkungen durch das 'starke' Klimawandelszenario waren wesentlich ausgeprägter, v.a. in den tieferen Lagen, in denen ein drastischer Rückgang der Grundfläche sowie der Schutzfunktionen auftrat. In den höheren Lagen hingegen nahm die Steinschlagschutz-Funktion ähnlich wie im 'schwachen' Klimaszenario zu, die Lawinenschutzfunktion blieb unverändert hoch (Abb. 5, sowie Abb.A2-3 im Anhang).

Für die beiden Verbiss-Szenarien traten grundsätzlich ähnliche Muster auf, das Ausmaß der Veränderungen war jedoch im Szenario mit hohem Verbissdruck ausgeprägter (Abb. A2 und A3 im Anhang).

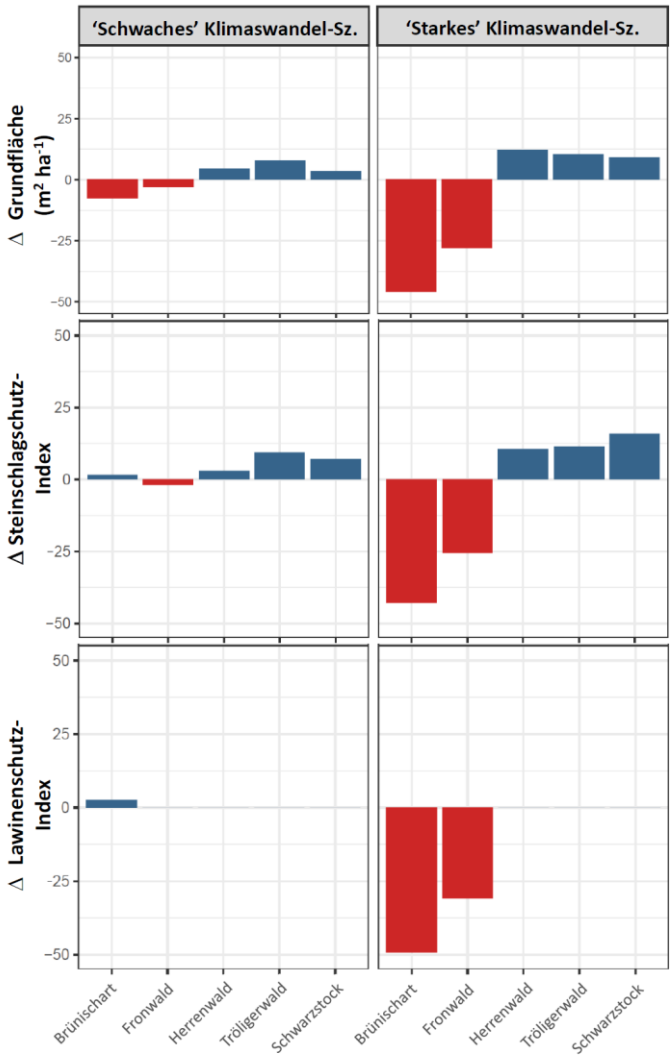

Abbildung 5 Veränderungen in der Bestandes-Grundfläche, im Steinschlagschutz-Index und im Lawinenschutz-Index für alle Bestände im Jahr 2150 unter dem 'schwachen' (RCP3PD) und 'starken' (A2) Klimawandelszenario im Vergleich zu den Simulationsergebnissen unter gegenwärtigen Klimabedingungen. Farben geben die Richtung der Veränderung an (rot: Abnahme, blau: Zunahme, weiss/kein Balken: keine Veränderung). Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Simulationen mit 'starkem Wildverbiss', eine vollständige Übersicht zur Veränderung unter allen Szenarien befindet sich im Anhang, Abb. A2 und A3.

d) Zeitliche Veränderungen

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung der Grundfläche (relativ zur Entwicklung unter gegenwärtigem Klima) wies deutliche Unterschiede zwischen den beiden Klimawandel-Szenarien auf (Abb. 6). Während das 'schwache' Klimawandelszenario bis zum Jahr 2150 nur graduelle Veränderungen hervorrief, kam es im Rahmen des 'starken' Klimawandelszenarios für die Bestände der tieferen Lagen (Bünischart und Fronwald) zu abrupten Einbrüchen.

Darüber hinaus unterschied sich der Zeitpunkt des Einsetzens negativer Auswirkungen für Brünischart und Fronwald zwischen den beiden Klimawandelszenarien. Beim 'schwachen' Klimawandelszenario blieb die Grundfläche bis zum Jahr 2080 nahezu konstant, während beim 'starken' Klimawandelszenario bereits ab dem Jahr 2050 ein sehr markanter Abfall auftrat.

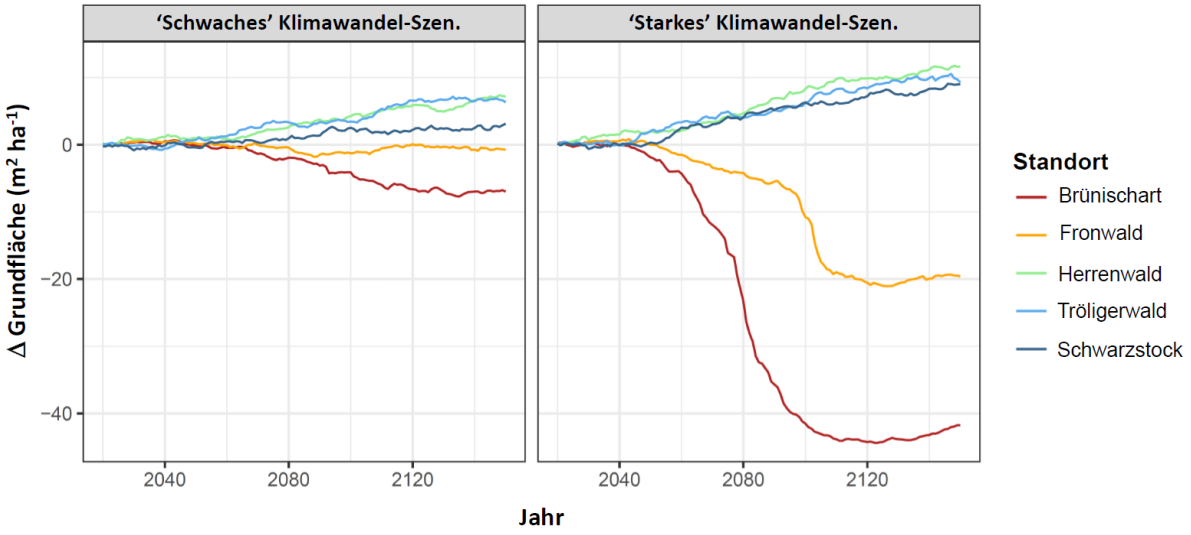

Abbildung 6 Zeitliche Veränderungen der Grundfläche unter dem 'schwachen' (RCP3PD) und 'starken' (A2) Klimawandelszenario (dargestellt als die Differenz zur Grundflächenentwicklung unter gegenwärtigem Klima) unter unbewirtschafteten Bedingungen.

e) Störungs-Szenarien

Beide Störungssimulationen für Windwurf und Borkenkäfer hatten eine ähnlich drastische Auswirkung auf den fichtendominierten Bestand des Tröligerwaldes und reduzierten die Bestandsgrundfläche auf < 10 m² pro ha (Abb. A4 im Anhang). Eine vorgängige Bewirtschaftung hatte eine starke Auswirkung auf die Wiederbewaldung nach beiden Störungsereignissen: die Grundfläche am Ende des ersten Jahrzehnts nach der Störung war um bis zu 30% höher, wenn der Bestand zuvor mit einer Gebirgsplenterung bewirtschaftet worden war (Abb. 7). Dies ist auf eine umfangreichere Vorverjüngung in den bewirtschafteten Beständen zurückzuführen, die wesentlich zur Erholung nach den Störungen beitrug. Eine Reduktion des Wildverbisses begünstigte zudem die Wiederbewaldung erheblich (Abb.7 vgl. 'Niedr.Verb' mit 'Hoher.Verb.'), vor allem nach Borkenkäfer-Befall.

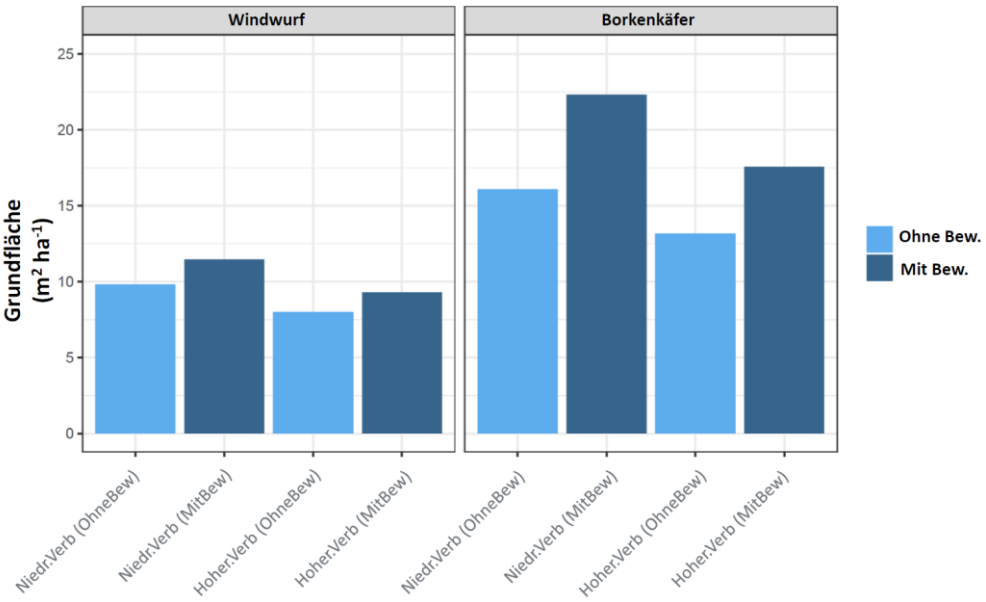

Abbildung 7 Zustand der Wiederbewaldung am Bestand Tröligerwald zehn Jahre nach Auftreten eines Störungsereignisses (Windwurf und Borkenkäfer) im Jahr 2080 unter niedrigem Verbiss ('Niedr.Verb') und hohem Verbiss ('Hoher.Verb') mit und ohne vorgängiger Bewirtschaftung ('Bew.').

Anmerkungen

Trotz der Vielzahl an Simulationen bilden die im Rahmen dieser Untersuchung analysierten Szenarien nur einen kleinen Teil der möglichen Bestandes-Entwicklungen ab. Die Auswirkung verschiedener Bewirtschaftungsszenarien sowie weiterer Klimawandelszenarien könnten weiter untersucht werden, jedoch dürften in Bezug auf die Richtung der simulierten Veränderungen kaum grosser Änderungen auftreten. Zudem wird das Ausmass der zu erwartenden klimabedingten Veränderungen durch die beiden Klimaszenarien gut abgedeckt.

Generell ist anzumerken, dass die Simulationen darauf abzielen, mögliche Tendenzen in der Bestandesentwicklung unter einer Reihe vereinfachter Annahmen aufzuzeigen. Sie dienen daher eher der Abschätzung möglicher Klimawandel-Effekt und sollten nicht als tatsächliche 'Vorhersage' der Entwicklung dieser konkreten Bestände aufgefasst werden. Zu den Effekten, die im Zuge dieser Vereinfachung nicht berücksichtig wurden, zählen unter anderem:

- Die kleinräumige Variabilität der Bodenbedingungen und der Mikrotopographie innerhalb eines Bestandes, welche gerade in Gebirgswäldern deutliche Auswirkungen auf die Bestandesdynamik haben können. Aufgrund fehlender hochaufgelöster Bodendaten im Gebirgsraum ist die Abschätzung dieses Effektes jedoch schwierig.
- Die Annahme eines zeitlich konstanten Wildverbisses, während die tatsächliche Verbiss-Intensität am Standort populationsbedingten Schwankungen unterlegen ist.
- Das dynamische Auftreten von Störungsereignissen, welche z.B. im Falle von Borkenkäfer und Feuer an das vermehrte Auftreten von Trockenheit gekoppelt ist.

Schlussfolgerung

Die Simulationen des Waldmodelles ForClim legen nahe, dass besonders für Bestände in tieferen Lagen (wie Brünischart und Fronwald) eine erhöhte Gefahr von trockenheitsbedingten Einbrüchen besteht, welche in den kommenden Jahrzehnten immer häufiger werden können. Die Ergebnisse zeigen zudem einen grundlegenden Unterschied zwischen einem 'schwachen' Klimawandelszenario (Einhaltung des Pariser Klimaschutzabkommens) und eines 'starken' Klimawandelszenario (keine Klimaschutzmassnahmen) auf, welche sich vor allem für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts bemerkbar machen. Insbesondere im Fall des 'starken' Klimawandelszenario sind die tieferen Lagen von abrupten Einbrüchen betroffen, welche die Schutzwirkung des Waldes beträchtlich verringert. Die Bestände der höheren Lagen können dagegen aufgrund höherer Niederschläge und bei besseren Bodenbedingungen eher von der Erwärmung profitieren. Jedoch ist anzumerken, dass der Klimawandel auch auf höhere Lagen einen negativen Einfluss haben kann, wie z.B. durch häufigere Störungsereignisse (v.a. Borkenkäfer).

Die Simulationen zeigten zudem die Bedeutung der Waldbewirtschaftung für eine frühzeitige Einleitung der Verjüngung auf, die zu einer langfristigen Förderung klima-angepasster Baumarten führt. Im Falle plötzlicher Störungsereignisse (z.B. durch Windwurf und Borkenkäfer) zeigt sich zudem die Bedeutung einer bereits gut ausgebildeten Vorverjüngung im Bestand, welche die Wiederbewaldung erheblich beschleunigt und damit die Resilienz des Gesamtbestandes gegenüber Extremereignissen deutlich erhöht.

Literaturliste

Bugmann H. (1996) A Simplified Forest Model to Study Species Composition Along Climate Gradients. Ecology 77:2055-2074

EFM WSL (2017) Versuchsfläche 01-053.001 und 01-053.009 Riemenstalden SZ: Fronwald. Bericht WSL, Birmensdorf.

Huber N., Bugmann H., Lafond V. (in Überarbeitung.) Capturing ecological processes in dynamic forest models: why there is no silver bullet to cope with complexity. Ecosphere.

Leuch B.A., K. Streit, P. Brang (2017) Der Schweizer Wald im Klimawandel: Welche Entwicklungen kommen auf uns zu? Merkblatt für die Praxis 59: 1-12.

Portner H. (2010) WSL DAYMET Climate Data. Kurzbericht. WSL, Birmensdorf.

Rasche L., L. Fahse, A. Zingg, H. Bugmann (2012) Enhancing gap model accuracy by modeling dynamic height growth and dynamic maximum tree height. Ecological Modelling 232: 133-143.

Rigling A., Bugmann H., Rebetez M., Körner C. (2016) Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Kapitel 2.9 Wald. Akademien der Wissenschaften Schweiz, Swiss Academies Reports 11 (5), 106-109.

Schmid U., N. Bircher, H. Bugmann (2015) Naturnaher und multifunktionaler Waldbau in Zeiten des Klimawandels – eine Fallstudie. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen 166(5): 314-324.

Anhang

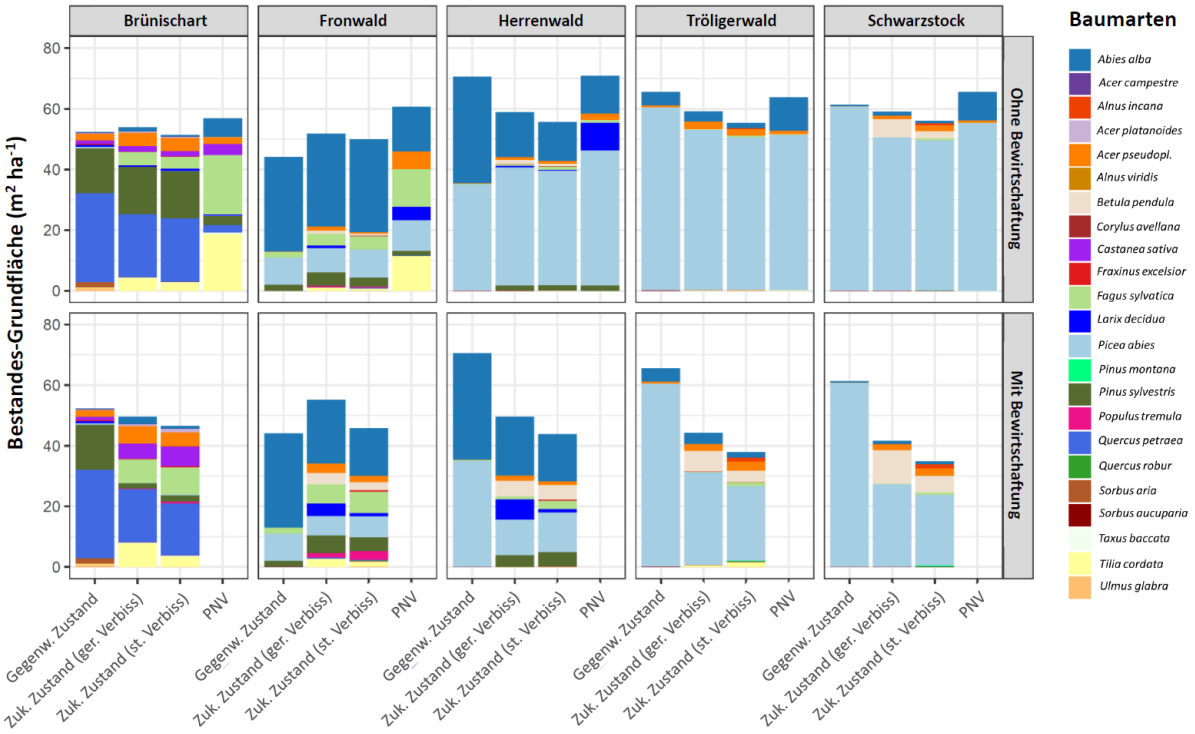

Abbildung A1 Übersicht Simulationsergebnisse (Bestandes-Grundfläche, Artenzusammensetzung) für gegenwärtige Klimabedingungen, ohne Bewirtschaftung (obere Reihe) und mit Bewirtschaftung (untere Reihe). 'Gegenw. Zustand': gemessene Initial-Bedingungen zu Beginn der Simulation (Jahr 2018), 'Zuk. Zustand': Bestandeszustand für das Jahr 2150 (für 'geringen Verbiss' und 'hohen Verbiss'), PNV: potentielle natürliche Vegetation (Zustand am Ende einer 1000-jährigen Simulation unter gegenwärtigen Klimabedingungen).

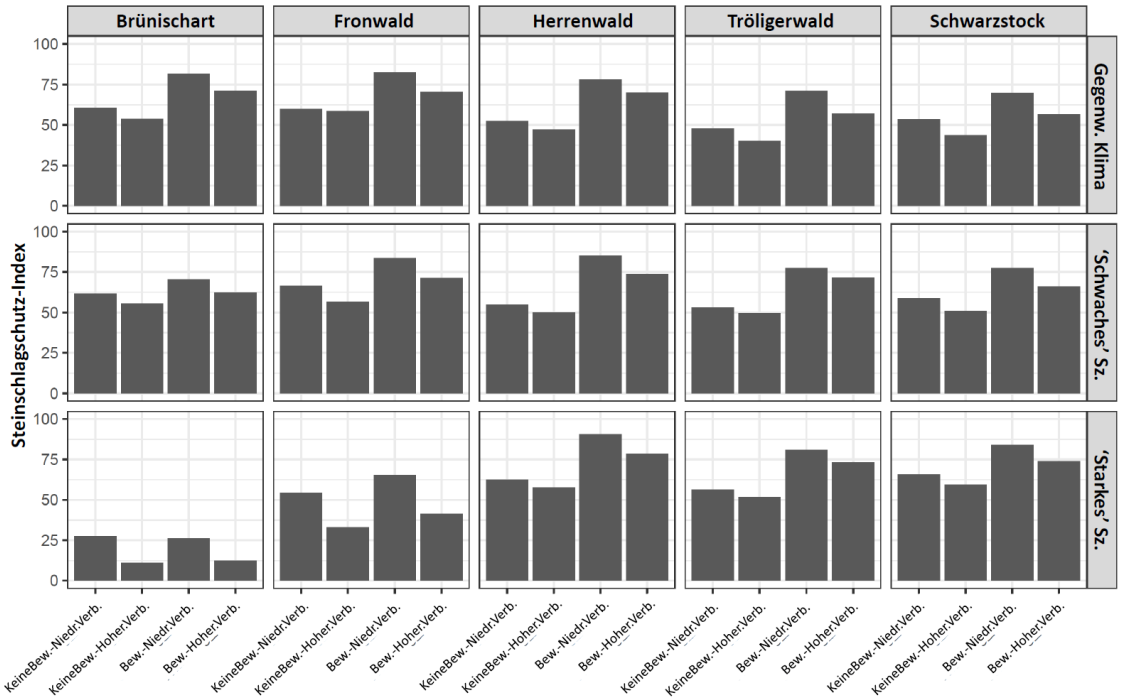

Abbildung A2. Entwicklung des Steinschlagschutz-Index für gegenwärtiges Klima, sowie für das 'schwache' und 'starke' Klimawandelszenario für alle Untersuchungsbestände (Index von 100 entspricht optimaler Schutzwirkung).

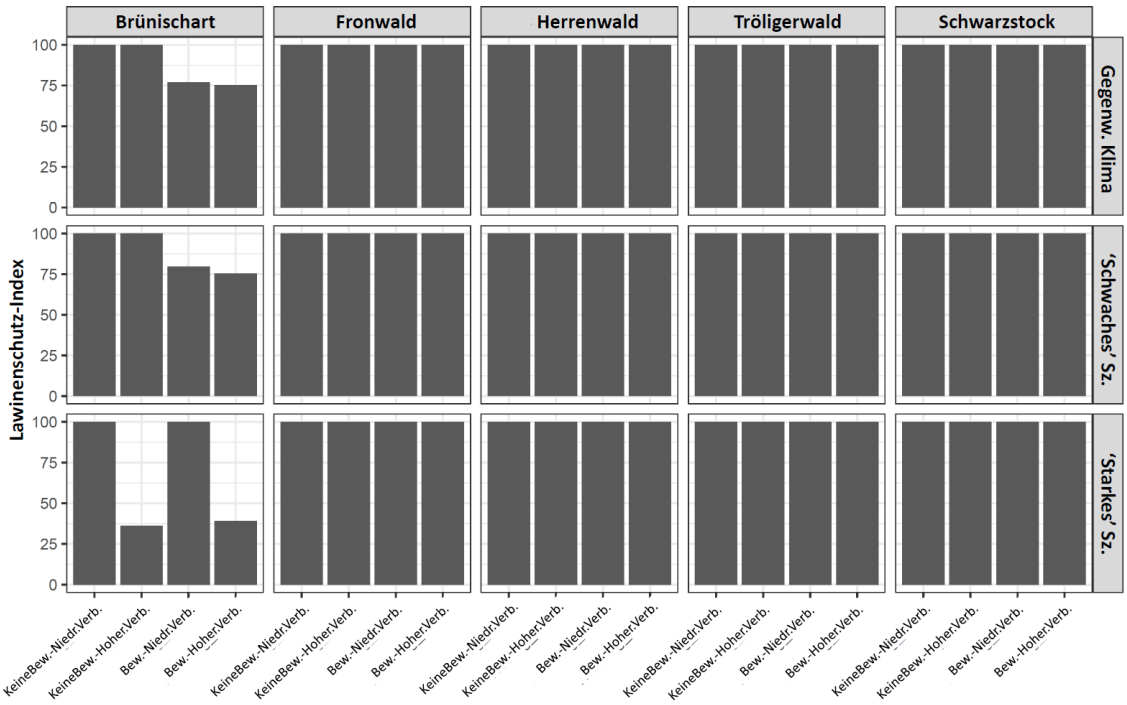

Abbildung A3 Entwicklung des Lawinenschutz-Index für gegenwärtiges Klima, sowie für das 'schwache' und 'starke' Klimawandelszenario für alle Untersuchungsbestände (Index von 100 entspricht optimaler Schutzwirkung).

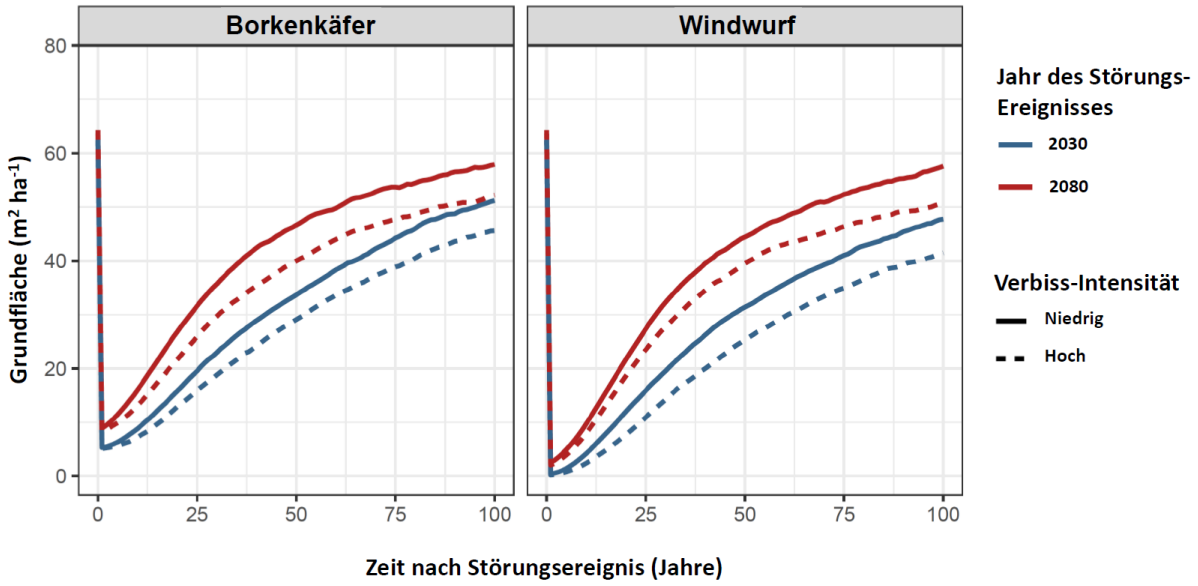

Abbildung A4 Entwicklung der Wiederbewaldung nach Störungen für die exemplarischen Störungsszenarien 'Borkenkäfer' und 'Windwurf'. Farben zeigen den unterschiedlichen Zeitpunkt des Auftretens von Störungen an (blau: 2030, rot: 2080). Linientypen zeigen die unterschiedliche Verbiss-Intensität an. Die Simulationen basieren auf dem 'starken' Klimawandelszenario (A2).