



Heft 144, 2023

**WSL Berichte**

[doi.org/10.55419/wsl:35217](https://doi.org/10.55419/wsl:35217)

**FORUM**  
für Wissen

2023

# Aus Störungen und Extremereignissen im Wald lernen

Redaktion

Peter Bebi und Janine Schweier



WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF  
CH-7260 Davos Dorf



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL  
CH-8903 Birmensdorf



Heft 144, 2023

**WSL Berichte**

[doi.org/10.55419/wsl:35217](https://doi.org/10.55419/wsl:35217)

---

**FORUM**

für Wissen

---

2023

# Aus Störungen und Extremereignissen im Wald lernen

Redaktion

Peter Bebi und Janine Schweier

Das Forum für Wissen ist eine Veranstaltung, die von der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL durchgeführt wird. Aktuelle Themen aus den Arbeitsgebieten der Forschungsanstalt werden vorgestellt und diskutiert. Neben Referenten von der WSL können auswärtige Fachleute beigezogen werden. Gleichzeitig zu jeder Veranstaltung «Forum für Wissen» erscheint eine auf das Thema bezogene Publikation in der Reihe WSL Berichte. Alle Beiträge wurden von zwei Fachpersonen begutachtet.

Verantwortlich für die Herausgabe  
Eidg. Forschungsanstalt WSL

Schriftleitung  
Sandra Gurzeler

Wir danken folgenden Personen, welche sich als Reviewer zur Verfügung stellten, für die kritische Durchsicht der Beiträge und im Organisationskomitee an der Ausgestaltung des Forums mitgewirkt haben:  
Peter Bebi, Alessandra Bottero, Marco Conedera, Janine Schweier, Thomas Wohlgemuth, Samuel Zürcher

Zitierung  
Bebi P., Schweier J. (Red.) 2023: Forum für Wissen 2023. Aus Störungen und Extremereignissen im Wald lernen. WSL Ber. 144: 66 S. doi.org/10.55419/wsl:35217

Layout: Jacqueline Annen und Sandra Gurzeler, WSL

Fotos Umschlag von oben:  
Thomas Wohlgemuth, Peter Bebi (2. und 4.), Ulrich Wasem, Simon Mutterer.

Bezugsadresse  
WSL Shop: e-shop@wsl.ch  
PDF Download: [www.wsl.ch/berichte](http://www.wsl.ch/berichte)

ISSN 2296-3448 (Print)  
ISSN 2296-3456 (Online)

Forschung für Mensch und Umwelt: Die Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL überwacht und erforscht Wald, Landschaft, Biodiversität, Naturgefahren sowie Schnee und Eis. Sie ist ein Forschungsinstitut des Bundes und gehört zum ETH-Bereich. Das WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF ist seit 1989 Teil der WSL.



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

## Vorwort

Natürliche Störungen wie Windwurf, Borkenkäferbefall oder Waldbrand gehören zur Dynamik und Ökologie unserer Wälder. Durch sie gelangen Licht auf den Waldboden und es gibt Raum für Erneuerung und Vielfalt. So bedeutend Störungen für die natürliche Walddynamik auch sind, für die Waldbewirtschaftung und für die nachhaltige Erfüllung von Waldleistungen sind sie mit enormen Herausforderungen verbunden. Störungen und Extremereignisse können waldplanerische und waldbauliche Anstrengungen mehrerer Förstergenerationen in Frage stellen, Holzträge vernichten und Waldfunktionen gefährden.

In den letzten Jahrzehnten sind natürliche Störungen europaweit häufiger geworden. Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Gründe. Einerseits wurden Wälder nach jahrhundertelanger Übernutzung sowie auch aus wirtschaftlichen Beweggründen wieder vorratsreicher und damit anfälliger auf natürliche Störungen. Andererseits tragen der Klimawandel und damit verbundene Extremereignisse wie Dürre, Hitze oder Spätfrost sowie Krankheiten und Parasiten zu dieser Entwicklung bei. Mit fortschreitendem Klimawandel wird die Anfälligkeit der Bäume gegenüber Störungen zunehmen – auch in Gebieten, wo bisher wenig Störungen aufgetreten sind.

Die WSL beschäftigt sich in Zusammenarbeit mit der Praxis schon seit Jahrzehnten mit extremen Störungsereignissen im Wald. Nach den Stürmen Vivian (1990) und Lothar (1999) richtete die WSL langfristige Forschungsflächen ein, die heute mithelfen, die Entwicklung nach Störungen und den Einfluss verschiedener Behandlungsvarianten auf zukünftige Waldleistungen besser zu verstehen. Auch Borkenkäferbefall, verschiedene Waldbrandereignisse und immer komplexer werdende Kaskaden verschiedener Extremereignisse lösten Forschungsarbeiten aus, die unser Wissen über Störungen und Extremereignisse ständig erweitern. Die Vielfalt der Störungsereignisse und die Komplexität der darauffolgenden Entscheidungsprozesse machen deutlich, dass gesamtheitliche Betrachtungen über verschiedene Störungsereignisse und ein enger Dialog zwischen Forschung und Praxis nötig sind, um zukünftige Ereignisse zu bewältigen.

Das Forum für Wissen 2023 zieht hierzu Bilanz. Es gibt einen umfassenden Überblick über die Forschung zu Störungen und Extremereignissen in der Schweiz und im benachbarten Ausland. Darauf aufbauend wird die Frage gestellt, in welcher Weise sich Forschung und Praxis optimal austauschen können, um die zukünftigen Herausforderungen zu meistern.

Birmensdorf, Davos und Cadenazzo, 6. November 2023

Peter Bebi und Janine Schweier  
für das Organisationskomitee



| Inhalt   | Seite |
|--|-------|
| Vorwort  | 3     |
| <b>Störung und Resilienz in Europas Wald</b><br>Rupert Seidl   | 7     |
| <b>Herausforderungen im Umgang mit Waldstörungen auf der Alpensüdseite</b><br>Marco Conedera, Gianni Boris Pezzatti, Patrik Krebs, Eric Gehring  | 11    |
| <b>Dynamik von Störungen in Wäldern auf der Alpennordseite von 1900 bis 2022</b><br>Thomas Wohlgemuth, Valentin Queloz, Barbara Moser, Gianni Boris Pezzatti, Daniel Scherrer, Yann Vitasse und Marco Conedera | 17    |
| <b>Zwischen Sturmwurf und Borkenkäferbefall: Management von Extremereignissen in Südtirol</b><br>Camilla Wellstein, Mario Broll, Günther Unterthiner und Marco Pietrogiovanna                                  | 25    |
| <b>Huhn oder Ei? Störungen und Baumartenzusammensetzung</b><br>Daniel Scherrer, Barbara Moser und Thomas Wohlgemuth  | 33    |
| <b>Schutzwirkung und Resilienz von Gebirgswäldern nach natürlichen Störungen</b><br>Peter Bebi, Natalie Piazza, Adrian Ringenbach, Marion Caduff, Marco Conedera, Frank Krumm und Andreas Rigling              | 41    |
| <b>Strategien zur Klimaanpassung im Wald – Von der Schadensbewältigung zur Vorsorge</b><br>Tobias Schulz, Dominik Braunschweiger, Tamaki Ohmura, Janine Schweier und Roland Olschewski                         | 49    |
| <b>Umgang mit Waldschäden aus Sicht des Bundes</b><br>Stefan Beyeler, Aline Knoblauch, Andy Rudin, Michael Husistein und Benjamin Lange  | 59    |
| <b>Herausforderungen in Gebirgswäldern gemeinsam angehen: wie Forschung und Praxis erfolgreich zusammenarbeiten und voneinander profitieren können</b><br>Alessandra Bottero, Samuel Zürcher und Peter Bebi    | 61    |



# Störung und Resilienz in Europas Wald

Rupert Seidl

Technische Universität München, School of Life Sciences, Ökosystemdynamik und Waldmanagement  
in Gebirgslandschaften, Freising, Deutschland, rupert.seidl@tum.de  
Nationalpark Berchtesgaden, Berchtesgaden, Deutschland

**Störungen sind ein wichtiger Teil der natürlichen Dynamik in Waldökosystemen. Sie haben jedoch negative Auswirkungen auf die Bereitstellung von wichtigen Ökosystemleistungen, was sie zu einer Herausforderung für die Waldbewirtschaftung macht. In Europa sind Störungen in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen. Jedoch sind Europas Wälder generell resilient gegenüber Störungen, d. h. wichtige Waldeigenschaften erholen sich gut nach Störung. Extremere klimatische Bedingungen und eine weitere Zunahme von Störungen könnten jedoch die Resilienz von Wäldern in Zukunft gefährden. Dieser Entwicklung kann die Waldbewirtschaftung durch eine Anpassung an mehr Störungen und durch die Erhöhung der Resilienz von Wäldern begegnen.**

## 1 Störung: Auswirkungen und Veränderung

Störungen sind zeitlich und räumlich diskrete Ereignisse, die zum Verlust von lebender Biomasse führen (Jentsch *et al.* 2019). Diese zum Beispiel durch Windwurf, Borkenkäfer, Waldbrand oder Dürre ausgelösten Pulse der Baum mortalität sind ein natürlicher Teil der Walddynamik – solange es Wälder gibt, gibt es auch grossflächiges Absterben von Bäumen. In den wenigen verbliebenen Urwäldern Mitteleuropas kann zum Beispiel mittels Jahringanalyse nachgewiesen werden, dass es in vergangenen Jahrhunderten immer wieder Phasen von grosser Baum mortalität gab (Schurmann *et al.* 2018). In Naturwäldern sind Störungen ein wichtiger Motor der Anpassung; nach Störungen können sich zum Beispiel

neue Baumarten etablieren, die besser an die herrschenden Bedingungen angepasst sind (Thom *et al.* 2017).

Für die Waldbewirtschaftung entstehen durch Störungen jedoch grosse Herausforderungen, weil wichtige Ökosystemleistungen durch Störungen negativ beeinflusst werden; Störungen konterkarieren daher oft die Ziele der Waldbewirtschaftung. Sie reduzieren zum Beispiel das ökonomische Ergebnis der Holzproduktion drastisch (Reduktion des Landerwartungswertes um –2600 bis –34 400 € pro Hektar, Knoke *et al.* 2021) und reduzieren auch die Kohlenstoffspeicherung von Wäldern (Seidl *et al.* 2014). Speziell für Leistungen des Waldes, für welche die zeitliche Kontinuität der Leistungserfüllung eine wichtige Rolle spielt, wie zum Beispiel für den Schutz vor Naturgefahren, sind Störungen eine grosse Herausfor-

derung (Albrich *et al.* 2018). Häufige Störungen erhöhen zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit für Hochwasserereignisse in Wildbacheinzugsgebieten um das Dreifache (Sebald *et al.* 2019).

Die Störungsregimes in Europas Wäldern haben sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert. In Mitteleuropa hat sich die Störungsrate in nur drei Jahrzehnten mehr als verdoppelt, wobei gerade Störungen durch biotische Schadorganismen einen steilen Anstieg verzeichnen (Senf *et al.* 2018; Patacca *et al.* 2022). Die durch die Dürre 2018–2020 ausgelöste Baum mortalität war mit hoher Wahrscheinlichkeit die grösste Störungswelle in Europas Wäldern seit mindestens 170 Jahren (Abb. 1; Senf und Seidl 2021). Mit fortschreitendem Klimawandel wird sich diese Entwicklung auch in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen. Dabei ist zu erwarten, dass Borkenkäfer auch im Gebirge Wind als wichtigsten Störfaktor ablösen werden und dass die Störungsraten weiter ansteigen werden (Thom *et al.* 2022).

## 2 Resilienz gegenüber Störungen

Mit zunehmenden Störungen gewinnt auch die Störungsresilienz des Waldes an Relevanz. Der Begriff Resilienz hat

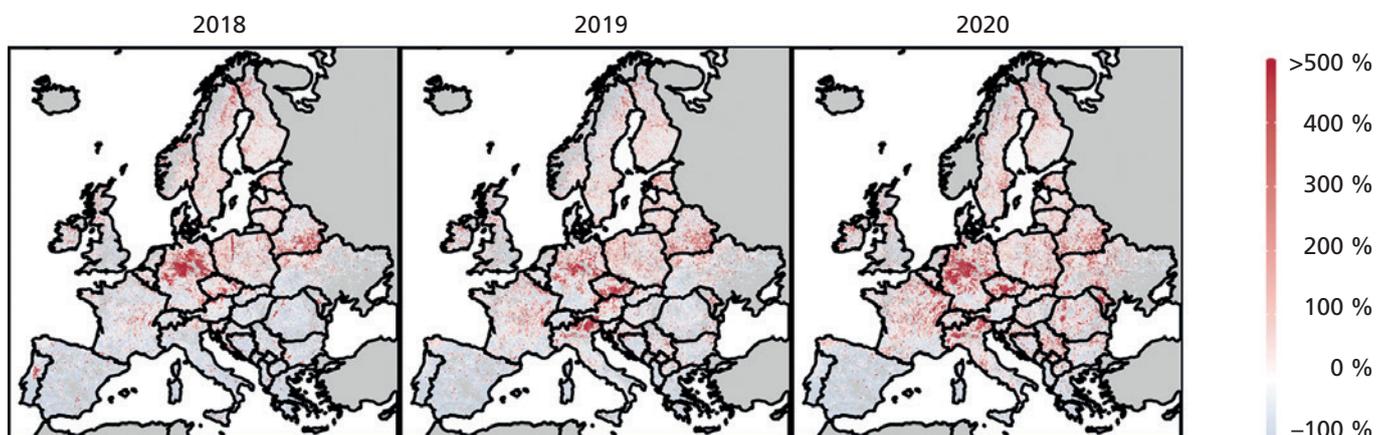


Abb. 1. Übersterblichkeit in Europas Wäldern in den Jahren 2018–2020, relativ zum Mittelwert der Periode 1986–2015. Quelle: Senf und Seidl (2021).

viele Bedeutungen und wird in der Literatur unterschiedlich verwendet (Nikinmaa *et al.* 2020). Vereinfacht ausgedrückt kann man Resilienz jedoch als die Eigenschaft eines Systems beschreiben, nach einer Störung wieder zu seinem Ausgangszustand zurückzukehren bzw. seine relevanten Funktionen wiederzuerlangen (Seidl *et al.* 2016). So dauert es im Alpenraum im Schnitt 35 Jahre, bis sich Wälder in Hinblick auf ihre Struktur und ihren Kronenschlussgrad wieder von einer Störung erholt haben (Abb. 2; Stritih *et al.* 2023). Da Störungen in den Alpen jedoch in deutlich längeren Intervallen auftreten (zwischen ca. 150 und 500 Jahren, Senf und Seidl 2022), kann man von einer generell hohen Störungsresilienz sprechen. Es gibt jedoch eine beachtliche Variabilität zwischen verschiedenen Waldtypen. Submediterrane Wälder an der Alpensüdseite erholen sich zum Beispiel deutlich langsamer von Störungen, was auf eine geringe Resilienz hindeutet und ein Anzeichen eines tiefgreifenden Systemwechsels (z. B. hin zu offenen Wäldern) sein kann.

Auch wenn aktuell die Resilienz in Europas Wäldern hoch ist, so kann diese doch durch eine weitere Zunahme von Störungen sowie durch

häufiger auftretende klimatische Extreme zunehmend unter Druck geraten. Größere Störflächen und eine höhere Störungsstärke führen zum Beispiel dazu, dass die Distanz zum nächsten Samenbaum grösser wird, was die Erholung nach Störungen verlangsamt (Senf und Seidl 2022). Auch können zunehmende klimatische Extreme wie Dürren die Baumverjüngung nach Störungen beeinflussen. Die Reaktion von Wäldern auf Störungen ist daher ein wichtiger Gradmesser, um Veränderungen frühzeitig zu erkennen und sollte daher spezielle Aufmerksamkeit (z. B. in Monitoring-Programmen) erhalten (Turner und Seidl 2023).

### 3 Implikationen für die Waldbewirtschaftung

Was können wir für die Waldbewirtschaftung aus der aktuellen Forschung zu Störungen und Resilienz im Wald lernen? Im Folgenden werden drei Gedanken dazu skizziert, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

#### 3.1 Mit (mehr) Störungen leben lernen

Trotz aller Bemühungen der Waldbewirtschaftung, Störungen zu reduzieren und zu vermeiden, sind diese in Europas Wäldern in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen. Wir müssen uns also von dem Gedanken verabschieden, dass wir Störungen vermeiden können; nach der Störung ist vor der Störung, dies gilt besonders in Zeiten des rapiden Klimawandels und der sich häufenden Extremereignisse. Daraus folgt, dass Massnahmen, die den Umgang mit Störungen erleichtern (z. B. Bereitstellung von ausreichend Saatgut und Pflanzmaterial) und ihre Auswirkungen auf wichtige Ökosystemleistungen abmildern (z. B. Lagerkapazitäten für Schadholz) speziell im Fokus stehen sollten. Klar ist dabei auch, dass der Umgang mit Störungen nicht auf Bestandes- oder Betriebsebene zu bewältigen ist, sondern Koordination und Abstimmung aller Akteure auf Landschaftsebene benötigt. Eine zentrale Erkenntnis aus 40 Jahren Forschung zur Störungsökologie ist, dass der räumliche Kontext eine bedeutende Rolle für Störung und Resilienz spielt – ein Faktor, der gerade in der Bewirt-

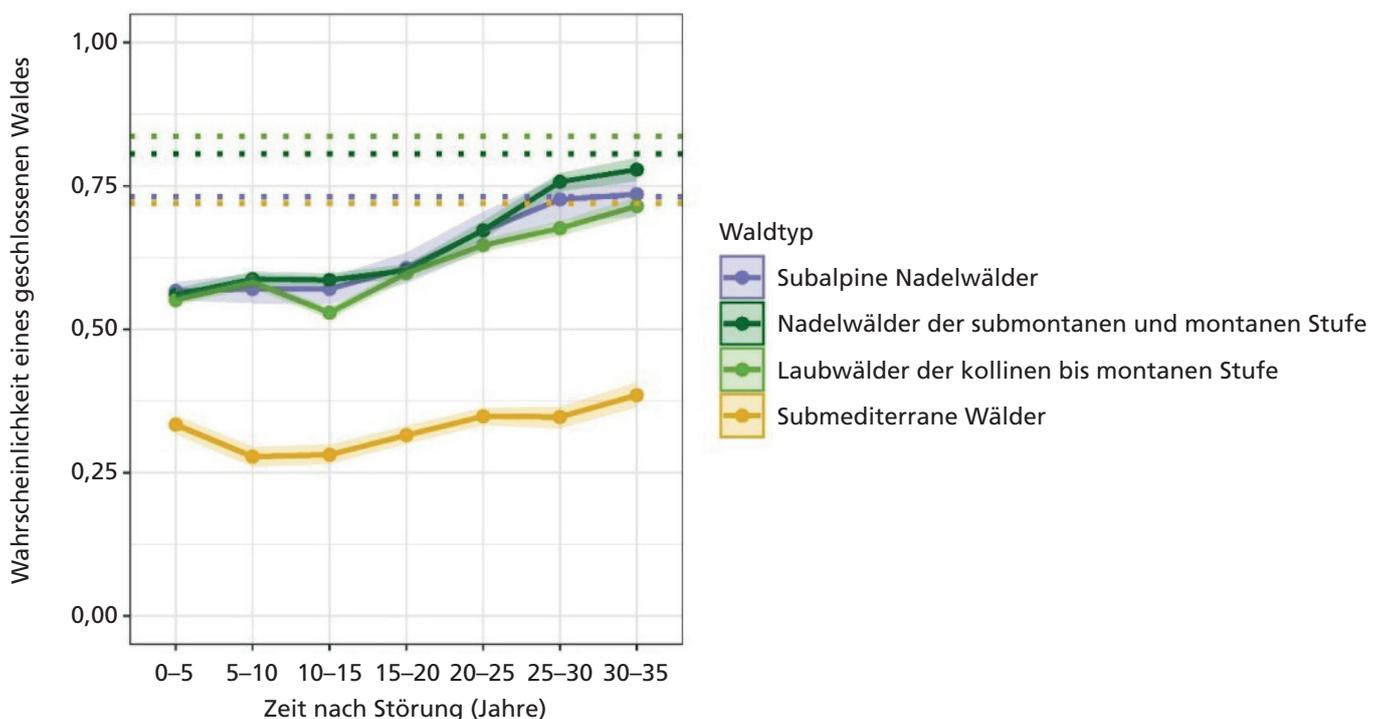


Abb. 2. Erholung nach Störungen im Alpenraum. Die Abbildung vergleicht gestörte Wälder (ungebrochene Linien) mit ungestörten Wäldern (horizontale punktierte Linien) in Bezug auf deren Wahrscheinlichkeit, strukturell geschlossenen Wäldern zu entsprechen (Kronenschlussgrad > 75 % und Oberhöhe > 10 m). Quelle: © Stritih *et al.* (2023).

schaftung unserer kleinstrukturierten mitteleuropäischen Landschaften noch zu wenig Beachtung findet.

### 3.2 Die Resilienz in der Bewirtschaftung erhöhen

Durch gezielte Massnahmen kann die Waldbewirtschaftung die Resilienz von Wäldern erhöhen. Ein zentrales Element hierzu ist die Erhöhung der Vielfalt unserer Wälder, wobei im Kontext von Störungen v. a. die Reaktionsdiversität hervorzuheben ist. Ein Wald, der aus Bäumen mit verschiedenen Eigenschaften besteht, ist besser in der Lage, sich von unterschiedlichen Störungen wieder zu erholen und seine Funktionen nach einer Störung rasch wieder zu erfüllen (Sebald *et al.* 2021). Auch strukturelle Vielfalt kann zur Störungsresilienz beitragen, v. a. in Situationen, wo Störungen hauptsächlich die Ober-schicht betreffen, wie das zum Beispiel bei Windwurf und Borkenkäfer der Fall ist. Vorhandene Vorausverjüngung kann in diesen Fällen die durch Störung frei werdenden Ressourcen nutzen und die Erholungsphase nach Störungen deutlich verkürzen. Wichtig bleibt jedoch, dass es keine allgemein gültigen Lösungen für die aktuellen Herausforderungen gibt und entsprechende waldbauliche Ansätze an die lokalen Gegebenheiten und Ziele in der Waldbewirtschaftung angepasst werden müssen. Dazu braucht es qualifizierte Fachleute vor Ort – forstliche Aus- und Weiterbildung sowie ausreichende Personalausstattung tragen somit auch zur Erhöhung der Resilienz unserer Wälder bei.

### 3.3 In der Krise auch eine Chance sehen

Störungen bieten auch Chancen für die Waldbewirtschaftung. Eine solche Chance ist die Steigerung der Artenvielfalt in unseren Wäldern, was wiederum einen wichtigen Beitrag zur Bekämpfung der aktuellen Biodiversitätskrise leisten kann. Gestörte Wälder sind sehr arten- und strukturreich und beherbergen in etwa gleich viele Tier- und Pflanzenarten wie alte und strukturierte Wälder (Hilmers *et al.* 2018). Die aktuelle Welle an Störungen gibt

uns also auch die Chance, einen sichtbaren und grossflächigen Beitrag zum Artenschutz zu leisten. Dieser Aspekt wurde bis jetzt in der Kommunikation über den Wald und seine aktuelle Krise von Politik und Interessensvertretungen noch zu wenig beleuchtet. Eine weitere Chance liegt in dem grossen Potential für Veränderung, das gestörte Wälder mit sich bringen. Wir wissen seit Jahrzehnten, dass der Klimawandel uns zu einem teils radikalen Umdenken im Wald zwingt. Die aktuelle Welle an Störungen gibt uns nun die Chance, die notwendige Reorganisation von Wäldern mit grossen Schritten voranzubringen (Seidl und Turner 2022). Geänderte Klima- und Störungsregimes können zum Beispiel die Wiederherstellung von Ökosystemen beschleunigen (Dollinger *et al.* 2023) und somit langfristig auch positiv auf die Erreichung unserer Ziele in der Waldbewirtschaftung wirken.

## 4 Literatur

- Albrich K., Rammer W., Seidl R. (2018) Trade-offs between temporal stability and level of forest ecosystem services provisioning under climate change. *Ecol. Appl.* 28: 1884–1896.
- Dollinger C., Rammer W., Seidl R. (2023) Climate change accelerates ecosystem restoration in the mountain forests of Central Europe. *J. Appl. Ecol.* in press.
- Hilmers T., Friess N., Bässler C., Heurich M., Brandl R., Pretzsch H., Seidl R., Müller J. (2018) Biodiversity along temperate forest succession. *J. Appl. Ecol.* 55: 2756–2766.
- Jentsch A., Seidl R., Wohlgemuth T. (2019) Störungen und Störungsregime. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R., Störungsökologie. 21–44. Bern: UTB. ISBN 978-3-8252-5018-8.
- Knoke T., Gosling E., Thom D., Chreptun C., Rammig A., Seidl R. (2021) Economic losses from natural disturbances in Norway spruce forests – A quantification using Monte-Carlo simulations. *Ecol. Econ.* 185, 107046.
- Nikinmaa L., Lindner M., Cantarello E., Jump A.S., Seidl R., Winkel G., Muys B. (2020) Reviewing the Use of Resilience Concepts in Forest Sciences. *Curr. For. Rep.* 6: 61–80.
- Patacca M., Lindner M., Esteban Lucas-Borja M., Cordonnier T., Fidej G., Gardiner B., ... (2022) Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Glob. Chang. Biol.* 29: 1359–1376.
- Schurman J.S., Trotsiuk V., Bace R., Cada V., Fraver S., Janda P., ... (2018) Large-scale disturbance legacies and the climate sensitivity of primary *Picea abies* forests. *Glob. Chang. Biol.* 24: 2169–2181.
- Sebald J., Senf C., Heiser M., Scheidl C., Pflugmacher D., Seidl R. (2019) The effects of forest cover and disturbance on torrential hazards: large-scale evidence from the Eastern Alps. *Environ. Res. Lett.* 14: 114032.
- Sebald J., Thrippleton T., Rammer W., Bugmann H., Seidl R. (2021) Mixing tree species at different spatial scales: The effect of alpha, beta and gamma diversity on disturbance impacts under climate change. *J. Appl. Ecol.* 58: 1749–1763.
- Seidl R., Turner M.G. (2022) Post-disturbance reorganization of forest ecosystems in a changing world. *PNAS* 119, e2202190119.
- Seidl R., Schelhaas M.J., Rammer W., Verkerk P.J. (2014) Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nat. Clim. Chang.* 4: 806–810.
- Seidl R., Spies T.A., Peterson D.L., Stephens S.L., Hicke J.A. (2016) Searching for resilience: Addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *J. Appl. Ecol.* 53: 120–129.
- Senf C., Seidl R. (2021) Persistent impacts of the 2018 drought on forest disturbance regimes in Europe. *Biogeosciences* 18: 5223–5230.
- Senf C., Seidl R. (2022) Post-disturbance canopy recovery and the resilience of Europe's forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 31: 25–36.
- Senf C., Pflugmacher D., Zhiqiang Y., Sebald J., Knorn J., Neumann M., ... (2018) Canopy mortality has doubled in Europe's temperate forests over the last three decades. *Nat. Commun.* 9, 4978.
- Strith A., Seidl R., Senf C. (2023) Alternative states in the structure of mountain forests across the Alps and the role of disturbance and recovery. *Landsc. Ecol.* 38: 933–947.
- Thom D., Rammer W., Laux P., Smiatek G., Kunstmann H., Seibold S., Seidl R. (2022) Will forest dynamics continue to accelerate throughout the 21<sup>st</sup> century in the Northern Alps? *Glob. Chang. Biol.* 28: 3260–3274.

Thom D., Rammer W., Seidl R. (2017) Disturbances catalyze the adaptation of forest ecosystems to changing climate conditions. *Glob. Chang. Biol.* 23: 269–282.

Turner M.G., Seidl R. (2023) Novel disturbance regimes and ecological responses. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 54: 63–83.

### **Abstract**

#### **Disturbance and resilience of Europe's forests**

Disturbances are important drivers of natural forest ecosystem dynamics. They have, however, largely negative impacts on the provisioning of forest ecosystem services, challenging sustainable forest management. Disturbances have increased strongly in Europe in the past decades. Yet, Europe's forests are largely resilient to disturbances, meaning that important forest characteristics recover relatively quickly after disturbance. However, a combination of more frequent climatic extremes and increasing disturbances could erode forest resilience in the future. It is thus important that the management adapts to increasing disturbances and fosters the resilience of forest ecosystems.

**Keywords:** natural disturbances, forest resilience, ecosystem management, ecosystem services, climatic extremes



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

# Herausforderungen im Umgang mit Waldstörungen auf der Alpensüdseite

Marco Conedera, Gianni Boris Pezzatti, Patrik Krebs, Eric Gehring

<sup>1</sup> Eidg. Forschungsanstalt WSL, Cadenazzo, Schweiz, marco.conedera@wsl.ch, boris.pezzatti@wsl.ch, patrik.krebs@wsl.ch, eric.gehrin@wsl.ch

**Wegen ihrer klimatischen Besonderheiten kann die Alpensüdseite in der Diskussion über den globalen Wandel und die Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Wälder als Freilandlabor und Frühwarnregion für die gesamte Schweiz verwendet werden. Die von den Seen beeinflussten Tieflagen Insubriens bis etwa 800–1000 m ü. M. sind besonders anfällig für klimatisch bedingte Extremereignisse. Historisch bedingt sind die insubrischen Wälder sowohl hinsichtlich der Artenzusammensetzung als auch der Bewirtschaftungsform alles andere als naturnah und neigen aufgrund der mangelnden Bewirtschaftung zur Überalterung. Bioklimatisch befindet sich Insubrien an der Grenze zwischen einem sommergrünen und einem immergrünen Waldbiom. In den milden seenahen Zonen entwickeln sich infolge des klimawandelbedingten Temperaturanstiegs in den sommergrünen Laubwäldern immer häufiger immergrüne Hartlaubgewächse. In den Jahren 2003 (Zentral-Tessin und Süd-Misox) und 2022 (Mendrisiotto) ereigneten sich extreme Sommerdürren. Andere Störungen wie Baum- und Stockwürfe blieben kleinflächig, aber häuften sich, wobei vor allem die Edelkastanie betroffen war. Waldbrände sind wegen der effektiven Prävention nicht häufiger geworden, dafür aber tendenziell heftiger, da sich in den wenig bewirtschafteten Wäldern immer mehr Brandgutmaterial anhäuft. Bemühungen des Forstdienstes, die Wälder zu verjüngen und naturnaher zu gestalten, werden durch den hohen Wilddruck stark eingeschränkt. Dies alles stellt die Förster vor neue, schwer lösbare Herausforderungen.**

## 1 Besonderheiten der Alpensüdseite und Insubriens

### 1.1 Klima und Umweltverhältnisse

Die Alpensüdseite ist durch steile Talhänge und einen sehr grossen Höhengradienten charakterisiert (von 200 m ü. M. am Lago Maggiore bis 3402 m ü. M. auf der Adulaspitze im Nordtes-sin). Etwa die Hälfte der Region liegt über 1500 m ü. M., wo obermontane bis subalpine Verhältnisse herrschen. In diesem Bereich ist die Waldvegetation und deren Dynamik nicht wesentlich anders als in den entsprechenden nördlichen Hängen der Alpen.

Ganz anders sieht die Situation in den tieferen Lagen sowie in den seenahen Gebieten der sogenannten Insubrischen Region (kolline Höhenstufe: 200–800 (–1000) m ü. M.) aus, wo besondere klimatische und forstgeschichtliche Bedingungen herrschen (Spinedi und Isotta 2004). Das insubrische Klima ist warm-gemässigt mit durchschnittlichen Jahrestemperaturen, die in den letzten Jahrzehnten auf Grund der Kli-

maerwärmung von 11,5°C (Norm 1961–1990) auf 12,9°C (Norm 1991–2020) gestiegen sind (gemessen an der Wetterstation von MeteoSchweiz in Locarno Monti). Entsprechend hat sich die Anzahl der Frosttage um einen Drittel reduziert (Meteoschweiz 2023). Der Jahresniederschlag ist nach wie vor beträchtlich, obschon es einen klaren West-Ost Gradienten von 1900 mm im Westen (Locarno-Monti/TI) zu 1370 mm im Osten (z. B. meteorologische Station Grono/GR) gibt. Im Winter ist das Klima trocken und mild, die Sommer sind feucht (Niederschlag Juni bis September 800–1200 mm), wobei sich immer deutlicher werdende Trockenperioden und vermehrt starke Gewitter abzeichnen (BAFU *et al.* 2020; Gaia 2022).

### 1.2 Forstgeschichte und aktuelle Bewirtschaftung

Geobotanisch betrachtet liegt Insubrien an der Grenze zwischen den sommergrünen und den immergrü-

nen Laubwäldern (Klötzli 1988), wobei aufgrund der rezenten Klimaerwärmung die tiefsten Lagen des Gebietes (z. B. die seenahen Gebiete) bereits einen Biomwechsel zu den immergrünen Laurophyllen durchlaufen (Klötzli und Walther 1999). Aus kulturhistorischen Gründen dominieren in den meisten Teilen Insubriens Laubwälder, wo auf Silikatböden nach wie vor die Edelkastanie vorherrscht und auf Kalk Laubmischwälder mit (u. a.) Blumenesche (*Fraxinus ornus*) und Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*) stehen. Ab der (unter)montanen Höhenstufe (je nach Exposition 800–1000 m bis 1400 m ü. M.) bestehen die Wälder zu meist aus reinen Rotbuchenbeständen, die an den nordexponierten Lagen zum Teil auch durch die Weisstanne abgelöst werden (Ceschi 2014).

Die Edelkastanie ist in der Region nicht einheimisch. Sie wurde nach der Eroberung der Alpen durch die Römer eingeführt und kultiviert (Tinner *et al.* 1999). Die Römer waren vor allem am Kastanienholz aus dem Niederwaldbetrieb interessiert, da die Art eine fast unbegrenzte Stockausschlagfähigkeit und einen schnellen Zuwachs aufweist und das Holz dank dem hohen Tannin-gehalt besonders witterungsbeständig ist (Conedera *et al.* 2004). Diese Art der Kastanienbewirtschaftung wurde von der lokalen Bevölkerung übernommen und über die Jahrhunderte weitergeführt. So entstand der süd-alpine Kastanienanbau, durch den die Edelkastanie aktiv bis an ihre ökologische Grenze ausgebreitet wurde. In den steilsten Hanglagen wurde sie vor allem als Niederwald für die Produktion von Stangenholz kultiviert, in flacheren Gebieten und in der Nähe von Siedlungen dienten Kastanienhaine zur Fruchtproduktion und als Weidefläche (Krebs *et al.* 2014). Die Tradition der Niederwaldbewirtschaftung wurde später auch mit Buchen praktiziert. Ab dem Spätmittelalter wurden

Buchen auf Kosten der beigemischten Weisstanne als reine Plenterniederwälder zur Holzkohlegewinnung bewirtschaftet (Valsecchi *et al.* 2010; Bertogliati und Krebs 2019).

Mit dem sozioökonomischen Umschwung nach dem zweiten Weltkrieg wurden mit traditionellen Bewirtschaftungsformen verbundene Produkte wie Kastanienfrüchte, Kastanienpfähle und Holzkohle immer weniger nachgefragt. Sowohl die Kastanienkultur als auch die Holzkohleherstellung brachen ein, was zur beinahe vollständigen Aufgabe der Bewirtschaftung der Selven und der Kastanien- und Buchenniederwälder führte.

Aufgrund ihrer künstlichen Struktur und Zusammensetzung unterliegen die seit einigen Jahrzehnten nicht mehr bewirtschafteten Wälder einer spontanen Entwicklungsdynamik, die vorübergehend zu Überalterung und Instabilität führt (Conedera *et al.* 2001; Pividori *et al.* 2005; Vogt *et al.* 2006). Es sind genau diese extrem störungsanfälligen Bestände, die in der heutigen Zeit die grössten Herausforderungen für den Forstdienst beinhalten.

## 2 Extremereignisse und weitere Störungen

### 2.1 Anfälligkeit der Tieflagenwälder

Die allgemeine Klimaerwärmung seit 1990 und die immer häufiger werden Dürreperioden, die im Sommer 2003 (vor allem im Zentral-Tessin) und im Sommer 2022 (Südtessin) einen stark erhöhten Schweregrad aufwiesen, wirkten sich besonders auf die insubrischen Laubwälder aus (Conedera *et al.* 2021). Eventuell verstärkt durch die generelle Überalterung der nicht mehr bewirtschafteten Kastanienbestände, zeigte sich die Edelkastanie besonders empfindlich gegenüber Sommerdürren (Barthold *et al.* 2004). Hinzu kommt, dass die europäische Edelkastanie im Laufe ihrer Evolution nie mit den typischen Krankheiten und Schädlingen der Gattung *Castanea* konfrontiert wurde (Kastanienrindenkrebs – *Cryphonectria parasitica*; Tintenkrankheit – *Phytophthora* spp.; Kastaniengallwespe – *Dryocosmus kuriphilus*). Diese Krankheiten und Schädlinge kommen

natürlich auf dem asiatischen Kontinent vor und die asiatischen Kastanienarten entwickelten Resistenzmechanismen gegen sie (Conedera *et al.* 2018a). Im Tessin führte der kumulative Stress (z.B. mehrjähriger Gallwespenbefall, gefolgt von Sommerdürre und vom

Auftreten der Tintenkrankheit im Boden) zu einer hohen Mortalitätsrate der Kastanie (Scherrer *et al.* 2022), die zum Absterben ganzer Bestände im Schutzwald geführt hat (Abb. 1).

Selbstverständlich ist die Kastanie nicht die einzige Baumart Insubriens,



Abb. 1. Kastanienbestände ob Avegno (Tessin), die aufgrund von kumuliertem Stress (Trockenheit, Tintenkrankheit, Kastaniengallwespe usw.) abgestorben sind.



Abb. 2. Dürre resistente Blumenesche mit einer verdorrten Stechpalme im Hintergrund (a); spärliche Reaktion einer Traubeneiche (b) und einer Hopfenbuche (c) auf die vorjährigen Dürreschäden im Bosco del Penz (Chiasso).

die empfindlich auf Sommerdürre reagiert. Die Hitzedürre des Jahres 2022 zeigte beispielsweise, dass insbesondere auf kalkhaltigem und flachgründigem Untergrund auch die sommergrünen Eichen (*Quercus* spp.) und die Hopfenbuche (*Ostrya caropiniifolia*) trockenheitsanfällig sind, während die Blumenesche (*Fraxinus ornus*) besonders widerstandsfähig zu sein scheint (Abb. 2).

## 2.2 Instabilität der unbewirtschafteten Laubwälder

Verlassene und überalterte Niederwaldstöcke in Kastanien- und Buchenwäldern sowie grossgewachsene Eichen, die nicht mehr bewirtschaftet werden, neigen mit der Zeit zur Entwicklung einer unverhältnismässig grossen oberirdischen Biomasse ohne einen entsprechenden Ausbau und Erneuerung des Wurzelsystems (Pividori *et al.* 2008). Eine solcherart unausgewogene Entwicklung kann zu Baum- und Stockwürfen führen (Vogt *et al.* 2006), die wiederum Steine und Erde mobilisieren können. Nach Angaben des Forstdienstes des Kantons Tessin sind Steinschläge, die durch Stockwürfe aus Felswänden ausgelöst werden, derzeit eine der häufigsten Naturgefahren für Siedlungen (Abb. 3).

## 2.3 Neuartiges Waldbrandgeschehen?

Die allgemeine Extensivierung der Waldbewirtschaftung, in Verbindung mit immer extremeren Dürreperioden, macht die Alpensüdseite besonders anfällig für Waldbrände (Pezzatti *et al.* 2016). Dank gezieltem Feuermanagement und einer guten Prävention konnte die Anzahl der Waldbrände und deren durchschnittliche Grösse in den letzten Jahrzehnten reduziert werden (Ghiringhelli *et al.* 2019). Die wenigen Brände, die dem Ersteintritt entkommen, haben eine grössere Intensität (Conedera *et al.* 2023) und ein höheres Gefährdungspotenzial (Melzner *et al.* 2022) als früher (Abb. 4). Der Mangel an Schnee im Winter führt zusätzlich zu aussergewöhnlichen Brandereignissen, nicht nur weil diese ausserhalb der normalen Brandsaison liegen, sondern



Abb. 3. Aus den Wurzeln eines Stockwurfes mobilisierte Steine, die auf die unterliegenden Siedlungen zu stürzen drohen (Arbedo, Tessin).



Abb. 4. Durch Waldbrand ausgelöster Steinschlag oberhalb von Verdasio (Centovalli, Tessin).

auch, weil sich diese bis zu den Nadelwäldern in den höheren Lagen ausbreiten können, die früher oft von einer Schneedecke geschützt wurden (Krättli 2017; Rescalli 2017). Auch die Häufigkeit der Blitzschlagbrände (v.a. in höheren Lagen) nimmt tendenziell zu. Die Entflammbarkeit durch Blitze wird durch die Trockenheit des Brandguts (infolge längerer Dürren) und Wegfall von Bewirtschaftung (mehr Brandgut) begünstigt (Moris *et al.* 2020).

## 3 Herausforderungen im Umgang mit Störungen

### 3.1 Überholte Waldstrukturen und schwierige Forstverhältnisse

Eine der grössten forstlichen Herausforderungen ist im insubrischen Gebiet das waldbauliche Erbe der Vergangenheit, das durch künstliche Waldstrukturen geprägt ist. In den allermeisten Fällen sind diese Waldstrukturen aus früheren Niederwäldern entstanden, die heute weitgehend aus den gewöhnlichen Umtriebszeiten herausgefallen sind und sich in einem strukturellen

Ungleichgewicht zwischen oberirdischer Biomasse und Wurzelsystem befinden. Ein Zeugnis dieser Vergangenheit ist die Dominanz einiger weniger Arten wie der Edelkastanie in Beständen der kollinen und untermontanen Stufe und der Buche in der unter- und obermontanen Stufe. Die Erneuerung und Überführung dieser Waldstrukturen in naturnahe Wälder gestaltet sich nicht nur durch die nachteiligen geomorphologischen Eigenschaften des Geländes problematisch und kostspielig, sondern besonders auch durch den zusätzlichen Neophyten- und Huftierdruck (Cioldi *et al.* 2023).

### 3.2 Invasive gebietsfremde Arten

Durch die milden klimatischen Bedingungen und die steigenden Temperaturen ist Insubrien ein sehr günstiges Gebiet für die Etablierung zahlreicher gebietsfremder Pflanzenarten (Schoenenberger *et al.* 2014).

Aus forstlicher Sicht ist die Zusammensetzung der gebietsfremden Arten, die in den Wald eindringen, nicht nur von den klimatischen Rahmenbe-

dingungen und Standortfaktoren abhängig, sondern auch vom vorhandenen Samendruck und vom Grad der Störung der Bestände (Conedera und Schoenenberger 2014).

In Insubrien können zwei unterschiedliche Muster beobachtet werden: Einerseits siedeln sich schatten-ertragende, immergrüne Arten wie der Kirschlorbeer (*Prunus laurocerasus*), die Chinesische Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei*) und das Japanische Geissblatt (*Lonicera japonica*) im Unterholz dunkler, ungestörter Wälder in Siedlungsnähe an (Conedera *et al.* 2018b). Andererseits kolonisieren sommergrüne und lichtbedürftige Gehölzarten wie der Götterbaum (*Ailanthus altissima*), die Robinie (*Robinia pseudoacacia*), der Blauglockenbaum (*Paulownia tomentosa*) und der Sommerflieder (*Buddleja davidii*) als Pioniere die durch Naturereignisse gestörten

Waldgebiete (Abb. 5) sowie waldbaulich frisch behandelte Flächen (Maringer *et al.* 2012; Wunder *et al.* 2018). Diese gebietsfremden Arten führen nicht a priori zu einem Problem. Eine starke Invasion, insbesondere durch immergrüne Baumarten, kann die Verjüngung der einheimischen Arten hemmen (Pezzatti *et al.* 2021). Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch weitgehend unklar, welchen Einfluss diese invasiven Arten auf den Schutz vor Naturgefahren und andere Ökosystemleistungen haben (Knüsel *et al.* 2020).

### 3.3 Wilddruck auf die Verjüngung der einheimischen Arten

Eine immer akuter werdende Herausforderung stellt der Verbissdruck auf die Verjüngung der einheimischen Baumarten dar (Bebi *et al.* 2023). In

einigen Gebieten ist der Einfluss der Huftiere auf die Waldverjüngung so gross, dass junge Bäume kaum das Stangenholzstadium erreichen. Trotz eines beträchtlichen Verjüngungspotenzials schaffen es für das Wild sehr attraktive Baumarten wie die Weisstanne nicht einmal über das Keimlingsstadium hinaus (Sala 2017). Dieser Druck auf die einheimischen Arten führt zu einer verstärkten Begünstigung der invasiven gebietsfremden Arten, die in der Regel vom Wildverbiss verschont bleiben (Abb. 6).

## 4 Schlussbemerkungen

Die Alpensüdseite und insbesondere Insubrien sind kulturgeschichtlich und klimatisch bedingt sehr anfällig für Waldstörungen. Die grössten Herausforderungen sind die künstlichen und nicht mehr aktuellen Waldstrukturen und Baumartenmischungen, der steigende Druck durch nicht-einheimische invasive Arten sowie der Wildverbiss natürlich verjüngter einheimischer Baumarten. Durch das Zusammenwirken dieser drei Herausforderungen wird eine Überführung der Wälder in naturnahe und zukunftsfähige Bestände nahezu verunmöglicht.

Die Probleme im insubrischen Raum mit klimatischen Extremen und neuen invasiven Arten und Schädlingen sowie Wildverbiss kommen immer mehr auch nördlich der Alpen vor. Im Rahmen der Diskussion zum globalen Wandel können die Erfahrungen aus Insubrien als Freiland-Laboregebnisse und Frühwarnsystem für die ganze Schweiz dienen. Dabei nimmt die Umweltforschung eine zentrale Rolle als Unterstützung der Forstpraxis ein.

## 5 Literatur

- Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Meteorologie, Klimatologie MeteoSchweiz (2020) Klimawandel in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 2013, 105 S.
- Barthold F., Conedera M., Torriani D., Spinedi F. (2004) Welkesymptome an Edelkastanien im Sommer 2003 auf der Alpensüdseite der Schweiz. Schweiz. Z. Forstwes. 155, 9: 392–399.



Abb. 5. Ehemaliger Buchenwald, der nach einem Waldbrand zu einem Götterbaumbestand geworden ist (Cugnasco, Tessin, Bild: Lara Lucini).

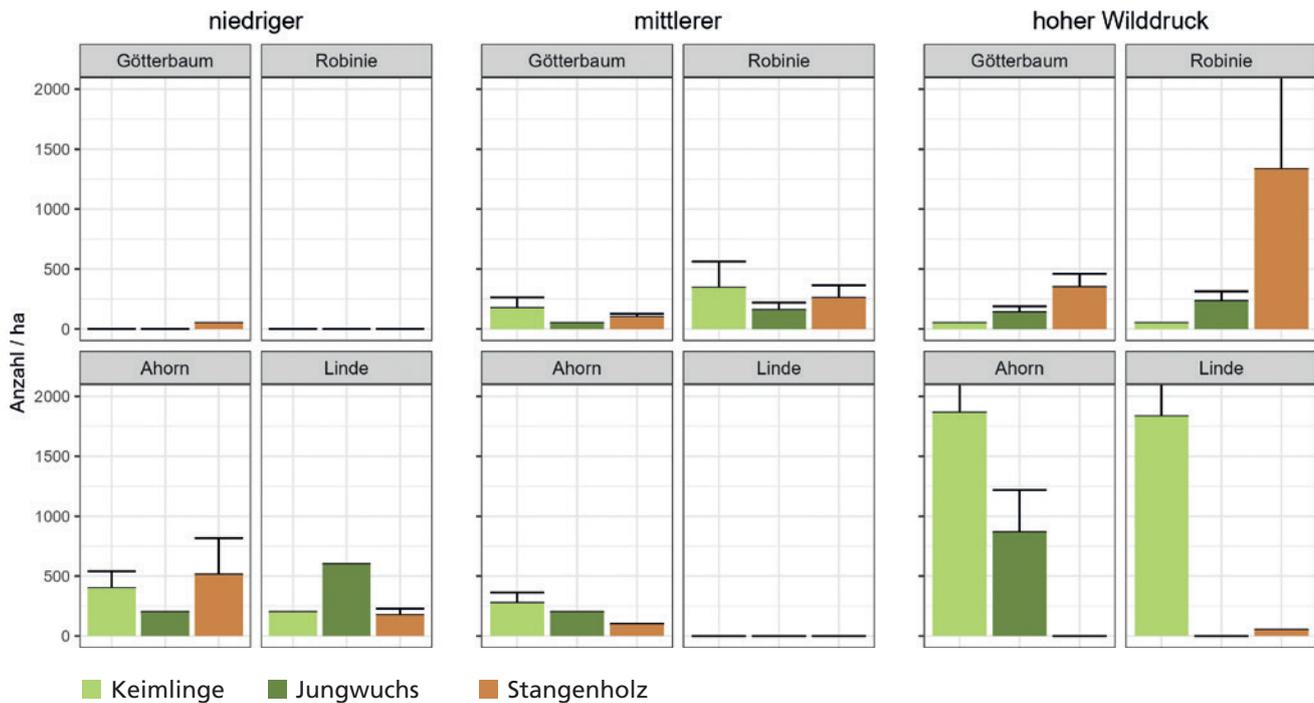


Abb. 6. Erfasste Baumartenverjüngung in Waldlücken im Tessiner Kastaniengürtel, die einem unterschiedlichen Wilddruck ausgesetzt sind. Bei hohem Wilddruck können nur die invasiven Neophyten das Stangenholzstadium erreichen.

Bebi P., Allgaier Leuch B., Bugmann H., Conedera M., Frehner M., Insinna P., ... (2023) Wildhuftiere und Waldverjüngung: Wenn die Zeit davonläuft. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 174, 5: 274–279.

Bertogliati M., Krebs P. (2019) Aus dem Wald in die Stadt: Produktion und Handel von Holzkohle in den insubrischen Alpentälern. In: Lorenzetti L., Decorzant Y., Head-König A.L. (Eds.) Histoire. Relire l'altitude. La terre et ses usages. Suisse et espaces avoisinants, XII<sup>e</sup>-XXI<sup>e</sup> siècles. Éditions Alphil-Presses universitaires suisses. 123–147.

Ceschi I. (2014) Il bosco del Canton Ticino. Dipartimento del territorio; Armando Dadò Editore, Bellinzona-Locarno, 431 S.

Cioldi F., Conedera M., Giudici F., Herold A. (2023) Dinamica evolutiva dei boschi al Sud delle Alpi. Forestaviva 90: 6–8.

Conedera M., Stanga P., Oester B., Bachmann, P. (2001) Different post-culture dynamics in abandoned chestnut orchards and coppices. For. Snow Landsc. Res. 76, 3: 487–492.

Conedera M., Krebs P., Tinner W., Pradella M., Torriani D. (2004) The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. Veg. Hist. Archaeobot. 13: 161–179.

Conedera M., Schönenberger N. (2014) Wann werden gebietsfremde Gehölze invasiv? Ein methodologischer Ansatz. Schweiz. Z. Forstw. 165, 6: 158–165.

Conedera M., Grüner J., Delb H., Gehring E., Prospero S. (2018a) Die wichtigsten Krankheiten und Schädlinge der Edelkastanie. In: LWF Wissen, 81 «Beiträge zur Edelkastanie», 71–89.

Conedera M., Wohlgemuth T., Tanadini M., Pezzatti G.B. (2018b) Drivers of broad-leaved evergreen species spread into deciduous forests in the southern Swiss Alps. Reg. Environ. Chang. 18, 2: 425–436.

Conedera M., Krebs P., Gehring E., Wunder J., Hülsmann L., Abegg M., ... (2021) How future-proof is sweet chestnut (*Castanea sativa*) in a global change context? For. Ecol. Manag. 494, 119320: 11 S.

Conedera M., Pezzatti G.B., Guglielmetti A., Maringer J., Gehring E., Krebs, P. (2023) Are high-severity burns in Alpine beech forests related to eruptive fire behavior? Forestry 1–9.

Gaia M. (2022) I cambiamenti climatici: passato, presente e futuro. Bollettino della Società Ticinese di Scienze Naturali 110: 19–24.

Ghiringhelli A., Pezzatti G.B., Conedera M. (2019) Das Konzept «Waldbrand 2020» des Kantons Tessin. Schweiz. Z. Forstwes, 170, 5: 242–250.

Klötzli F. (1988) On the global position of the evergreen broad-leaved (non-ombrophilous) forest in the subtropical and temperate zones. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 98: 169–196.

Klötzli F., Walther G.R. (1999) Recent vegetation shifts in Switzerland. In: Klötzli F., Walther G.R. (eds.) Conference on Recent Shifts in Vegetation Boundaries of Deciduous Forests, Especially Due to General Global Warming. Basel: Birkhäuser. 15–29.

Knüsel S., Wunder J., Moos C., Dorren L., Schwarz M., Gurtner D., ... (2020) Der Götterbaum in der Schweiz. Ökologie und Managementoptionen. Merk. Prax. 66: 12 S.

Krättli S. (2017) Ich hörte meine Familie schreien: «der Wald brennt!». Bündner Wald 70, 2: 10–16.

Krebs P., Tinner W., Conedera M. (2014) Del castagno e della castanicoltura nelle contrade insubriche: tentativo di una sintesi eco-storica. Archivio Storico Ticinese, 155: 4–37.

Maringer J., Wohlgemuth T., Neff C., Pezzatti G.B., Conedera M. (2012) Post-fire spread of alien plant species in a mixed broad-leaved forest of the Insubric region. Flora 207, 1: 19–29.

- Melzner S., Conedera M., Pezzatti, G.B. (2022) Post Waldbrand Risiko in den schweizerischen Gebirgen. Wildbach- und Lawinenverbau, 86, 190: 120–130.
- Meteoschweiz (2023) Klimadiagramme und Normwerte pro Station. [www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/ext/climate-climsheet.html](http://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/applikationen/ext/climate-climsheet.html). Letzter Zugriff am 15. Juli 2023.
- Moris J.V., Conedera M., Nisi L., Pezzatti G.B. (2020) Blitzschlagbrände und Sommertrockenheit: Gibt es einen Zusammenhang? Schweiz. Z. Forstwes. 171, 5: 281–287.
- Pezzatti G.B., De Angelis A., Conedera M. (2016). Potenzielle Entwicklung der Waldbrandgefahr im Klimawandel. In: Pluess A.R., Augustin S., Brang P. (Eds.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien, Haupt, 223–244.
- Pezzatti G.B., Tonello M., Conedera M. (2021) La palma di Fortune: una specie iconica per il Ticino che va gestita. Il Giardiniere 19: 47–51.
- Pividori M., Armando F., Conedera, M. (2005) Post cultural dynamics in a mixed chestnut Coppice at its ecological border. Acta Horticulturae 693: 219–224.
- Pividori M., Meloni F., Nicoloso A., Pozzi E., Arienti R., Conedera M. (2008) Ribaltamento delle ceppaie di castagno. Due casi di studio in cedui invecchiati. Sherwood 149: 17–21.
- Rescalli R. (2017) Wenn der Schutzwald sich in Rauch auflöst. Wald Holz 2: 40–42.
- Sala, V. (2017) Wildverbiss vs. Einwaldung im Misox. Bündner Wald 70, 2: 31–33.
- Scherrer D., Ascoli D., Conedera M., Fischer C., Maringer J., Moser B., ... (2022) Canopy disturbances catalyse tree species shifts in Swiss Forests. Ecosyst. 25: 199–214.
- Schoenenberger N., Röthlisberger J., Carraro G. (2014) La flora esotica del Cantone Ticino (Svizzera). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali 102: 13–30.
- Spinedi F., Isotta F. (2004) Il clima del Ticino. Dati, statistiche e società 4, 2: 4–39.
- Tinner W., Hubschmid P., Wehrli M., Ammann B., Conedera M. (1999) Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. J. Ecol. 87: 273–289.
- Valsecchi V., Carraro G., Conedera M., Tinner W. (2010) Late-Holocene vegetation and land-use dynamics in the Southern Alps (Switzerland) as a basis for nature protection and forest management. Holocene 20: 483–495.
- Vogt J., Fonti P., Conedera M., Schröder B. (2006) Temporal and spatial dynamic of stool uprooting in abandoned chestnut coppice forests. For. Ecol. Manag. 235, 1–3: 88–95.
- Wunder J., Knüsel S., Dorren L., Schwarz M., Bourrier F., Conedera M. (2018) Götterbaum und Paulownie: die «neuen Wilden» im Schweizer Wald? Schweiz. Z. Forstwes. 169, 2: 69–76.

### Abstract

#### Challenges in dealing with forest disturbances on the southern side of the Alps

In the context of the impact of global change on our forests, the southern slope of the Alps, and Insubria in particular, may act as an outdoor laboratory and early warning region for the whole of Switzerland. Historically, the forests are far from being natural, both in terms of species composition and management system, where the latter mainly consists of former, presently unmanaged and instable, coppice stands. Extreme summer droughts occurred in 2003 (central Ticino and southern Misox) and 2022 (Mendrisiotto). Other disturbances, such as stool uprooting, have remained small-scale, but have increased in frequency in recent years, mainly affecting chestnut trees. Due to effective preventive measures, forest fires have not become more frequent, but do show a tendency of becoming more intense, as more fuel accumulates in the forests. The invasion of both undisturbed and disturbed forests by alien species represents an additional challenge for foresters. Unfortunately, the efforts of the forest services to rejuvenate the forests and make them more natural are greatly hampered or even made impossible by ungulate browsing.

Keywords: chestnut tree, invasive neophytes, summer heat drought, game browsing, stool uprooting



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

# Dynamik von Störungen in Wäldern auf der Alpennordseite von 1900 bis 2022

Thomas Wohlgemuth<sup>1</sup>, Valentin Queloz<sup>1</sup>, Barbara Moser<sup>1</sup>, Gianni Boris Pezzatti<sup>2</sup>, Daniel Scherrer<sup>1</sup>, Yann Vitasse<sup>1</sup> und Marco Conedera<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz, thomas.wohlgemuth@wsl.ch, valentin.queloz@wsl.ch, barbara.moser@wsl.ch, daniel.scherrer@wsl.ch, yann.vitasse@wsl.ch

<sup>2</sup> Eidg. Forschungsanstalt WSL, Cadenazzo, Schweiz, boris.pezzatti@wsl.ch, marco.conedera@wsl.ch

**Werden Störungen in Wäldern auf der Alpennordseite in den nächsten Jahrzehnten zunehmen? Auf der Suche nach Antworten liefern quantitative Angaben über Waldschäden wie Sturmholz, Käferholz, Bruchholz und Waldbrandflächen vom Beginn des 20. Jahrhunderts bis heute konkrete Anhaltspunkte. Trotz Unvollständigkeit der Datenreihen zeigen die meisten Trends eine starke Zunahme der Waldschäden infolge von Störungen seit den 1980er-Jahren an. Gründe dafür sind der verschärfte Klimawandel, steigender Holzvorrat, invasive Schadorganismen und verschiedene Interaktionen. Wir gehen davon aus, dass diese Trends sich in gleicher Richtung fortsetzen werden.**

## 1 Einleitung

Seit es schriftliche Aufzeichnungen gibt, zählen meteorologische Extremereignisse und dadurch direkt oder indirekt ausgelöste Schäden an Bauten, Kulturen und Wäldern zu den häufig erwähnten Mitteilungen. Dazu gehören starke Niederschläge, die zu Überschwemmungen und Rutschungen führen, anhaltende Trockenheit beziehungsweise Dürren mit direkten Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft sowie damit verbunden ein erhöhtes Waldbrandrisiko und Befall geschwächter Bäume durch Schadorganismen. Spätfröste führen in der Landwirtschaft oft zu erheblichen Ernteausfällen, können aber auch Bäume während des Austriebs ihrer Blätter empfindlich schwächen. Nicht nur orkanartige Stürme haben verheerende Schäden in Wäldern erzeugt, sondern auch grosse Schneemengen. Ein Gradmesser für solche Extremereignisse und Störungen (in der Folge als Störungen zusammengefasst) sind die erzeugten Schäden, die der Öffentlichkeit und den Waldbesitzern entstehen (z.B. Möhring *et al.* 2021). Mit der systematischen Erfassung von meteorologischen Parametern wie Luftdruck, Regenmengen, Temperaturen und Windgeschwindigkeit sind Witterungsextreme räumlich und zeitlich quantifizierbar. Demgegenüber bleiben Berichte über Schäden mit einigen Ausnahmen mehr oder weniger hete-

rogen und daher unvollständig, sowohl raumzeitlich als auch bezüglich Ausmass in Volumen, Fläche beziehungsweise Verlust von Ökosystemleistung. Für die Erfassung von Schäden durch Störungen wird je nach Ereignis unterschiedlich viel Aufwand betrieben. Dies ist einer der Gründe, weshalb die aktuell oft diskutierte Frage, ob Störungen in der Häufigkeit und Intensität zunehmen, nicht einfach zu beantworten ist. Europaweite Erhebungen belegen, dass der Verlust von Holzmasse infolge von Störungen in Wäldern seit 1950 deutlich zugenommen hat (Patacca *et al.* 2023), und Berechnungen anhand von Modellen gehen von einer weiteren Zunahme für die nächsten Jahre in Europa aus (Seidl *et al.* 2017). In diesen Publikationen sind auch Zahlen aus der Schweiz enthalten, doch sind diese im Detail unvollständig und reichen nur bis 1950 zurück. Im vorliegenden Bericht werden die aktuell greifbaren Daten über Störungen und deren Auswirkungen auf den Schweizer Wald der Alpennordseite für den Zeitraum von 1900 bis 2022 quantifiziert und eingeordnet. Davon ausgehend wird ein Blick in die Zukunft gewagt.

## 2 Material und Methoden

Witterungsextreme oder klimatische Extremereignisse definieren sich durch stark abweichende meteorologische

Messwerte in langjährigen Messreihen. Sie können, müssen aber nicht unbedingt zu Schäden in Wäldern oder in der Landwirtschaft führen. Falls sie ein rasches Absterben von Biomasse verursachen, werden sie als Störungen bezeichnet. Der Prozess der Störung verändert sowohl den Lebensraum als auch die Verfügbarkeit von Ressourcen (erweitert nach Jentsch *et al.* 2019).

Im Perimeter «Alpennordseite» sind Jura, Mittelland, Voralpen und Zentralalpen (Graubünden und Wallis ohne ihre Südtäler) vereint. Unser Fokus richtet sich auf die schadenintensivsten Störungsursachen Wind (Winterstürme, Sommergewitter, Föhnstürme → Sturmholz), Schädlingsbefall (hauptsächlich Borkenkäfer → Käferholz), Baumkrankheit (Eschentriebsterben), Schnee- und Eisbruch (→ Bruchholz), Lawinen, Waldbrand und «andere Störungen», in denen der Befall durch andere Insekten und weitere Massenbewegungen enthalten sind. Berücksichtigt wurde das Zeitfenster von 1900 bis 2022. In der wichtigsten Quelle für frühere Waldschäden, die Bütikofer-Datensammlung (Bütikofer 1987), wurden etwa ab 1900 verschiedene Waldschäden als Folge von Störungen – insbesondere Sturmholz, Käferholz, Bruchholz, Waldbrandflächen und Schäden durch Massenbewegungen – immer öfter als Kubikmeter Holz, als Anzahl Stämme und als Fläche in Hektaren beziffert. Für die Vergleichbarkeit aller Schäden wurden in Analogie zu europäischen Quantifizierungen (Patacca *et al.* 2023) kubische Werte verwendet. Angaben zu Schäden in Hektaren wurden über die gesamte Periode 1900–2022 mit 1 ha=100 m<sup>3</sup> umgerechnet, trotz landesweiter Zunahme des Holzvorrats während dieser Zeit (z.B. Usbeck *et al.* 2010a), und Angaben in Stämmen mit 1 Stamm = 1 m<sup>3</sup> umgewandelt.

Die umfangreiche Bütikofer-Literaturdatensammlung wurde zur Zeit des Waldsterbens in den 1980er-Jahren zur Einordnung von Witterungsextremen und Waldschäden erstellt. Sie enthält qualitativ und quantitativ beschriebene Auswirkungen von Störungen im Schweizer Wald von 1800 bis 1961 (Pfister *et al.* 1988). Ergänzend zu dieser Datensammlung stammen weitere Daten von der Waldbranddatenbank SwissFire (Pezzatti *et al.* 2010), der Sturmholzsammlung von Usbeck (2015), der Webseite *sturmarchiv.ch*, der Schadenlawinendatenbank des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF, der Ereignisanalyse Lawinensituation im Januar 2018 (Bründl *et al.* 2019), Waldschutz Schweiz (Dubach *et al.* 2023) für Käferholz (in der Regel Befall von Fichten durch den Buchdrucker *Ips typographus*) von 1984 bis 2022, für Zwangsnutzungen von Eschen infolge des Eschentriebsterbens (Abb. 1) seit 2016 und für Sturmholz seit 2019. Direkte Anfragen zu Sturmholzmengen seit 2010 wurden bei den Kantonen Bern, Graubünden und St. Gallen durchgeführt.

Jede der zur Hand liegenden Datenreihen ist faszinierend, keine aber vollständig für die gewählte Zeitspanne: Bütikofer erschloss die ihm zugänglichen schriftlichen Quellen, in welchen Schäden an Bäumen und Beständen angesprochen wurden. Je nach Kanton und Schadensausmass sind diese unterschiedlich genau quantifiziert. Zu Sturmholz decken die Recherchen von Usbeck (2015) die grössten Windwurfereignisse als Folge von Winterstürmen ab, machen aber keine Angaben über Sturmholz als Folge von Föhnstürmen und Sommergewittern. Das Sturmarchiv Schweiz (*sturmarchiv.ch*) listet alle Stürme seit 1860 auf und nennt verschiedentlich Quellen mit quantitativen Angaben zu Sturmholz, die sich hauptsächlich auf Nennungen in Zeitungsartikeln beschränken. Waldschutz Schweiz erfragt Sturmholz seit 2019 bei Forstkreisen, und seit 2022 auf Revierebene, mit jährlich zunehmender Rücklaufquote. Für Käferholz liegen insbesondere für die Jahre 1947 bis 1953 und ab 1984 zahlenmässige Angaben vor. In den Jahren davor und dazwischen sind die Meldungen meist qualitativ (z.B. «In



Abb. 1. Vom Eschentriebsterben befallene Eschen in Embrach, Kt. Zürich. Zwangsnutzungen im Zusammenhang mit dieser Pilzkrankheit werden seit 2016 landesweit erfasst (Foto: Andrin Gross).

allen Forstkreisen zeigten sich kleine Herde von Borkenkäfern»).

Schadenangaben zu Waldbränden sind meist als Flächen angegeben. Diese betreffen neben den versehrten Wäldern oft auch verbrannte Offenlandgebiete im Waldbrandperimeter. Während bei verheerenden Kronenfeuern Bäume absterben, überstehen adulte Bäume ein Bodenfeuer oft schadlos. Daher ist die Umrechnung von Hektaren in Kubikmeter verbranntes Holz mit der oben erwähnten Formel vor allem bei intensiven, meist grossflächigen Waldbränden zutreffend, bei kleinen Waldbränden jedoch stark überschätzt.

Zwangsnutzungen als Folge von Trockenheit wurden öfters gemeldet, insbesondere als Folge der Trockenheit 1947. Vom ausgedehnten Anfall von Totholz als Folge der trockenen Jahre 2018 bis 2020 und 2022 liegt uns vorerst nur eine quantitative Angabe vom Kanton Jura vor (Pressemitteilung

8.7.2019). Schäden durch Maikäfer und Engerlinge sind in der Bütikofer-Datenbank fast jährlich erwähnt, jedoch nicht beziffert. Auch heute erzeugen die Käfer in verschiedenen Alpentälern noch regelmässig Blattschäden, von denen sich die Bäume aber wieder erholen. Über Schäden an Waldbäumen infolge von Spätfrösten fehlen uns quantitative Angaben über die ganze Zeitperiode, obwohl die oft von weitem sichtbaren Blattverbräunungen immer wieder beobachtet und erwähnt werden (Bütikofer 1987; Vitasse und Rebetez 2018).

Alle Angaben in Kubikmetern und Hektaren wurden pro Jahr aufsummiert und in den sieben Kategorien Windwurf, Borkenkäfer, Eschentriebsterben, Schnee/Eis, Lawinen, Waldbrand und «Andere» ausgewertet. Alle Abbildungen wurden mit der Statistik-Software R Version 4.1.3 (*cran.r-project.org*) hergestellt.

### 3 Resultate

Über die Zeitspanne von 1900 bis 2022 verursachten Stürme die grössten Waldschäden im Gebiet der Zentralalpen, Voralpen, Mittelland und Jura (Abb. 2). Die schadenintensivsten Ereignisse waren die Winterstürme Lothar (1999), Vivian (1990), Adolph-Bermpohl (1967) und Burglind (2018). Während die durchschnittlichen Jahressummen an Waldschäden bis etwa 1980 mit wenigen Ausnahmen (z.B. Föhnsturm von 1919) zwischen 50000 und 200000 m<sup>3</sup> variierten, wurden ab diesem Zeitpunkt sowohl grössere Sturmholz- als auch deutlich grössere Käferholzmengen gemeldet. Die mittlere jährliche Schadenmenge hat daher seit den 1980er-Jahren deutlich zugenommen (Tab. 1). Im Vergleich zur Periode 1900 bis 1940 (3,7 Mio. m<sup>3</sup>) und 1941 bis 1981 (6,3 Mio. m<sup>3</sup>) betragen die Waldschäden in der Periode 1982 bis 2022 (43,0 Mio. m<sup>3</sup>) knapp das 12-fache beziehungsweise das 6,5-fache der früheren Perioden. In den letzten 41 Jahren machten Sturmholz ungefähr 30,8 Mio. m<sup>3</sup> (56 %), Käferholz etwa 18,2 Mio. m<sup>3</sup> (42 %) und Eschentrieb-

Tab. 1. Summe der jährlichen Schadensvolumen grob gerundet in 1000 m<sup>3</sup>, in Perioden von 41 Jahren von 1900 bis 2022.

|                                    | 1900–1940   | 1941–1981   | 1982–2022     | Summe  |
|------------------------------------|-------------|-------------|---------------|--------|
| Windwurf                           | 2800        | 4110        | 23 925        | 30 835 |
| Borkenkäfer                        | 40          | 835         | 18 235        | 18 230 |
| Schnee-/Eisbruch                   | 610         | 210         | 330           | 1150   |
| Eschentriebsterben                 | 0           | 0           | 865           | 865    |
| Lawinen                            | 95          | 510         | 240           | 845    |
| Waldbrand                          | 100         | 240         | 175           | 515    |
| Andere                             | 15          | 380         | 140           | 535    |
| <b>Summe in 1000 m<sup>3</sup></b> | <b>3660</b> | <b>6285</b> | <b>43 035</b> |        |

sterben 0,9 Mio. m<sup>3</sup> (2%) aus. Schadholz von Schnee- und Eisbruch sowie Lawinen machen 1,4 % und Waldbrand 0,4 % aus.

Nach der Jahrhundertdürre von 1947 (Pfister *et al.* 1988) wurde in der Schweiz ein bis dato unbekannt intensiver Borkenkäferbefall festgestellt. Die Käferholzmengen erreichten aber gemäss den zusammengetragenen Zahlen nie das Ausmass, das nach den Stürmen Vivian und Lothar registriert worden ist.

Waldbrände sind auf der Alpen-südseite und in trockenen Gebieten der Zentralalpen die wichtigsten Stö-

rungstypen, in den Voralpen, im Mittelland und im Jura spielen sie dagegen – verglichen mit Windwurf und Borkenkäferbefall – nur eine kleine Rolle. Selbst grosse und weit sichtbare Ereignisse wie die Waldbrände am Calanda (1943, 477 ha; Winkler 1944) oder bei Leuk (2003, 310 ha; Wohlgemuth *et al.* 2005) ragen in der Bilanz der jährlich aufsummierten Schäden durch andere Störungen nicht hervor. Für die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts sind als grösste Schadensursachen Schnee- und Eisbruch, Lawinen, Föhn- und Winterstürme sowie Dürre zu nennen.

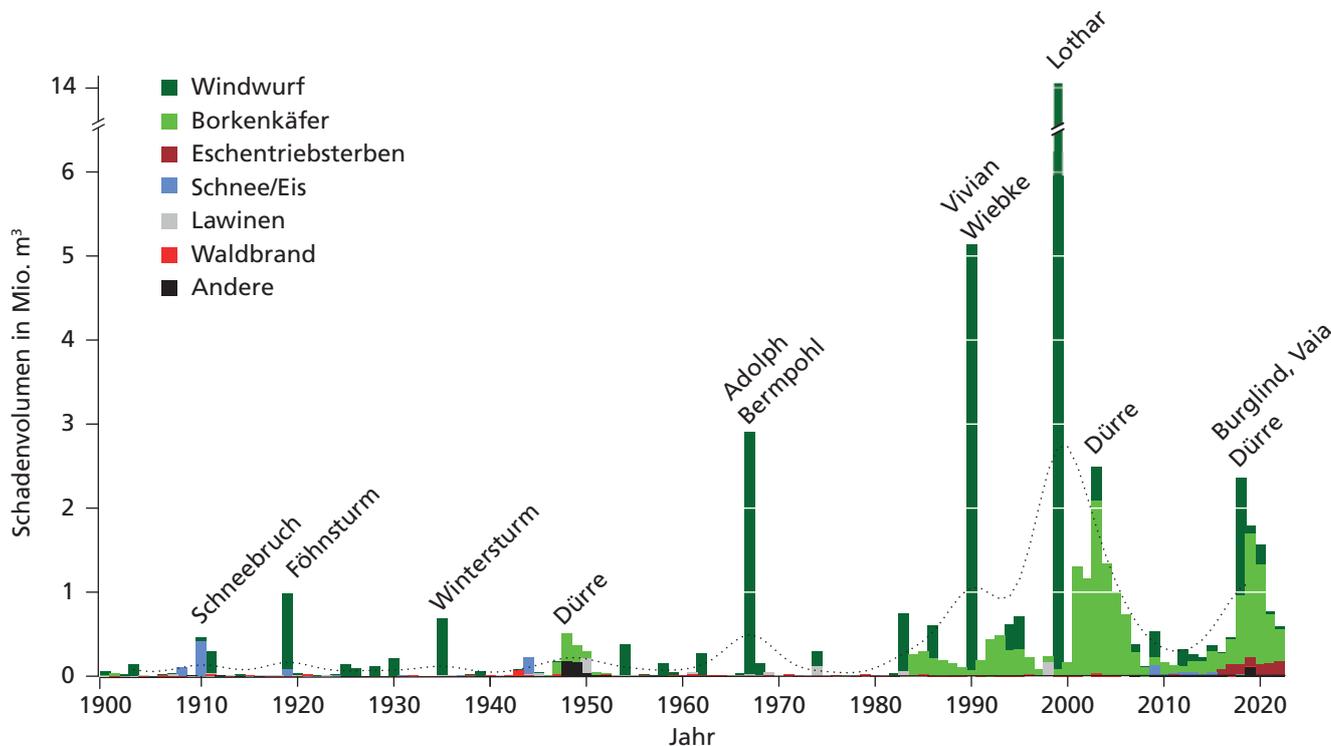


Abb. 2. Jährliche Schadensvolumen von Störungen (in m<sup>3</sup> Schadholz) in den Zentralalpen, Voralpen, Mittelland und Jura von 1900 bis 2022, basierend auf der Bütikofer-Datenbank (Bütikofer 1987), SwissFire (Pezzatti *et al.* 2010), Windwurfdaten (Usbeck 2015), SLF-Schadenlawinendatenbank, Waldschutz Schweiz (Dubach *et al.* 2023) sowie weiterer Informationen (siehe «Methoden»). Flächenangaben von Schäden wurden über die gesamten 123 Jahre in Kubikmeter umgerechnet (mit 1 ha = 100 m<sup>3</sup>, 1 Stamm = 1 m<sup>3</sup>). Die gestrichelte Linie gibt den gleitenden Mittelwert an (Lowpass-Methode).

Waldbrände auf der Alpennordseite (Voralpen, Mittelland, Jura) haben im Vergleich mit jenen in den Zentralalpen und der Alpensüdseite meist nur geringe Schäden in den betroffenen Wäldern verursacht (Abb. 3). Die landesweite, jährlich aufsummierte Fläche der Waldbrände in Hektaren war in der Mitte des letzten Jahrhunderts am grössten und hat seither deutlich abgenommen (Abb. 3). Demgegen-

über variierte die Anzahl Brände seit den 1960er-Jahren bis heute landesweit in einem ähnlichen Rahmen. Nach Regionen aufgeschlüsselt hat die Anzahl Waldbrände pro Jahr auf der Alpennordseite seit etwa 2000 zugenommen, auf der Alpensüdseite jedoch seit den 1990er-Jahre deutlich abgenommen. Die zahlreicheren Waldbrände auf der Alpennordseite sind vor allem eine Folge der systematischen Erfas-

sung durch SwissFire, resultierten aber nicht in einer wachsenden Fläche von versehrten Wäldern (Abb. 4).

Einige der grössten Waldbrände der Schweiz haben sich während der letzten 40 Jahre in den Zentralalpen ereignet. Diese grossen Kronenfeuer machten in den Jahresbilanzen der brandversehrten Waldflächen jeweils den bedeutendsten Anteil aus: im Kanton Graubünden St. Luzisteig

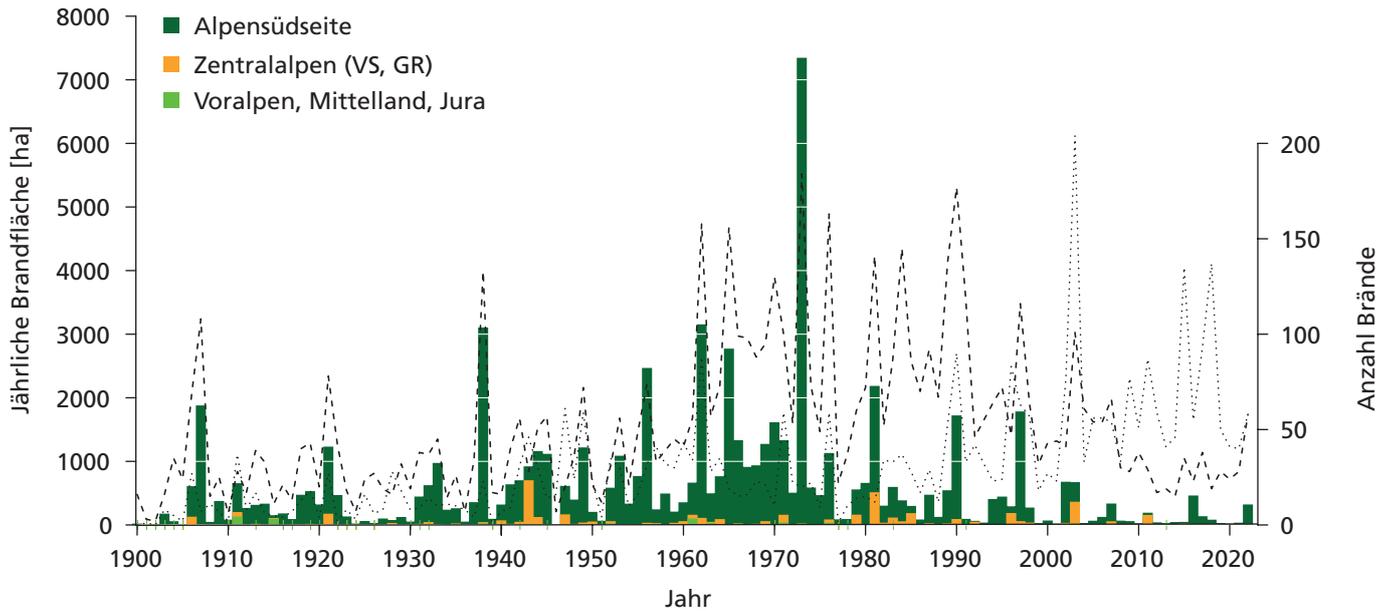


Abb. 3. Jährlich durch Waldbrand betroffene Fläche in der Schweiz von 1900 bis 2022 gemäss der Datenbank SwissFire (Pezzatti *et al.* 2010), unterteilt in die drei Regionen Alpensüdseite, Zentralalpen und Alpennordseite (Voralpen, Mittelland und Jura), sowie Anzahl Brände pro Jahr: Alpennordseite punktiert, Alpensüdseite gestrichelt.

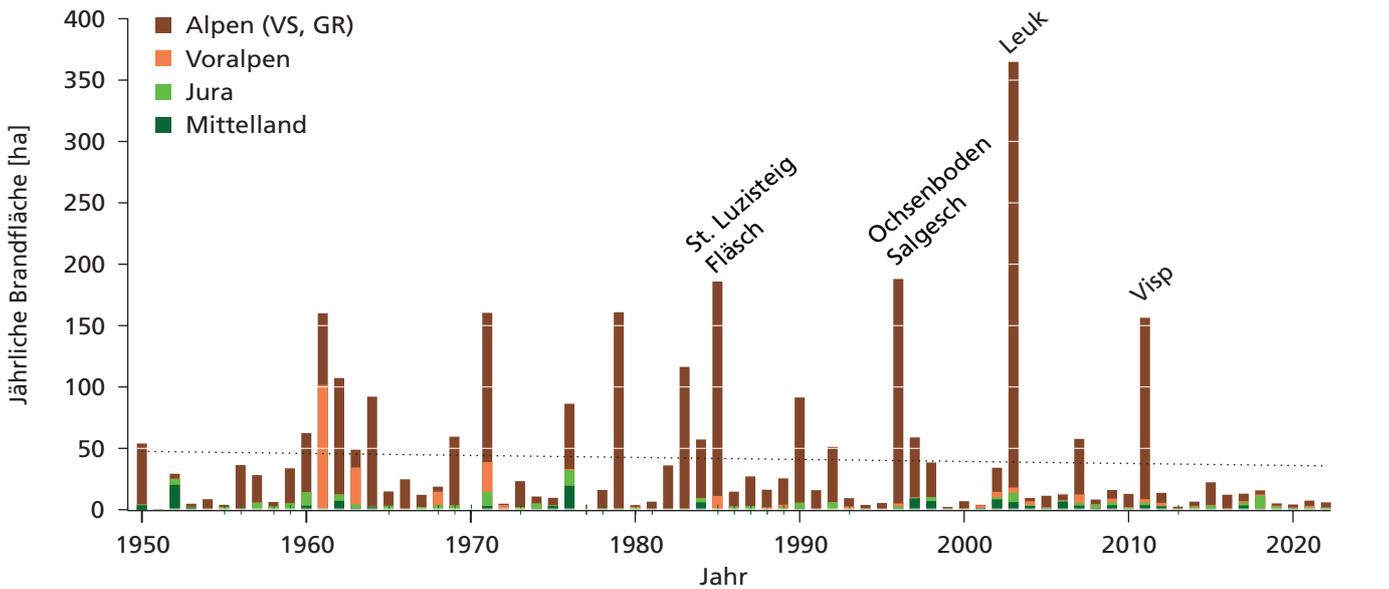


Abb. 4. Durch Waldbrand betroffene Flächen in Hektaren pro Jahr in den Zentralalpen, den Voralpen, dem Mittelland und dem Jura, von 1950 bis 2022. Ein Trend der jährlich versehrten Waldfläche ist nicht erkennbar (punktierte Linie: Regressionsgerade mit R<sup>2</sup> = 0,003, p = 0,78). Der Waldbrand von Bitsch (2023) verändert den Trend praktisch nicht.

bei Fläsch (1985; 150 ha) und im Kanton Wallis Ochsenboden bei Salgesch (1996; 161 ha), Leuk (2003; 310 ha), Visp (2011; 130 ha) und Bitsch (2023; 100 ha; nicht dargestellt).

Für die Entwicklung der regionalen und landesweiten Brandereignisse lassen sich keine Trends ablesen, die auf eine Zunahme der jährlich brandversehrten Fläche in der Zukunft hindeuten könnte.

#### 4 Diskussion

Auf der Basis von verfügbaren Daten zu Waldschäden in den Zentralalpen und auf der Alpennordseite der Schweiz stellen wir eine deutliche Zunahme der jährlichen Schadenmengen seit den 1980er-Jahren fest. Die tatsächliche Zunahme dürfte noch deutlich grösser sein, da das Absterben von einzelnen Bäumen durch Krankheiten wie Kastanienrindenkrebs (Conedera 1991) und Ulmenwelke (Nierhaus-Wunderwald 1993) sowie durch Dürre während der letzten Jahre (Rigling *et al.* 2018b; Schuldt *et al.* 2020) unvollständig oder gar nicht in dieser Bilanz enthalten sind. Die häufigsten Ursachen der bezifferten Schäden sind Winterstürme, die auf der Alpennordseite bisher den wichtigsten Störungstyp darstellten (Wohlgemuth *et al.* 2008) und Borkenkäferbefall von Nadelhölzern, meist Fichtenbefall durch Buchdrucker. Diese Zunahme entspricht den Resultaten der jüngst veröffentlichten Übersicht zu Störungen in Wäldern von ganz Europa (Patacca *et al.* 2023). Was Störungstyp und Schadensausmass anbetrifft, sind die regionalen Unterschiede allerdings beträchtlich. Gegenüber den kleineren und grösseren Windwurfereignissen, auf die jeweils mehrjähriger Borkenkäferbefall folgt, ergeben die lokal grossflächigen Waldbrände nur geringe jährliche Schäden. Waldbrandereignisse sind nichtsdestotrotz gravierend, insbesondere in brandversehrten Schutzwäldern, in denen unmittelbar eine Gefährdung durch Naturgefahren über mehrere Jahre entstehen kann (Melzner *et al.* 2022; Bebi 2023 in dieser Nummer).

Aufgrund der langjährigen, jedoch nicht vollständigen, Datenreihen sind limitierte Prognosen für die nähere Zukunft möglich. Bei unseren Be-

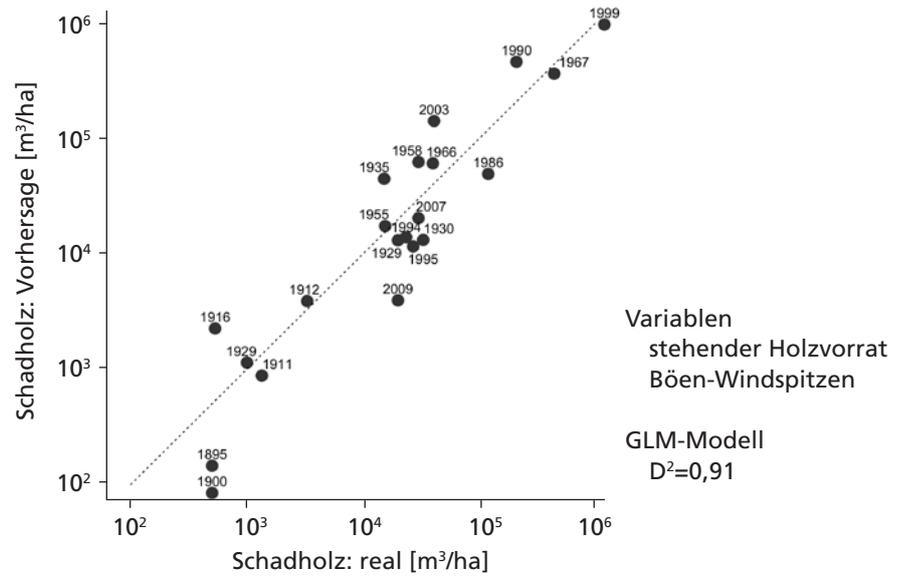


Abb. 5. Jahressummen der Windwurfschäden im Kanton Zürich von 21 Jahren mit starken Windwurfereignissen im Zeitraum von 1891 bis 2014 auf der Grundlage von verschiedenen Quellen, aufgetragen gegen modellierte Schadholzwerte (erklärende Variablen: interpolierter stehende Vorrat der Wälder im Kanton Zürich sowie in der Stadt Zürich gemessene Böen-Windspitzen während der Sturmereignisse) mit Daten aus Usbeck *et al.* (2010b) berechnet. Aus Wohlgemuth *et al.* (2019).

trachtungen berücksichtigen wir insbesondere die Entwicklung des Holzvorrats in den Schweizer Wäldern sowie im Rahmen des Klimawandels höhere Temperaturen und ausgeprägtere Dürren als neue Treiber.

##### 4.1 Windwürfe

Unter den vielen möglichen Grössen, die das Schadensausmass im Rahmen von Sturmwinden beeinflussen (Wohlgemuth *et al.* 2019), sind als wichtigste folgende zu nennen: auftretende Windspitzen, stehender Holzvorrat (Usbeck *et al.* 2010a; Usbeck *et al.* 2010b) sowie Art der Bestockung (Laub- vs. Nadelholz; Dobbertin *et al.* 2002; Scherrer *et al.* 2022) und Stickstoffeintrag (Braun *et al.* 2023). Zwischen Sturmholz und den kombinierten Variablen Windspitzen und Holzvorrat besteht ein starker Zusammenhang (Wohlgemuth *et al.* 2019; Abb. 5). Nicht nur die Windspitzen, die in der Stadt Zürich gemessen wurden (eine der weltweit längsten Messreihen), haben im Verlauf der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark zugenommen, sondern auch der Holzvorrat, der sich in der Schweiz und hier im Kanton Zürich seit 1864 mehr als verdoppelte (Usbeck

*et al.* 2010b). Die deutliche Korrelation zwischen Holzvorrat und Schadensausmass wurde ebenfalls für die Regionen Zentral- und Nordeuropa dokumentiert und als Ursache für eine weitere Zunahme von Sturmschäden in den nächsten Jahren aufgeführt (Seidl *et al.* 2014).

##### 4.2 Befall von Nadelhölzern durch Borkenkäfer

In der Datenbank von (Bütikofer 1987) sind in praktisch jedem Jahr Angaben zu Käferholz vermeldet, selten aber sind sie beziffert. Der grösste in der Datenbank registrierte Borkenkäferbefall fand im Rahmen der Dürre von 1947 statt. Damals waren Fichten und Tannen gleichermaßen betroffen; die Tannen wurden Opfer des Krummzähnigen Tannenborkenkäfers *Pityokteines curvidens*. Erstmals wurden in den Folgejahren kantonale Käferholzmengen quantifiziert. Die Schadenfolgen waren im Vergleich mit jenen nach den Orkanen Vivian und Lothar allerdings deutlich geringer. Durch die regelmässige und verlässliche Dokumentation der Käferholzsituation seit 1984 wurde die Interaktion zwischen Windwurf, Sommertrockenheit und Befalls-

intensität durch Borkenkäfer besonders deutlich. Gerade die Sommerdürre 2003 löste eine riesige Welle von verstärktem Borkenkäferbefall in den von Sturm Lothar (1999) getroffenen Wäldern der Alpennordseite aus. Die Tatsache, dass Borkenkäfer in trockenheissen Jahren statt 1–2 bis zu 4 Generationen durchlaufen, dienten Jakoby *et al.* (2019) als Grundlage für die Berechnung von zukünftigem Borkenkäferbefall unter der Annahme von mehr Trockenheit, mehr Stürmen und wärmeren Temperaturen. Die Zunahme von Borkenkäferbefall in tieferen Lagen der Schweiz ist auch eine Folge des nutzungsbedingt hohen Anteils an Fichten, zum Beispiel im Mittelland (Saintonge *et al.* 2021; Scherrer *et al.* 2023a; Scherrer *et al.* 2023b in diesem Band).

### 4.3 Waldbrand

Mit den zunehmenden (Sommer-)Temperaturen seit den 1990er-Jahren finden Dürren immer häufiger statt, ein Trend der sich im Rahmen des Klimawandels noch verstärken wird (IPCC 2021). Das Risiko für Waldbrand nimmt damit sowohl global als auch in der Schweiz laufend zu (Pezzatti *et al.* 2016). Die gründlichen Aufzeichnungen von SwissFire für die Zentralalpen und für die Alpennordseite resultieren bei einer steigenden Anzahl von Bränden im langjährigen Mittel weder eine Zu- noch Abnahme der brandversehrten Vegetation beziehungsweise Waldgebiete. Im Wallis folgte allerdings einer langen Periode von 1922 bis 1978 ohne grossflächige Brände eine solche mit fünf Waldbränden mit Schadenflächen von mehr als 100 ha (unter Berücksichtigung von Bitsch 2023). Dies deutet auf eine Intensivierung der ausser Kontrolle geratenen Brände in neuerer Zeit hin. Insgesamt laufen aber die gegenwärtigen Waldbrandschäden in der Schweiz der globalen oder europäischen Entwicklung entgegen (Patacca *et al.* 2023). Verschiedene Gründe dürften hierfür geltend gemacht werden: Kantonale Waldbrandstrategien (z.B. Gerold 2011), die im Laufe der letzten Jahre erstellt wurden, kantonale Luftreinhalteverordnungen, die das Verbrennen von Biomasse im Wald seit Ende der 1990er-Jahre verbieten, ver-

breitete Messung der Waldbrandgefahr mittels verschiedener Indikatoren und davon abgeleitet raschere Erlasse von Feuerverbot bei grosser Waldbrandgefahr. Es scheint, dass sowohl Brandvermeidung als auch Brandbekämpfung Wirkung zeigen. Da die Anzahl Tage mit grosser Waldbrandgefahr analog zur Zunahme von heiss-trockener Witterung und Dürren weiter steigt, investieren auch mehrere Kantone nördlich der Alpen in die Waldbrandprävention. Das BAFU unterhält zudem eine landesweite Waldbrandgefahrenkarte, in welcher in regionaler Auflösung die täglich neu berechneten und von den Kantonen geprüften Gefahrenstufen dargestellt sind ([waldbrandgefahr.ch](http://waldbrandgefahr.ch)).

### 4.4 Störungen im Rahmen von Dürren

Konsistente Daten über Dürreschäden in Schweizer Wäldern fehlen weitgehend. Ähnlich wie bei Windwurfschäden wurden bisher nur die markantesten Auswirkungen von Dürren in verschiedenen Gebieten festgehalten, dies in unterschiedlicher Form. So inspirierte die Dürre von 1920 im Wallis den Schriftsteller Charles Ferdinand Ramuz zum erst kürzlich ins Deutsche übersetzte Roman *La présence de la mort* (1921; Sturz in die Sonne 2023, Limmat Verlag). Und der trockene Sommer 1947 verursachte so viel Totholz durch direkte Austrocknung und nachträglichen Borkenkäferbefall, dass 1948, erstmals seit dem Erscheinen der Schweizerischen Zeitschrift für das Forstwesen im Jahr 1850, eine landesweite Forstchronik zu den Schäden erschien (Müller 1948; Rathgeb *et al.* 2020). Im Laufe des Klimawandels wurden seit den 1990er-Jahren erhöhte Mortalitätsraten von Waldföhren im Wallis festgestellt (Bigler *et al.* 2006; Rigling *et al.* 2006; Rigling *et al.* 2013; Rigling *et al.* 2018a). Mit weiteren sehr warmen und oft trockenen Jahren kumulierten sich die Trockenheitseffekte (Vitasse *et al.* 2019; Trotsiuk *et al.* 2020), und durch die Sommerdürre von 2018 erreichten die wachstumslimitierenden Dürreeffekte alle Wälder in den tieferen Lagen der Schweiz, mit anhaltenden Auswirkungen auf beinahe alle Baumarten (Baltensweiler *et al.* 2020; Brun *et al.* 2020; Rigling und Stähli 2020; Wohlgemuth

*et al.* 2020; Walthert *et al.* 2021; Frei *et al.* 2022). Die Konsequenzen der kontinuierlich steigenden mittleren Temperaturen sowie der bald zur Normalität werdenden Dürren in der Schweiz (Imfeld *et al.* 2022) sind die Zunahme von Dürreschäden bei praktisch allen Waldbäumen sowie indirekt die grössere Gefährdung von Nadelhölzern durch Borkenkäferbefall. Als Konsequenz von kontinuierlich weiter ansteigenden mittleren Temperaturen sowie der bald zur Norm werdenden Dürren in der Schweiz rechnen wir generell mit einer zunehmenden Schwächung der Waldbäume und mit einer hohen Gefährdung von Nadelhölzern durch Borkenkäferbefall.

## 5 Dank

Für die Bereitstellung von Sturmholzzahlen seit 2010 danken wir Maurizio Veneziani (Kantonsforstamt St. Gallen), Marco Vanoni (Amt und Wald und Naturgefahren, Kt. Graubünden) und Isabelle Straub (Amt für Wald und Naturgefahren, Kt. Bern).

## 6 Literatur

- Baltensweiler A., Brun P., Pranga J., Psoomas A., Zimmermann N.E., Ginzler C., ... (2020) Räumliche Analyse von Trockenheitssymptomen im Schweizer Wald mit Sentinel-2-Satellitendaten. *Schweiz. Z. Forstwes.* 171: 298–301.
- Bebi P., Piazza N., Ringenbach A., Caduff M., Conedera M., Krumm F., Rigling A. (2023) Schutzwirkung und Resilienz von Gebirgswäldern nach natürlichen Störungen. In: Bebi P., Schweizer J. (Red.) *Forum für Wissen 2023. WSL Berichte* 144: 41–48. [doi.org/10.55419/wsl:35230](https://doi.org/10.55419/wsl:35230)
- Bigler C., Bräker O.U., Bugmann H., Dobbertin M., Rigling A. (2006) Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9: 330–343.
- Braun S., Rihm B., Tresch S., Schindler C. (2023) Long-term risk assessment of uprooting and stem breakage under drought conditions and at high N deposition in beech and Norway spruce. *Agric. For. Meteorol.* 341: 109669.
- Brun P., Psoomas A., Ginzler C., Thuiller W., Zappa M., Zimmermann N.E., ... (2020) Large-scale early-wilting response of Cen-

- tral European forests to the 2018 extreme drought. *Glob. Change Biol.* 26: 7021–7035.
- Bründl M., Hafner E., Bebi P., Bühler Y., Margreth S., Marty C., ... (2019) Ereignisanalyse Lawinensituation im Januar 2018. *WSL Ber.* 76: 1–162.
- Bütikofer N. (1987) Historische Waldschäden in der Schweiz 1800–1960. Lizentiatsarbeit, Historisches Institut der Universität Bern. 97 S.
- Conedera M. (1991) La situazione del cancro corticale del castagno (*Cryphonectria (Endothia) parasitica* [Murr.] Barr.) al Sud delle Alpi (Svizzera meridionale). *Schweiz. Z. Forstwes.* 142: 283–298.
- Dobbertin M., Seifert M., Schwyzer A. (2002) Ausmass der Sturmschäden. *Wald Holz* 83: 39–42.
- Dubach V., Dennert F., Blaser S., Beenken L., Hölling D., Stroheker, S., ... (2023) Waldschutzüberblick 2023. *WSL Ber.* 107: 1–80.
- Frei E.R., Gossner M.M., Vitasse Y., Queiroz V., Dubach V., Gessler A., ... (2022) Drought legacy effects and first signs of recovery in European beech after the severe 2018 drought. *Plant Biol.* 24: 1132–1145.
- Gerold P. (2011) Waldbrandmanagement im Kanton Wallis und Lehren aus dem Brand von Visp im Jahr 2011. *Schweiz. Z. Forstwes.* 170: 251–257.
- Imfeld N., Stucki P., Brönnimann S., Bürgi M., Calanca P., Holzkämper A., ... (2022) Ein ziemlich normaler zukünftiger Sommer. *Geobr. Bern.* G100: 1–3.
- IPCC (2021) *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jakoby O., Lischke H., Wermelinger B. (2019) Climate change alters elevational phenology patterns of the European spruce bark beetle (*Ips typographus*). *Glob. Change Biol.* 25: 4048–4063.
- Jentsch A., Seidl R., Wohlgemuth T. (2019) Definitionen und Quantifizierungen. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (eds) *Störungsökologie (UTB 5018)*. Stuttgart: Verlag Haupt, 21–44.
- Melzner S., Conedera M., Pezzatti G.B. (2022) Post Waldbrand Risiko in den schweizerischen Gebirgen. *Wildbach Lawinverbau* 190: 120–130.
- Möhring B., Bitter A., Bub G., Dieter M., Dög M., Hanewinkel M., ... (2021) Abschätzung der ökonomischen Schäden der Extremwetterereignisse der Jahre 2018 bis 2020 in der Forstwirtschaft. *Holz-Zentralblatt* 9: 155–158.
- Müller H. (1948) Forstliche Chronik 1947. *Schweiz. Z. Forstwes.* 99: 438–443.
- Nierhaus-Wunderwald D. (1993) Ulmenwelke – Biologie, Vorbeugung und Gegenmassnahmen. *Wald Holz* 74, 13: 36–40.
- Patacca M., Lindner M., Lucas-Borja M.E., Cordonnier T., Fidej G., Gardiner B., ... (2023) Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Glob. Change Biol.* 29: 1359–1376.
- Pezzatti G.B., De Angelis A., Conedera M. (2016) Potenzielle Entwicklung der Waldbrandgefahr im Klimawandel. In: Pluess A.R., Augustin S., Brang P. (Red.) *Wald und Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien.* Bern: Haupt, 223–244.
- Pezzatti G.B., Reinhard M., Conedera M. (2010) Swissfire: die neue schweizerische Waldbranddatenbank. *Schweiz. Z. Forstwes.* 161: 465–469.
- Pfister C., Bütikofer N., Schuler A., Volz R. (1988) Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Eine historisch-kritische Untersuchung von Schadenmeldungen aus schweizerischen Wäldern in ihrer Beziehung zur Klimabelastung, insbesondere durch sommerliche Dürreperioden. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bern. 70 S.
- Rathgeb U., Bürgi M., Wohlgemuth T. (2020) Waldschäden wegen Dürre von 1864 bis 2018 in der Schweiz und insbesondere im Kanton Zürich. *Schweiz. Z. Forstwes.* 171: 249–256.
- Rigling A., Bigler C., Eilmann B., Feldmeyer-Christe E., Gimmi U., Ginzler C., ... (2013) Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. *Glob. Change Biol.* 19: 229–240.
- Rigling A., Dobbertin M., Bürgi M., Feldmeier-Christe E., Gimmi U., Ginzler C., ... (2006) Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. *Forum Wissen:* 23–33.
- Rigling A., Moser B., Feichtinger L., Gärtner H., Giuggiola A., Hug C., ... (2018a) 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis: Rückblick und aktuelle Resultate. *Schweiz. Z. Forstwes.* 169: 242–250.
- Rigling A., Moser B., Feichtinger L., Gärtner H., Giuggiola A., Hug C., ... (2018b) 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis: Rückblick und aktuelle Resultate – 20 years of Scots pine dieback in Valais (Switzerland): a retrospect and new results. *Schweiz. Z. Forstwes.* 169: 242–250.
- Rigling A., Stähli M. (2020) Erkenntnisse aus der Trockenheit 2018 für die zukünftige Waldentwicklung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 171: 242–248.
- Saintonge F.-X., Gillette M., Blaser S., Queiroz V., Leroy Q. (2021) Situation et gestion de la crise liée aux scolytes de l'Épicéa commun fin 2021 dans l'est de la France, en Suisse et en Wallonie. *Rev. For. Fr.* 73: 619–641.
- Scherrer D., Ascoli D., Conedera M., Fischer C., Maringer J., Moser B., ... (2022) Canopy disturbances catalyse tree species shifts in Swiss forests. *Ecosystems* 25: 199–214.
- Scherrer D., Baltensweiler A., Bürgi M., Fischer C., Stadelmann G., Wohlgemuth T., ... (2023a) Low naturalness of Swiss broadleaf forests increases their susceptibility to disturbances. *Forest Ecol. Manag.* 532: 120827.
- Scherrer D., Moser B., Wohlgemuth T. (2023b) Huhn oder Ei? Störungen und Baumartenzusammensetzung. In: Bebi P., Schweier J. (Red.) *Forum für Wissen 2023. WSL Berichte* 144: 33–40. <https://doi.org/10.55419/wsl:35228>
- Schuldts B., Buras A., Arend M., Vitasse Y., Beierkuhnlein C., Damm A., ... (2020) A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic Appl. Ecol.* 45: 1–18.
- Seidl R., Schelhaas M.J., Rammer W., Verkerk P.J. (2014) Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nat. Clim. Chang.* 4: 806–810.
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., ... (2017) Forest disturbances under climate change. *Nat. Clim. Chang.* 7: 395–402.
- Trotsiuk V., Hartig F., Cailleret M., Babst F., Forrester D.I., Baltensweiler A., ... (2020) Assessing the response of forest productivity to climate extremes in Switzerland using model-data fusion. *Glob. Change Biol.* 26: 2463–2476.
- Usbeck T. (2015) Wintersturmschäden im Schweizer Wald von 1865 bis 2014. *Schweiz. Z. Forstwes.* 166: 184–190.
- Usbeck T., Wohlgemuth T., Dobbertin M., Pfister C., Bürgi A., Rebetez M., ... (2010a) Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agric. For. Meteorol.* 150: 47–55.
- Usbeck T., Wohlgemuth T., Pfister C., Volz R., Beniston M., Dobbertin M., ... (2010b) Wind speed measurements and forest damage in Canton Zurich (Central Europe) from 1891 to winter 2007. *Int. J. Climatol.* 30: 347–358.

- Vitasse Y., Bottero A., Cailleret M., Bigler C., Fonti P., Gessler A., ... (2019) Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. *Glob. Change Biol.* 25: 3781–3792.
- Vitasse Y., Rebetez M. (2018) Unprecedented risk of spring frost damage in Switzerland and Germany in 2017. *Clim. Change* 149: 233–246.
- Walthert L., Ganthaler A., Mayr S., Saurer M., Waldner P., Walser M., ... (2021) From the comfort zone to crown dieback: Sequence of physiological stress thresholds in mature European beech trees across progressive drought. *Sci. Total Environ.* 753: 141792.
- Winkler O. (1944) Erfahrungen und Lehren aus der Waldbrandkatastrophe am Calanda bei Chur, August/September 1943. *Schweiz. Z. Forstwes.* 95: 383–404.
- Wohlgemuth T., Conedera M., Kupferschmid Albisetti A.D., Moser B., Usbeck T., Brang P., ... (2008) Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald. *Schweiz. Z. Forstwes.* 159: 336–343.
- Wohlgemuth T., Duelli P., Ginzler C., Gödickemeier I., Hadorn S., Hagedorn F., ... (2005) Ökologische Resilienz nach Feuer: Die Waldbrandfläche Leuk als Modellfall. *Schweiz. Z. Forstwes.* 156: 345–352.
- Wohlgemuth T., Hanewinkel M., Seidl R. (2019) Windstörungen. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (eds) *Störungsökologie (UTB 5018)*. Stuttgart: Verlag Haupt, 156–174.
- Wohlgemuth T., Kistler M., Aymon C., Hagedorn F., Gessler A., Gossner M.M., ... (2020) Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018: Resistenz oder Schwächesymptom? *Schweiz. Z. Forstwes.* 171: 257–269.

## Abstract

### Disturbance dynamics on the north of the Alps from 1900 to 2022

Will disturbances in forests on the north of the Alps increase in the coming decades? In the search for answers, quantitative data provide concrete clues on forest damage such as storm wood, beetle wood, broken wood and forest fire areas from the beginning of the 20th century. Despite the incompleteness of the data series, most trends indicate a strong increase in forest damage caused by disturbances since the 1980s. The reasons for this increase are exacerbated by climate change, increasing stock of wood, invasive pests, and various interactions. We expect these trends to continue in the same direction.

Keywords: avalanches, bark beetle investment, climate change, drought, European ash dieback, forest fires, snow breakage, Switzerland, windthrow, winter storms



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

# Zwischen Sturmwurf und Borkenkäferbefall: Management von Extremereignissen in Südtirol

Camilla Wellstein<sup>1</sup>, Mario Broll<sup>2,3</sup>, Günther Unterthiner<sup>3</sup> und Marco Pietrogiovanna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Freie Universität Bozen, Kompetenzzentrum für ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit (CEES), Bozen Italien, camilla.wellstein@unibz.it

<sup>2</sup> Ordentliches Mitglied der Italienischen Akademie der Forstwissenschaften, mario.broll1958@gmail.com

<sup>3</sup> Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen, Italien, forest@provinz.bz.it

**Die Sturmnacht Vaia vom 29. Oktober 2018 hinterliess schwere Windwurfschäden in Südtirols Wäldern. Eine schnelle Strategiefindung und die relative Grösse der Schadensflächen ermöglichten ein effizientes Aufräumen des Totholzes über einen Zeitraum von zwei Jahren, unterstützt durch eine Förderung der Arbeiten durch Prämien. Die Ergebnisse des Borkenkäfermonitorings zeigten, dass nach dem Sturmwurf keine besorgniserregenden Populationsentwicklungen des Buchruckers festgestellt wurden. In den Folgewintern ergaben sich Schneedruckschäden, welche viel kleinräumiger und diffuser verteilt waren und daher nicht effektiv geräumt werden konnten. Die Borkenkäferflächen, welche sich seit 2020 zunehmend entwickelten, sind wie die Schneedruckschäden ebenfalls kleinräumig und diffus verteilt und schwierig für die Bringung. Trotz Prämien und Intensivierung der Bringung konnten befallene Bäume nicht ausreichend entfernt werden. Die Entwicklung der Borkenkäfer ist von der Witterung beeinflusst, welche für die Käfer 2021 zwar ungünstig, in 2022 jedoch günstig war. Im Jahr 2023 hat ein relativ kühles und nasses Frühjahr den Ausflug der Käfer eingebremst. Während dank der traditionellen Forstgärten genügend standorttypische Pflanzen für eine Aufforstung verfügbar sind, ist der Wildverbiss sowohl bei der Naturverjüngung als auch bei der Aufforstung ein grosses Problem. Beim Management der genannten Extremereignisse liefen je nach Ausmass und zeitlicher Manifestation des Schadens unterschiedliche Stakeholder-Prozesse ab. Meteorologisch gesehen könnten sich ähnliche Extremereignisse wiederholen, weshalb eine Nutzung der Erkenntnisse und der Erwerb angepasster oder neuer best practices inklusive Stakeholder-Prozesse sehr sinnvoll für einen nachhaltigeren Umgang mit Klimaschäden erscheint.**

## 1 Ereignisse und Schäden in Südtirol

### 1.1 Meteo-biologische Extremereignisse mit sozio-ökonomischer Auswirkung

Eine Serie von umfassenden meteo-biologischen Extremereignissen manifestierte und akkumulierte sich in den letzten fünf Jahren in Südtirols Wäldern. Wie konzeptionell vorherzusehen, hat insbesondere eine Verkettung von Extremereignissen und deren Interaktion das Potential, grossen Schaden anzurichten und die bestehenden Systeme und best practices an ihre Grenzen zu bringen. Dabei ist Südtirol eine Modellregion, welche charakterisiert ist als Gebirgsgegend mit Lage auf der Alpensüdseite, mit einer jahrtausende zurückreichenden Berglandwirtschaft, und einer Entwicklung des Tou-

risismus seit dem vorletzten Jahrhundert. Als autonome Provinz in Italien hat die Landesverwaltung in Südtirol, gemeinsam mit den Waldeigentümern, die Verantwortung für die Wälder und deren Management inne, welche durch ein eigenes Forstgesetz geregelt ist.

Meteorologisch betrachtet entwickeln sich bei der geographischen Situation zwischen Mittelmeer und Alpenhauptkamm bei entsprechender Grosswetterlage längere Schlechtwetterperioden an der Alpensüdseite (Südstaulage). Im Herbst kommt es im Mittelmeerraum häufig zu Tiefdruckentwicklungen; das Meerwasser ist nach den Sommermonaten noch relativ warm, gleichzeitig ereignen sich aber durch das sich rasch abkühlende Nordeuropa erste Kaltlufteinbrüche bis weit nach Süden (Munari *et al.* 2018). In Folge strömt bei entsprechender Konstellation von Hoch- und Tief-

druckgebieten feuchte Luft vom Mittelmeer gegen die Alpen und bewirkt die Südstaulage. Diese Grosswetterlage erzeugte jeweils im Herbst/Frühwinter die Extremniederschlagsereignisse 2019 und 2020 (Tab. 1), während der typische starke Höhenwind bei diesen Ereignissen wie üblich in den höheren Luftschichten über Südtirol und die Alpen strömte. Charakteristisch für die beiden Ereignisse ist ein starkes Pendeln der Höhenlage der Schneegrenze, was eine Vernässung und damit Gewichtserhöhung des Schnees und in Folge das Entwurzeln oder Brechen der Bäume zur Folge hatte (als Schneedruck bzw. Schneebruch bezeichnet). Dazu kommt eine starke Durchfeuchtung der Böden. Ebenfalls bei Südstaulage, jedoch durch eine wegen Einlagerung von Gewitterzellen vertikal labilisierte Atmosphäre, sowie die Präsenz eines blockierenden Hochs im Osten, gelangte im Herbst 2018 der Höhenwind nach unten und sorgte für die Lokalisierung der Effekte des Sturmtiefs Vaia 2018 in der montanen/hochmontanen bis subalpinen Stufe (Tab. 1, Abb.1, Munari *et al.* 2018). Damit waren in Südtirol hauptsächlich Fichten- und Fichten-Mischwälder betroffen, welche in dieser Höhenlage gewöhnlich ihre natürliche Verbreitung haben. Diese Wetterereignisse sind deswegen Extremereignisse, weil sie die mechanische Belastungsgrenze der Ökosysteme überschritten. Grundsätzlich kamen solche Ereignisse auch bereits im vergangenen Jahrhundert vor, beispielsweise bei Südstau am 4. November 1966 im Val Cadino – Fleimstal mit 90 000 m<sup>3</sup> Schadholz (Provincia Autonoma di Trento). Die Extremereignisse sind einerseits so selten, dass sich die Ökosysteme nicht an die Störung anpassen. Andererseits können solche Ereignisse auch in Zukunft auftreten, denn die beschriebenen meteo-

Tab. 1. Extremereignisse und Schadholzmengen durch Wetterlagen mit Südost in Südtirol (2018–2022). Meteorologische Bedingungen gemäss Klimareports (Munari *et al.* 2018, 2019, 2020).

| Phänomen                     | Datum                           | Grosswetterlage   | Bedingungen  | Schadholzmenge in Südtirol in [m <sup>3</sup> ] und/oder [ha]                                       |
|------------------------------|---------------------------------|---|--|---|
| Windwurf durch Sturm         | 29.10.2018                      | Hoch über dem Atlantik und über Osteuropa, in Folge Einströmen kalter Polarluft in den westlichen Mittelmeerraum. Mit blockierendem Hoch im Osten starke Südströmung über den Alpen. Stau von Regenwolken an der Alpensüdseite und grosse Niederschlagsmengen. Am 29. Oktober abends Durchzug eines Tiefs («Vaia») auf ungewöhnlicher Zugbahn (weiter westlich) mit Labilisierung der Atmosphäre durch eingelagerte Gewitter und durchgreifen des sehr starken Höhenwinds auf mittlere Höhenlagen («Low Level Jet») | Im September und Oktober vor dem Ereignis herrschte Trockenheit. Verstärkung der «Low Level Jets» durch Venturieffekt der Orographie. Neue Windrekorde zwischen 1500 und 2000 Metern (gemessene Sturmböen 120–188 km/h)  | 2200 000 m <sup>3</sup> , 5900 ha (davon 2 650 ha im Schutzwald und 2190 ha in Naturschutzgebieten) |
| Schneedruck durch Nassschnee | 03.–09.11.2019 +11.–17.11.2019  | Tiefdruckgebiet über Westeuropa, in Folge Einströmung von Kaltluft und Bildung einer Serie von Mittelmeertiefs («Detlef»; «Heiner»; «Ingmar»), in Folge Südostlage und ergiebige Stauniederschläge an der Alpensüdseite   | Niederschläge durch eine Serie von Mittelmeertiefs mit Regen und Schneefall. Schneefallgrenze zu Beginn über 2000 m ü. M., dann Sinken teilweise bis auf 500 m. Hauptereignis mit weiteren drei Mittelmeertiefs mit grossen Niederschlagsmengen. Schneefallgrenze sinkt im ersten Tief bis auf 500 m, im zweiten Tief starkes Pendeln zwischen 200 m und 1800 m ü. M., im dritten Tief stark schwankende Schneefallgrenze zwischen 200 m und 2000 m. Schneehöhe meist 130 bis 170 cm auf 2000 m. | 1500 000 m <sup>3</sup>   |
| Schneedruck durch Nassschnee | 04.–06.12.2020 + 07.–09.12.2020 | Tiefdruckgebiet über Westeuropa, in Folge Einströmung von Kaltluft und Bildung eines Mittelmeertiefs («Xunav»), in Folge Südostlage und ergiebige Stauniederschläge an der Alpensüdseite  | Extremer Dauerniederschlag über drei Tage mit Pendeln der Schneefallgrenze zwischen 200m und 1500m ü.d.M. und Wechsel von Regen und Schnee. Anschliessend moderate Niederschläge über drei Tage mit Schneefallgrenze in mittleren Höhenlagen (500m bis 1000m ü.d.M.). 150 bis 200 cm Schneehöhe in den hohen Lagen.  | 700 000 m <sup>3</sup>  |

Tab. 2. Schadholzmengen durch Massenbefall des Buchdruckers (*Ips typographus*) in Südtirol von 2021 bis 2023, die Wetterbedingungen im Frühjahr sind zusätzlich angegeben (*wetter.provinz.bz.it*).

| Jahr | Bedingungen im Frühjahr*  | Schadholzmenge in Südtirol in [m <sup>3</sup> ] und/oder [ha] |
|------|---|---|
| 2021 | sehr trockener und kühler April, unterdurchschnittlich kalter Mai, kühler Frühling seit 30 Jahren                       | etwa 1000 ha  |
| 2022 | April unterdurchschnittlich kühl, Mai überdurchschnittlich warm, erhöhte Temperaturen und extreme Trockenheit im Sommer | etwa 6000 ha (Ende 2022)                                      |
| 2023 | April unterdurchschnittlich kühl; durchschnittlich warmer und überdurchschnittlich nasser Mai                           | wird Ende 2023 ermittelt                                      |

\* Landesamt für Meteorologie: Bezugszeitraum für den Vergleich (Unter- bzw. Überdurchschnittlichkeit) ist der langjährige Durchschnitt der 30 Jahre zwischen den Jahren 1991 und 2020

ologischen Bedingungen können sich so oder ähnlich wiederholen, mit einer Variation der Schadereignisse auf der räumlichen Skala.

Grosse frische Schadholzmengen und gestresste Bäume der Fichte sind bekanntlich ein Trigger für die Massenvermehrung des Buchdruckers (*Ips typographus*). Während das Schadholz bei den relativ grossflächigen Windwurfereignissen (Vaia 2018) über einen Zeitraum von zwei Jahren durch ein beispielhaftes Zusammenspiel zwischen dem Landesforstdienst (mit Arbeiten in Eigenregie) und den Waldeigentümern und deren Förderung durch Prämien effektiv geräumt werden konnte, war dies bei dem kleinflächigen und diffus verteilten Schadholz

der Schneedruckereignisse (Serien von Mittelmeertiefs 2019 und 2020) nicht in diesem Ausmass möglich. Weiterhin ist die Entwicklung der Borkenkäfer direkt von der Witterung beeinflusst, welche für die Käfer 2021 ungünstig und 2022 günstig war, was zusammen mit dem vorhandenen Schadholzmengen die Massenvermehrung des Buchdruckers insbesondere 2022 zur Folge hatte (Tab. 2). 2023 hat ein relativ kühles und nasses Frühjahr den Ausflug der Käfer etwas eingebremst (Tab. 2).

## 1.2 Schadensmenge und -ausdehnung nach Sturmtief Vaia

Die Schätzung der Windwurfflächen Südtirols erfolgte zuerst durch die digitalen Erfassungen der Flächen vor Ort (forstliche Dienststellen), und später, als die Wolken- und Schneebedeckung dies ermöglichte, auch durch die Kombination mit der Auswertung von Satellitenbildern nach dem Ereignis (Sentinel, vom 2. bis 18. November 2018) und durch georeferenzierte und entzerrte Bilder von Hubschrauberflügen (Agentur für Zivilschutz). Die ermittelte Fläche betrug ca. 6000 ha, was 1,7 % der von der Forstinventur vom Jahre 2015 angegebenen gesamten Waldfläche entsprach, dabei waren 45 % der betroffenen Flächen Schutzwald. Auf Naturschutzgebiete (Naturparke, Natura 2000, UNESCO, Biotope) entfielen 37 % der Gesamtfläche. In Gebieten mit Auerwildpopulationen wurde mehr als ein Drittel deren Habitate betroffen und eine Verlagerung der Aufenthaltsorte der Populationen wurde erwartet.

Von den Windwurfereignissen wurden ausschliesslich Wälder in der montanen bis subalpinen Höhenstufe betroffen (Abb. 1). Als Waldtypen sind vorwiegend Fichten- bzw. Fichten-Tannenbestände in der montanen Stufe und Fichtenbestände in der subalpinen Stufe betroffen (laut Typisierung der potenziellen Waldtypen). Lärchen- und Zirbenbestände begegnet man nur auf etwa 9 % der Windwurfflächen. Die betroffenen Waldbestände befinden sich in ihrem standörtlichen und klimatischen Optimum.

Insgesamt wurden 1.463 einzelne Windwurfflächen digitalisiert, wobei die maximale Grösse 280 ha und die durch-

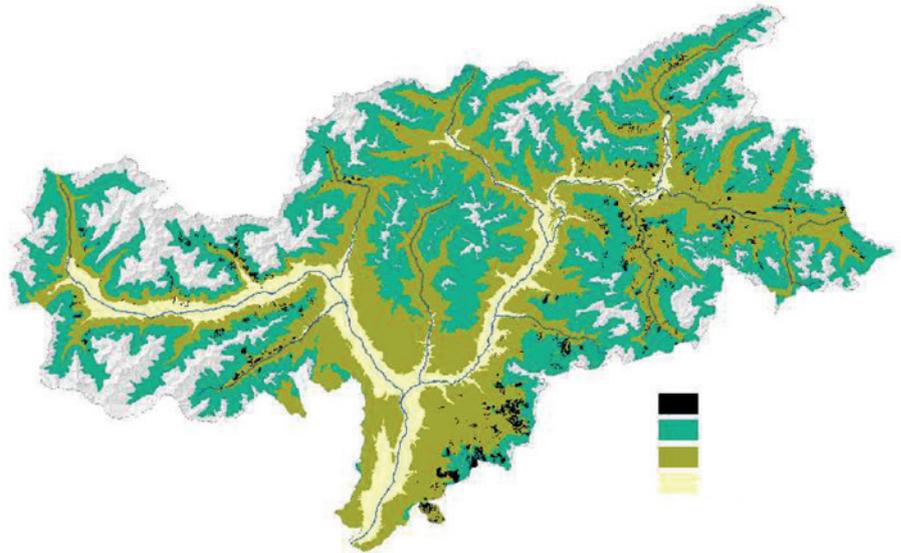


Abb. 1 Verteilung der Windwurfflächen durch Vaia in der kollinen bis zur subalpinen Höhenstufe Südtirols. Abbildung aus Endbericht Vaia der Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol (2020a), S. 24. © Abteilung Forstwirtschaft Autonome Provinz Bozen-Südtirol.

schnittliche Flächengrösse etwa 4 ha betrug. Die verstreut liegenden Schadhölzer (Streuschäden, d. h. einzelne Bäumen bzw. kleinere Baumgruppen) wurden nicht erhoben und sind nie in die Statistik eingegangen (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2020a).

## 1.3 Schäden durch Schneedruck

Mit Ende Februar 2020 wurde der geschätzte Schadholzanfall durch das Schneedruckereignis im November 2019 (Tab.1) mit rund 900.000 Vfm beziffert (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2020b). Dabei waren vor allem das Pustertal (Forstinspektorate Bruneck und Welsberg) sowie das Forstinspektorat Brixen von den Schneedruckschäden stark betroffen. Diese Schätzungen berücksichtigen nicht die zahlreichen Wipfelbrüche, sondern beziehen sich nur auf entwurzelte und umgeknickte Bäume. Die vertikale Ausdehnung der Schneedruckschäden war unabhängig vom Forstinspektorat sehr gross. Sowohl in den tiefen Lagen (ab 500 m ü. M.) als auch bis hinauf zur Waldgrenze (ca. 2050 m ü. M.) sind Schneedruckschäden zu verzeichnen gewesen. Dies entspricht der starken vertikalen Schwankung der Schneegrenze (Tab.1) und resultiert in einem Effekt auf Baumarten verschie-

dener Höhenstufen. Die Baumartenverteilung des Schadholzes zeigt, dass hauptsächlich Fichten betroffen waren (64 %), gefolgt von Kiefer (23 %) und Lärche (11 %). Bezogen auf die aktuelle Baumartenverteilung in Südtirol sieht man, dass die Kiefer im Verhältnis am stärksten von den Schneedruckschäden betroffen war (23 % bei einem Vorkommen von 10 %). Die Lärchen wurden weniger von den Schäden betroffen (11 % gegenüber einem Vorkommen von 19 %). Bei der Fichte entspricht das Schadausmass dem effektiv vorkommenden Baumartenanteil.

Das zweite Schneedruckereignis im Dezember 2020 führte nochmals zu umfangreichen Schneedruckschäden (Tab. 1). Auch hier schwankte die Schneegrenze wieder stark und die Bruchschäden verteilten sich entsprechend von den Tieflagen (ab 500 m ü. M.) bis in den hochmontanen Bereich (bis 1500 m ü. M.).

## 2 Massnahmen

### 2.1 Massnahmen zur Aufarbeitung nach Vaia

Die Entscheidungen über die zu ergreifenden Massnahmen im Fall der Sturmwurfschäden durch Vaia wurden sofort in den Tagen nach dem Ereignis getroffen. Danach wurde direkt mit den Aufräumungsarbeiten begon-

nen, wobei der Stand der Arbeiten laufend durch das Forstpersonal erhoben wurde. Die Aufarbeitung beziffert sich auf etwa 1,63 Millionen Vorratsfestmeter Schadholz 2 Jahre nach dem Windwurfereignis (Ende November 2020). Bezogen auf die gesamte Landesfläche entspricht diese Holzmenge in etwa der Nutzungen von 2,5 Jahren.

Die Umsetzbarkeit und deren Effektivität war von der Grösse und der Erreichbarkeit der Flächen bestimmt, was durch die charakteristische Topographie des Gebirgslandes Südtirol geprägt ist. Dazu kam, dass speziell der Winter 2018/19 schneearm war, was die Aufarbeitung des Windwurfholzes begünstigte. Die Arbeiten schritten generell auf grösseren Windwurfflächen rascher voran. Schon Ende September 2019 waren mehr als 90 % der Flächen über 100 ha geräumt (85 % über 50 ha und 75 % über 30 ha). Die Aufarbeitungen gingen auch dann schneller voran, wenn viele Flächen mit Harvestern geräumt werden konnten, zum Beispiel im Raum Eggental. Im Gegensatz dazu blieb das nicht aufgeräumte Schadholz teilweise auf sehr exponierten, steilen, kaum zu erreichenden, und zudem auch hoch gelegenen Standorten liegen.

Zur Förderung der Schadholznutzung durch die Waldeigentümer wurden Prämien für die Aufarbeitung und Bringung des Schadholzes für verschiedene Techniken gewährt (Bodenzug/Harvester, Pferd, Seil, Hubschrauber). Zusätzliche Holzlagerplätze und Nasslager wurden temporär eingerichtet.

### 2.2 Massnahmen zur Aufarbeitung nach Schneedruck

Die Aufräumungsarbeiten der Schneedruckhölzer begannen sofort nach dem ersten Schneedruck Ereignis im November 2019 (Tab. 1). Auch bei diesem Schadholzvorkommen wurden Prämien für die Bringung angeboten (Bodenzug/Harvester, Pferd, Seil, Hubschrauber). Ende November 2020, also ein Jahr nach dem ersten Schneedruckerereignis, sind etwa 625 000 Vfm Schadholz aufgearbeitet worden. Diese Holzmenge entspricht etwa 70 % der geschätzten Schadholzmasse und beläuft sich, bezogen auf die geschädigten Gebiete, auf das Ausmass eines gesamten Jahreshiebsatzes (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2020b).

Bei den Arbeiten wurden die Räumung der durch das Schadholz verlegten Wasserläufe priorisiert. Diese traten vor allem unterhalb von 1500 m ü. M. auf. Abgesehen von solchen hydrologischen Gefährdungslagen, ergab sich keine unmittelbare Gefährdung der Schutzfunktion des Waldes, da es sich bei den Schneebruchereignissen vorwiegend um kleinere Streuschäden handelte. Für einen möglichen Befall durch Borkenkäfer war jedoch eine Gefährdungslage gegeben. Da sich das liegende Material der umgeknickten Bäume meist im Schatten befand, konnte es auf Grund des langsamen Wasserverlustes lang bruttauglich bleiben (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2020b). Liegende Bäume sind unter diesen Bedingungen auch zwei Jahre nach dem Ereignis nicht zu unterschätzen.

### 2.3 Massnahmen zur Bereitstellung von Pflanzenmaterial und Aufforstung

Südtirol ist sehr gut organisiert, was die Forstgärten und die Bereitstellung von Pflanzenmaterial der verschiedenen heimischen Herkunft angeht. In den Jahren vor den Extremereignissen (2015–2018) waren immer zwischen rund 200 000 und 260 000 Pflanzen der wichtigsten Baumarten (Bergahorn, Birke, Fichte, Gemeine Kiefer, Lärche, Vogelbeere, Vogelkirsche, Weiss-

tanne, Zirbe) bereitgestellt (Abb. 2). Bereits in den Tagen nach dem Sturm Vaia wurde mit der Gewinnung von zusätzlichem Saatgut der Hauptbaumarten Fichte und Lärche aus den Windwurfflächen begonnen und die Versorgung mit Saatgut dieser beiden Arten sowie für Tanne und Zirbe wurde sichergestellt. In den Jahren nach Vaia (2020–2023) waren rund 250 000 bis 350 000 Pflanzen in jedem Jahr verfügbar (Abb. 2). Auf Anfrage wurde Pflanzmaterial auch kostenlos für Privatwaldbesitzer bereitgestellt. In der Priorisierung wurde grundsätzlich so verfahren, dass eine Pflanzung überall dort vorgesehen wurde, wo eine rasche und schutzwirksame Wiederbewaldung erforderlich war, also auf sehr steilen und schneereichen Hängen mit hohem Gefahren- und Schadenpotenzial. Insgesamt wurden 1,2 Mio. Forstpflanzen auf ca. 1000 ha aufgeforstet (Unterthiner 2022). Bei der Pflanzung wurde die Südtiroler Waldtypisierung (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2010a, 2010b) zu Rate gezogen, um das Einbringen von Baumarten auf einem bestimmten Standort zu beurteilen. Diese bietet die Möglichkeit auch zu evaluieren, welcher Waldtyp sich bei Standortveränderung entwickelt, zum Beispiel wenn der Standort feuchter oder trockener wird. Entsprechend kann eine zielgerechte Aufforstung mit ökologisch geeigneten Baumarten für zu erwartende zukünftige Standortverhältnisse in Richtung der potenziellen natürli-

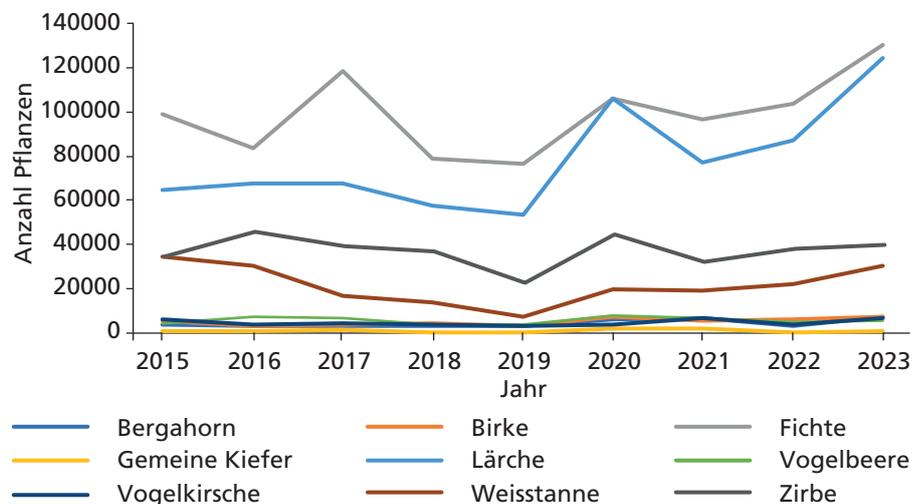


Abb. 2. Anzahl an Forstpflanzen der 9 wichtigsten Baumarten, welche die Landesforstgärten bereit hielten in den Jahren 2015 bis 2023. Daten der Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol.

chen Vegetation erfolgen. Auf Flächen, welche nicht aufgeforstet wurden, wird auf die Naturverjüngung gezählt. Dabei wird ein periodisches Monitoring der Naturverjüngung alle fünf bis zehn Jahre durchgeführt.

Die Fichte bleibt auf Standorten > 1000 m ü. M. eine Baumart, auf die gezählt wird. Das Fazit aus dem Vaia Endbericht (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2020a) kommt zur Einschätzung, dass als stabilisierende Mischbaumarten für eine Wiederaufforstung nur Tanne und ein paar wenige Laubholzarten (Bergahorn, Vogelbeere, Vogelkirsche) in den tieferen Lagen und nur auf geeigneten Standorten in Frage kommen; in den höheren Lagen kann man auf die Zirbe zählen. Überall geeignet ist hingegen die Lärche, welche aufgrund kleinflächiger Nutzung in den letzten Jahrzehnten etwas von der Fichte verdrängt wurde, und deren Anteil daher in den Beständen erhöht werden könnte. Die Lärche hat viele Vorteile was ihre Ökologie, Stressresistenz und den Ertrag für den Waldbesitzer angeht. Weiter wurde beobachtet, dass Birke, Erle und Vogelbeere sowie Holunder sich trotz Vergrasung und Konkurrenz in ihrer Entwicklung sehr gut behaupten und durchsetzen können und daher als Mischbaumarten gut geeignet sind (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2020a).

## 2.4 Massnahmen gegen Wildverbiss

Für eine rasche Wiederbewaldung zur Wiederherstellung der Waldfunktionen durch die Verjüngung aller standortgerechten Baumarten, einschliesslich der Tanne und der beigemischten Laubbaumarten, ist es notwendig, die Wilddichte dementsprechend zu reduzieren. Die Abschusspläne wurden aufgrund der neuen Rahmenbedingungen und Herausforderungen angepasst. Für das Windwurfgebiet in den Forstinspektoraten Bozen I und II wurde ein Bejagungskonzept im Windwurfgebiet in Auftrag gegeben. Die Abschussplanerfüllung ist jedoch noch nicht zufriedenstellend. In Südtirol sieht das Landesjagdgesetz Geldstrafen für Jagdreviere vor, wenn der Abschussplan nicht zu 85 % erfüllt wird und in der Folge Schäden am Wald festgestellt werden.

## 2.5 Massnahmen gegen Borkenkäfer in der Praxis

In den Hauptgebieten der Sturmwurf-schäden wurde das Netzwerk von Pheromonfallen zur Überwachung der Borkenkäferentwicklung 2019 auf 100 Fallen erweitert. Im nächsten Kapitel werden die aktuellen Daten von 2023 dargestellt. Die Fallen sind gut über das Gebiet verteilt, für die verschiedenen Standorte repräsentativ und werden in regelmässigen Zeitintervallen von den Förstern geleert. Die gefangenen Borkenkäfer werden gezählt. Auf diese Weise wird ermöglicht, das Phänomen in seiner Intensität sowie in seiner räumlichen und zeitlichen Verteilung auf Provinz- und überregionaler Ebene zu untersuchen.

Eine weitere Monitoring-Aktivität bezieht sich auf die Kartierung und Digitalisierung der vom Borkenkäfer befallenen Waldflächen. Erste Ergebnisse der Auswertung dieser Daten sind im nächsten Kapitel (3.2) dargestellt. Für eine kontinuierliche Verbesserung der Kartierung wird auch an der Erzeugung und Verwendung von Fernerkundungsdaten gearbeitet.

Neben dem Monitoring wurden auch Massnahmen ergriffen, um die Ausbreitung des Borkenkäfers zumindest lokal zu reduzieren und dabei auch den bereits verursachten ökonomischen Schaden so gering wie möglich zu halten. Anfangs wurde mit Fangbäumen gearbeitet und empfohlen, das nicht abtransportierbare, am Boden liegende Fichtenschadholz zu entringen oder zumindest zu zerkleinern. Als noch wichtigere reaktive Massnahme wurde zunehmend die rechtzeitige Entfernung von befallenen Fichten umgesetzt und gefördert. Um eine Priorisierung auf vordringliche Flächen zu erhalten, wurden die Förderungskriterien für die Prämien bei der Bringung angepasst und bei bestimmten Kriterien erhöht. Insbesondere wurde damit sichergestellt, dass frisch befallene Bäume entnommen wurden, für die es eine Prämie gab, und nicht diejenigen, aus denen der Käfer bereits ausgeflogen war (graue Bäume, für die es keine Förderung gab). Die Priorität lag dabei auf dem Objektschutzwald. Wichtig war hier auch eine direkte Miteinbeziehung der Waldeigentümer und Forstunternehmen.

Um die vordringlichen Massnahmen besser umzusetzen, wurde mit Schwerpunkt auf den Schutzwaldflächen sogenannte «Arbeiten in Regie» (Art. 31 Südtiroler Forstgesetz) durchgeführt. Diese Arbeiten wurden im Rahmen der durch die Landesregierung zur Verfügung gestellten Mittel finanziert und von der Landesabteilung Forstwirtschaft und deren Forstinspektoraten durchgeführt. Dabei wurden wo notwendig Aufforstungen mit temporären Verbauungen gekoppelt.

Auf Flächen, die nicht Objektschutzwald oder Standortsschutzwald sind, wird auf eine kurzfristige Wiederbewaldung über eine Naturverjüngung von Vorwaldstadien mit Pionierbaumarten wie Birke gesetzt. Eine kurzfristige Wiederbewaldung mit Pionierbaumarten kommt je nach Situation auch für die Schutzwaldstandorte in Frage, vorausgesetzt, dass die Flächen nicht zu gross sind (WSL 2015).

## 3 Beobachtungen und Forschungsergebnisse

### 3.1 Entwicklung der Borkenkäferaktivität

Das direkt nach dem Sturmereignis Vaia ausgebaute Monitoringnetz mit Pheromonfallen ist darauf ausgelegt, die Aktivität der Borkenkäferpopulationen in einem bestimmten Raum aufzuzeigen. Die Daten von 2019 bis 2023 legen nahe, dass zunächst im Frühjahr nach dem Sturmereignis Vaia hauptsächlich dort, wo das Schadholz zu mehr als 85 % aufgearbeitet wurde, keine erhöhte Aktivität des Borkenkäfers auftrat. Der Borkenkäfer entwickelte sich ab dem Frühjahr 2020 und vermehrte sich vor allem 2022 extrem (Abb. 3). Im Frühjahr 2023 war die Entwicklung im Vergleich zu 2022 in den meisten Forstinspektoraten reduziert, was mit der für die Entwicklung des Borkenkäfers ungünstigen Witterung im Frühjahr zu tun hat (Tab. 2).

Festzustellen ist auch, dass in den Forstinspektoraten Bozen I und II, in denen sich die meisten Vaiaflächen befanden, die zur Gänze geräumt wurden, und wo es auch am wärmsten war, die Käferausbreitung viel geringer ausfiel als in einigen anderen Be-

zirken. Insbesondere in denjenigen, in denen die Schneedruckschäden von 2019 und 2020 nicht rechtzeitig haben aufgearbeitet werden können, hat sich die Borkenkäferentwicklung massiv gezeigt.

### 3.2 Entwicklung des Borkenkäferbefalls in verschiedenen Waldtypen

Berechnungen basierend auf den digitalisierten Flächen der vom Borkenkäfer befallenen Bestände zeigen eine Verfünfachung der Schadensflächen von 1214 ha in 2021 auf 6436 ha in 2022 (Abb. 4, Abb. 5). Streuschäden sind nicht erhoben worden und können daher nicht dargestellt werden. Wir haben analysiert, welche Waldtypen von der Entwicklung der Borkenkäferpopulationen besonders betroffen sind. Die Waldtypen basieren auf den aktuellen Standortsverhältnissen und der potenziellen natürlichen Vegetation (PNV) (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2010a).

Die Ergebnisse der Befallsdynamik in den verschiedenen Waldtypen zeigen, dass erst im Jahr 2022 auch Fichtenbestände in potenziellen Laubwäldern betroffen waren, welche zuvor gar nicht oder kaum befallen waren (Abb. 4). Die stärkste Entwicklung der Borkenkäferpopulationen fand in den Waldtypen der montanen und subalpinen Fichtenwälder sowie im Fichten-Tannenwaldtyp statt (Abb. 4).

Stellt man den befallenen Flächen die Gesamtflächen der betreffenden Waldtypen in Südtirol gegenüber, sind die subalpinen und montanen Fichtenwälder sowie die Fichten-Tannenwälder die verbreitetsten Waldtypen mit respektive 91 917 ha, 67 548 ha und 54 801 ha, welche zugleich auch den grössten Befall aufweisen mit respektive 1776 ha, 2651 ha und 2200 ha bzw. 1,9 %, 3,9 % und 4 % des Waldtyps. Damit erscheinen die subalpinen Fichtenwälder nicht sehr viel weniger gefährdet als die montanen. Diese Beobachtung steht im Gegensatz zu den in der Waldtypisierung gemachten Einschätzungen, nach welchen «Hochmontane Fichtenwälder für Massenvermehrungen viel anfälliger sind als subalpine Wälder» (Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-

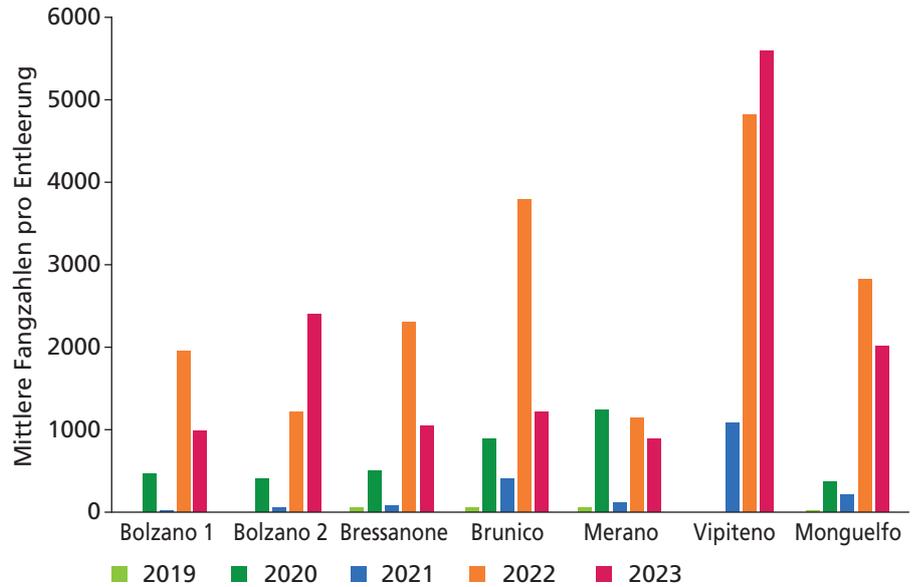


Abb. 3. Durchschnittliche Fangzahlen pro Entleerung der Pheromonfallen für Buchdrucker in der Saison von 1. April bis 20. Mai in den Jahren 2019 bis 2023 in sieben Forstinspektoren (Ripartizione Foreste, Provincia Autonoma di Bolzano 2023). © Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol.

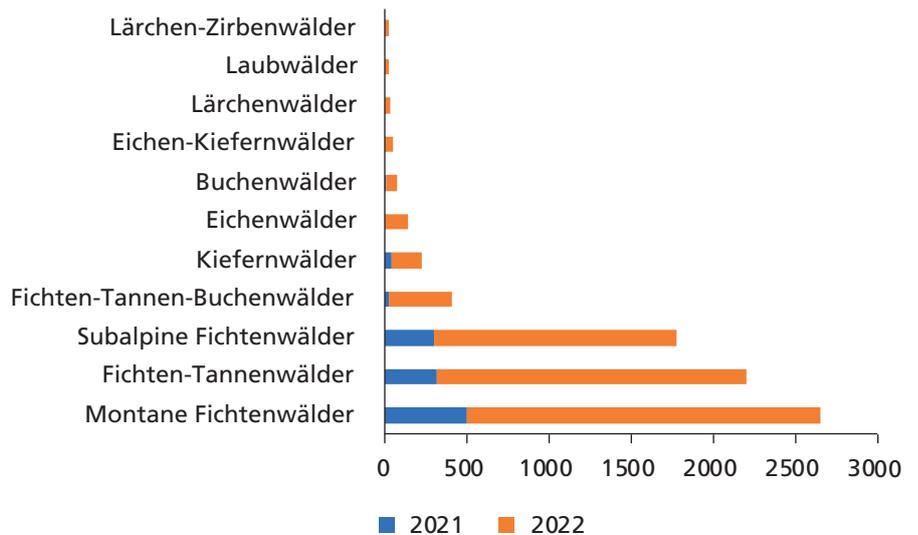


Abb. 4. Flächenmenge der vom Buchdrucker (*Ips typographus*) befallenen Waldbestände in Südtirol für die Jahre 2021 und 2022 für die jeweiligen Waldtypen PNV: Potenzielle Natürliche Vegetation, Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol (2010a).

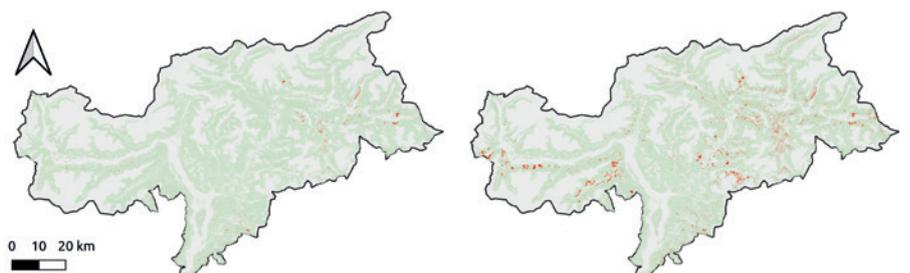


Abb. 5. Borkenkäferflächen (rot) in Südtirol im Jahr 2021 (links) und Ende 2022 (rechts). Die gesamte Waldbedeckung ist in grüner Farbe dargestellt. Streuschäden sind nicht berücksichtigt. Daten der Abteilung Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol.



Wellstein C., Giberti G.S. (2023) Waldverjüngung im Fichtenwald und dessen Sturmwurfflächen am Lavazè Pass (Projekt MoniVa). Autonome Provinz Bozen – Südtirol, Agrar- und Forstbericht 2022, 176–177.

WSL 2015: Aus Schaden klug werden: Lehren aus den Stürmen Vivian (1990) und Lothar (1999). News WSL 05.05.2015. [wsl.ch/de/newsseiten/2015/05/aus-schaden-klug-werden-lehren-aus-den-stuermen-vivian-1990-und-lothar-1999.html](http://wsl.ch/de/newsseiten/2015/05/aus-schaden-klug-werden-lehren-aus-den-stuermen-vivian-1990-und-lothar-1999.html)

### Abstract

#### **Between windthrow and bark beetle infestation: management of extreme events in South Tyrol**

The storm Vaia of October 29, 2018 left severe windthrow damage in South Tyrol's forests. A fast strategy finding and the relative size of the damaged areas allowed an efficient clearing of the deadwood over a period of two years, supported by a promotion of the work through premiums. The results of bark beetle monitoring showed that no population trends of concern for the bark beetle were detected following the windthrow. Follow-up winters resulted in snow pressure damage, which was diffusely distributed on smaller scale and therefore could not be effectively cleared. The bark beetle areas are again small-scale and diffusely distributed and equally difficult for timber extraction. Despite premiums and intensification of timber extraction, infested trees could not be adequately removed. The development of bark beetles is influenced by the weather, which was unfavorable for the beetles in 2021 and favorable in 2022. In 2023, a relatively cool and wet spring slowed the beetle outbreak. While sufficient site-specific plants are available for reforestation thanks to traditional forest gardens, deer browsing is a major problem in both natural regeneration and reforestation. In the management of the meteorological extreme events, stakeholder processes occurred whose differences were mainly due to the magnitude of the damage and its temporal manifestation. Meteorologically, similar extreme events could recur and using the lessons learned and acquiring adapted or new best practices including stakeholder processes seems very useful for a more sustainable approach to climate damages.

Keywords: forest functions, protection forest, mountain forest, forest rejuvenation, *Ips typographus*, Vaia, snow pressure



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

# Huhn oder Ei? Störungen und Baumartenzusammensetzung

Daniel Scherrer, Barbara Moser und Thomas Wohlgemuth

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz, daniel.scherrer@wsl.ch, barbara.moser@wsl.ch,

thomas.wohlgemuth@wsl.ch

**Während Störungsfrequenz und -intensität die Struktur eines Bestandes und damit seine Eignung für verschiedene Baumarten prägen, beeinflusst die vorherrschende Baumartenzusammensetzung die Empfindlichkeit des Bestandes gegenüber Störungen. Wir haben folgende Aspekte dieser Huhn-oder-Ei-Frage analysiert: (1) Die Interaktion zwischen der Naturnähe eines Bestandes und seiner Störungsanfälligkeit, (2) den kurz- und langfristigen Einfluss unterschiedlicher Störungsereignisse und -intensitäten auf die Baumartenzusammensetzung, und (3) die Betrachtung von Störungen als Risiko für prioritäre Waldfunktionen sowie als Chance für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und Anpassung an den Klimawandel.**

## 1 Huhn oder Ei?

Die Frequenz und Intensität von Störungen haben einen massgeblichen Einfluss auf die Struktur und die Baumartenzusammensetzung eines Bestandes. Häufige Störungen führen im Allgemeinen zu jüngeren, offeneren und weniger dichten Baumbeständen, die mehr Pionierarten enthalten und weniger Schlussbaumarten aufweisen (Wohlgemuth *et al.* 2019b). Darüber hinaus beeinflusst das wiederholte Auftreten bestimmter Störungstypen – das Störungsregime – langfristig die Baumartenzusammensetzung. Beispielsweise selektionieren wiederholte Waldbrände, Trockenheit oder regelmässige Lawenniedergänge jene Baumarten, die besonders resistent und/oder resilient gegenüber diesen Störungen sind.

Die spezifischen Eigenschaften der Baumarten bestimmen daher die Störungsanfälligkeit eines Bestandes (Scherrer *et al.* 2023b). Das Risiko von

Windwurf hängt beispielsweise von der Baumhöhe, der Angriffsfläche und der Wurzelstruktur ab. Infolgedessen sind hohe, immergrüne Nadelbäume wie die Fichte wesentlich anfälliger für Winterstürme im Vergleich zu Laubbäumen. Ebenso stehen Schädlingsbefall, Waldbrandrisiko sowie Trockenheitsschäden zusammen mit den Standortbedingungen in direktem Zusammenhang mit der Zusammensetzung des Bestandes.

## 2 Naturnähe und Störungsanfälligkeit

### 2.1 Naturnähe der Schweizer Wälder

Der Grad der Naturnähe eines Waldes zeigt an, inwieweit seine Struktur und Zusammensetzung einem Wald entsprechen, der ohne menschlichen Einfluss gewachsen wäre (Commarmot und Brang 2011). Es gibt jedoch keine

global anerkannte qualitative oder quantitative Grundlage für eine Bewertung der Naturnähe (Winter 2012). Die am häufigsten verwendeten Kriterien basieren auf der Strukturvielfalt und insbesondere auf der standortgerechten Baumartenzusammensetzung.

Die herkömmliche Methode zur Berechnung der Naturnähe im schweizerischen Landesforstinventar (LFI) basiert auf dem Anteil standortgerechter Nadelhölzer und kann somit nur die Naturnähe von Wäldern im Laubholzareal abbilden (Brändli *et al.* 2020). Eine alternative Berechnungsmethode von Scherrer *et al.* (2023a) nimmt Bezug auf einzelne Baumarten und deren Dominanz/Rolle innerhalb eines Bestandes gemäss der NaiS-Standorttypisierung (Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald; Frey *et al.* 2021), die sich auf das Prinzip der potenziell natürlichen Vegetation bezieht (Ellenberg 1956). Mit dieser Methode werden naturferne Wälder in allen Höhenlagen und Waldtypen identifiziert. Beide Berechnungsansätze zeigen, dass gegenwärtig die Baumartenzusammensetzung von rund 45–50 % der Schweizer Wälder als naturfern eingestuft wird und somit signifikant von der erwarteten natürlichen Bestandeskomposition abweicht (Abegg *et al.* 2023; Scherrer *et al.* 2023b). Insbesondere in den Tieflagen des Mittellandes ist der Anteil an Wäldern mit naturnaher Baumartenzusammensetzung gering (Abb. 1). Naturferne Wälder in den Tieflagen weisen oft einen überhöhten Anteil an Fichten (*Picea abies* [L.] H. Karst.) auf. Im Nadelholzareal der Hochlagen, insbesondere im Kanton Wallis, werden Wälder häufig durch einen überhöhten Anteil von Lärchen (*Larix decidua* Mill.) auf potenziellen Fichtenwaldstandorten als naturfern klassiert (Abb. 1).

Naturnähe ist eng mit dem schweizweit angewandten naturnahen Waldbau verbunden, der auf natürliche Verjüngung setzt. Daher ist Naturnähe ein wichtiger Indikator für die Forstpolitik. Das Ziel des naturnahen Waldbaus be-

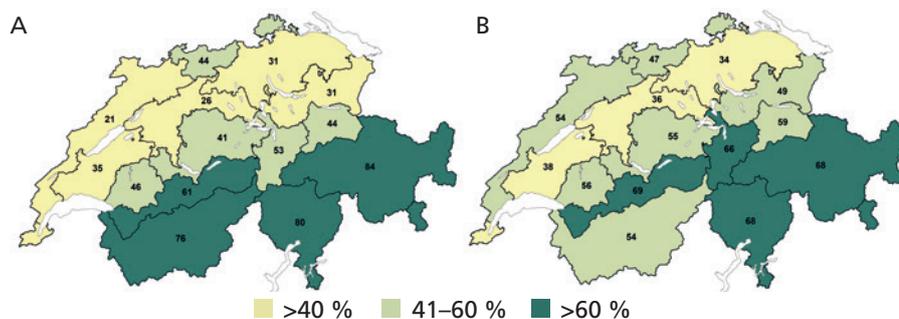


Abb. 1. Anteil der Waldfläche in den 14 Wirtschaftsregionen der Schweiz, die basierend auf (A) dem standortgerechten Nadelholzanteil oder (B) der Dominanz der Hauptbaumarten (Baumartennischung) als naturnah eingestuft werden (Quelle: Abegg *et al.* 2023; Scherrer *et al.* 2023b).

steht darin, Wälder zu schaffen, die in ihrer Baumartenzusammensetzung und Struktur natürlichen Wäldern ähneln, aber aus wirtschaftlichen Gründen einen erhöhten Fichtenanteil aufweisen können. Die Bestrebungen, Wälder möglichst naturnah zu bewirtschaften, basieren auf der Annahme, dass diese im Allgemeinen widerstandsfähig gegenüber Störungen sind und sich potenziell besser an ein sich änderndes Klima anpassen können. Diese beiden Annahmen wurden jedoch bisher kaum anhand umfangreicher, flächendeckender Datensätze überprüft. Scherrer *et al.* (2023b) konnten mithilfe repräsentativer Daten des LFI quantifizieren, dass die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung tatsächlich einen Einfluss auf die Anfälligkeit eines Bestandes für Störungen hat, wobei die Zusammenhänge oft komplex und vielschichtig sind.

### 2.2 Fichten in tiefen Lagen

Gemäss den neuesten Angaben des LFI (LFI5 2018–2022) weisen rund 65–75 % der Wälder im Mittelland und den tiefen Juralagen einen erhöhten bzw. nicht standortgerechten Nadelholzanteil auf, rund 30 % sind fast reine Nadelholzbestände (>75 % Nadelhölzer; Abegg *et al.* 2023). Eine repräsentative Betrachtung der Störungsereignisse zwischen LFI2 (1993–1995) und LFI4 (2009–2017) zeigte, dass über 60 % der gestörten Waldbestände fichtendominiert waren (Scherrer *et al.* 2022). Die überwiegende Mehrheit der Störungsereignisse (85 %) betrafen Windwürfe (Lothar, 1999) und Borkenkäferbefall (*Ips typographus*; 2000–2008). Die betroffenen Fichtenbestände waren meist als naturfern oder sehr naturfern klassifiziert und befanden sich auf Buchenwaldstandorten und somit ausserhalb der natürlichen klimatischen Hauptverbreitung der Fichte (Scherrer *et al.* 2023b).

Fichtenbestände in tieferen und daher wärmeren Lagen des Mittellandes sind immer häufiger auch Trockenheitsstress ausgesetzt und werden dadurch noch anfälliger für den Borkenkäfer (Jakoby *et al.* 2019; Netherer *et al.* 2019). Zudem beschleunigen höhere Temperaturen die Entwicklung der Käfer (Jakoby *et al.* 2019). Scherrer

*et al.* (2023b) zeigten, dass die absolute Menge an Käferholz stark von grossen Störungsereignissen abhängt, die relative Verteilung über die verschiedenen Forstreviere jedoch hauptsächlich von Fichtenstandorten im Laubwaldareal getrieben wird (Abb. 2).

Die letzten Jahrzehnte zeigten also, dass das Primat der Nutzholzproduktion (Bürgi 1999) mit Dominanz der Fichte im Schweizer Wald wirtschaftlich zum Klumpenrisiko geworden ist. Das erhöhte Ausfallrisiko durch Störungsereignisse, insbesondere Windwurf, Trockenheit und darauffolgender Käferbefall, bedroht zunehmend wichtige Ökosystemfunktionen wie Holzproduktion und auf lange Sicht auch die Schutzfunktion im Schutzwald mittlerer Lagen (Scherrer *et al.* 2023a).

### 2.3 Lärchen in den Alpen

In den Schweizer Alpen gibt es diverse Regionen, wo die Lärche gemäss NaiS überrepräsentiert ist (Scherrer *et al.* 2023b). Dies ist an vielen Orten die Folge von historischer Landnutzung (z. B. Waldweiden) und erhöhten Störungsfrequenzen wie zum Beispiel in Lawinenzügen. Im Gegensatz zu den Fichten im Tiefland sind die Lärchen auf hochmontanen und subalpinen Fichtenstandorten aber Teil einer natürlich ablaufenden Sukzession und sind ein Beleg für frühere Störungen. Dies zeigt sich auch dadurch, dass Lärchen auf Fichtenstandorten kaum störungsanfällig sind, dies im Gegensatz zu «naturnahen» Fichtenwäldern in der gleichen Höhenstufe (Scherrer *et al.* 2023b).

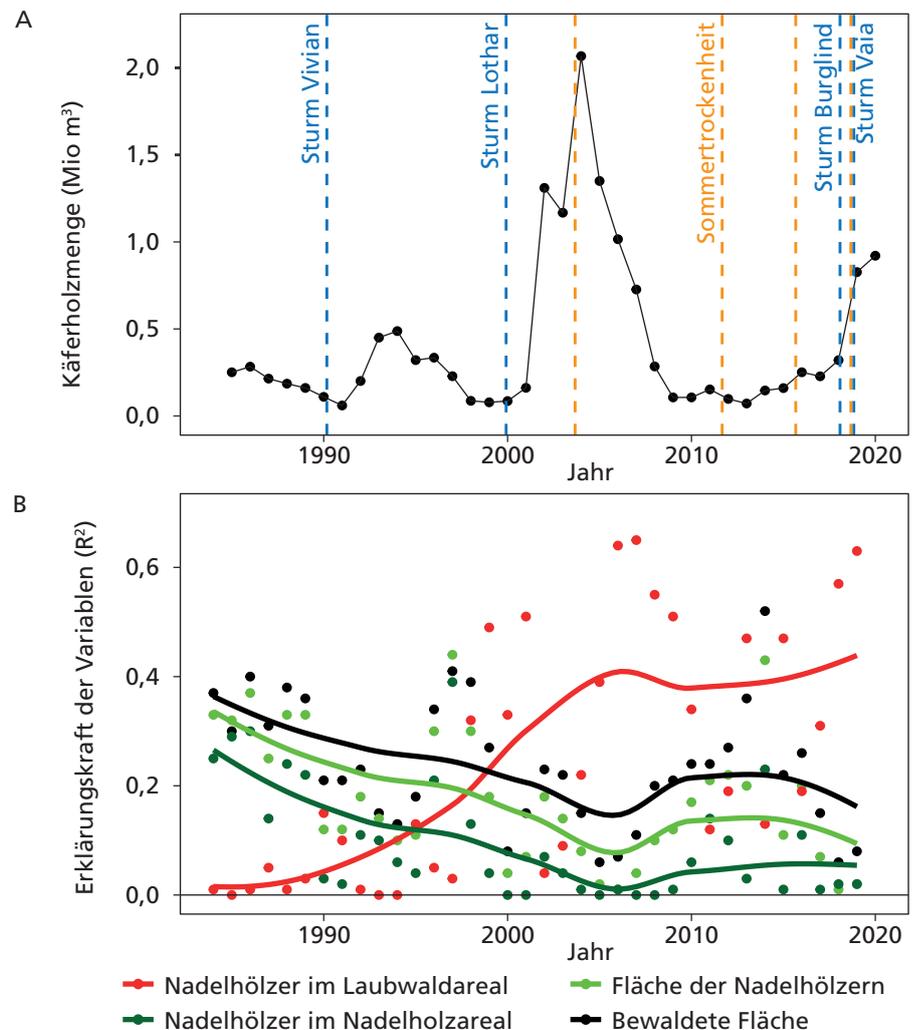


Abb. 2. Borkenkäferschäden in verschiedenen Waldtypen. (A) Holzvolumen (in Mio. m³) beschädigt durch Borkenkäferbefall von 1984 bis 2019 für den gesamten Schweizer Wald. Blau und orange gepunktete Linien zeigen das Auftreten von grossen Stürmen und Sommerdürren. (B) Die Erklärungskraft von verschiedenen Variablen (R²) für die jährliche Menge an beschädigtem Holz pro Forstrevier von 1984 bis 2019.

Zusammenfassend bestätigen die Auswertungen, dass naturnahe Wälder störungsresistenter sind, was sich in den Tieflagen der Schweiz hauptsächlich durch geringere Windwurfanfälligkeit von Laubbäumen während Winterstürmen (Wohlgemuth *et al.* 2019a) sowie deren geringerer Anfälligkeit auf Borkenkäfer (Jakoby *et al.* 2019) zeigt, während die Nadelwälder in höheren Lagen bei zunehmend höheren Temperaturen verstärkt dem Risiko von Borkenkäferbefall ausgesetzt sein werden. Lärchen können wiederholten Lawinengängen oder grossen Schneelasten in ihrer Winterkahlheit eher standhalten (Bebi *et al.* 2019), sind aber bezüglich Schutzwirkung gegenüber Lawinen den Fichten unterlegen.

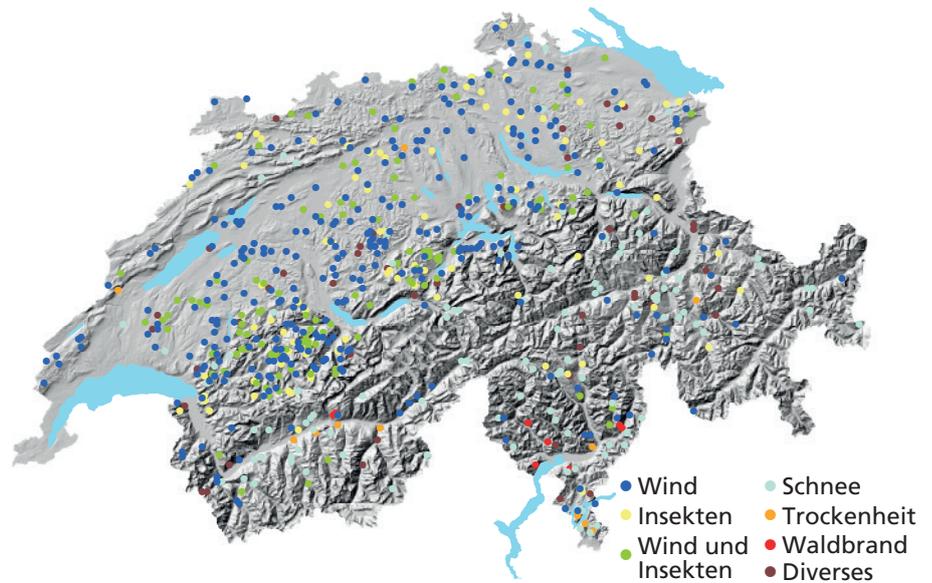


Abb. 3. Störungsereignisse (>250 m<sup>2</sup>) und deren Ursachen gemäss Försterbefragung auf LFI-Probeflächen im Zeitraum 1993 bis 2017.

### 3 Störungsereignisse und deren Folgen für die Baumartenzusammensetzung

#### 3.1 Störungsereignisse und -intensität

Basierend auf den Daten des LFI wurden Windwurf und Käferschäden als die mit Abstand häufigsten Störungen in Schweizer Wäldern identifiziert, gefolgt von Schnee in höheren Lagen (Lawinen und Schneebruch). Grössere Waldbrände kommen zur Zeit nur im Tessin und im Wallis regelmässig vor (Abb. 3; Scherrer *et al.* 2022). Zusammen mit Trockenheit werden sie jedoch schweizweit als bedeutende zukünftige Störungen betrachtet. Auch die forstliche Nutzung und die natürliche Walddynamik, also das natürliche Absterben von Baumindividuen, können als Störungen bezeichnet werden, wobei ihre Intensität und die daraus resultierenden Kronenöffnungen im Vergleich mit anderen Störungen deutlich geringer sind. Allgemein lassen sich die Störungen von der Grösse her grob in lokal begrenzte und grossflächige Ereignisse unterteilen, die wiederum kurz- und langfristige Auswirkungen auf die Waldentwicklung haben.

#### 3.2 Kleinflächige Störungen

Kleinflächige Störungen betreffen einerseits die Auswirkungen von Waldbewirtschaftungsformen wie dem na-

turnahen Waldbau und der Dauerwaldbewirtschaftung, die darauf bedacht sind, Einzelbäume zu ernten und die Grösse der Waldöffnungen klein zu halten (Brang *et al.* 2014; Schütz *et al.* 2016). Andererseits bewirken Störungsereignisse mit geringer Intensität das Absterben von oft nur einzelnen Bäumen im Bestand, wie beispielsweise mässige Trockenheit in Kombination mit Bestandeskonkurrenz und/oder lokalen Bodeneigenschaften, Streuschäden durch Stürme oder der Befall durch Pathogene. Kleinflächige Störungen verursachen meist nur kleine Lücken im Bestand, welche durch umliegende Adultbäume und vorhandene Verjüngung schnell zuwachsen (Scherrer *et al.* 2021). Neue Arten, die möglicherweise besser an die aktuellen oder zukünftigen Bedingungen angepasst sind, haben aufgrund des Vorsprungs der bereits angewachsenen, schattentoleranten Verjüngung kaum Möglichkeiten zur Etablierung, insbesondere wenn es sich um lichtbedürftige Pionierarten oder Eichen (*Quercus* spp.) handelt. Nach kleinflächigen Störungen scheint daher die Konkurrenzsituation (bestehende Verjüngung, Samendruck der Adultbäume, Schattentoleranz) eine wesentlich grössere Bedeutung für den Aufwuchs von jungen Bäumen zu haben als klimatische Einflüsse, was auch aus Verjüngungen auf Windwurfflächen bekannt ist (Kramer *et al.* 2014). Waldsysteme mit kleinen Störungen, sei es durch natürliche Prozesse oder Waldbewirtschaftung, weisen eine hohe Wider-

standsfähigkeit (Persistenz) gegenüber Veränderungen auf und neigen dazu, ihren gegenwärtigen Zustand beizubehalten.

#### 3.3 Grossflächige Störungen

Gemäss dem LFI sind grossflächige Störungen in der Schweiz grösstenteils auf Windwurf und grossflächigen Käferbefall zurückzuführen. Auch intensive Waldbrände und gegebenenfalls Trockenheit können grosse Waldflächen betreffen, jedoch sind solche Ereignisse in der Schweiz bis heute selten. Im Gegensatz zu kleinflächigen Störungen stirbt bei solchen Ereignissen ein grosser Teil des Bestandes ab. Ein Waldbrand mit hoher Brandintensität führt zu einer «Tabula Rasa»-Situation, bei der die gesamte Verjüngung vernichtet wird. Auch bei grossen Sturmereignissen werden viele Pionierstandorte geschaffen, zum Beispiel auf den Wurzeltellern der umgeworfenen Bäume. Hier kann die Sukzession von Pionier- zu Klimaxgesellschaften neu beginnen. Unter Umständen können sich auch neue Arten ansiedeln, vorausgesetzt ihre Samen erreichen die Pionierflächen. Umweltfaktoren, wie zum Beispiel die Witterung in den ersten Jahren nach der Störung, spielen eine bedeutende Rolle (Moser *et al.* 2015; Moser *et al.* 2010). Die Waldstruktur wird dabei stärker von Umweltfaktoren und lokalen Standortbedingungen als vom ursprünglichen Waldtyp vor der

Störung geprägt. Somit kann sich ein Wald auch an neue Bedingungen, wie ein verändertes Klima, anpassen.

**Winterstürme**

Die beiden Winterstürme Vivian (1990; 4,9 Mio. m<sup>3</sup> Sturmholz) und Lothar (1999; 13,9 Mio. m<sup>3</sup> Sturmholz) bieten eine ausgezeichnete Möglichkeit, die Vegetationsentwicklung nach intensiven Windwürfen unter verschiedenen Umweltbedingungen zu untersuchen. Während Vivian vor allem die Nadelholzwälder im Alpenraum betraf, waren die von Lothar beschädigten Gebiete vorwiegend Laubwaldstandorte im Mittelland und im Voralpengebiet.

Zwei Jahrzehnte nach Vivian zeigte sich in den höheren Lagen, die von dem Sturm heimgesucht wurden, eine nadelholzdominierte Verjüngung, ähnlich der Bestandeszusammensetzung vor dem Sturm. Somit fand keine langfristige Änderung oder Verschiebung der Baumartenzusammensetzung statt (Schönenberger 2002). Nach einer Pionierphase entwickelt sich wieder ein vergleichbarer Nadelwald. Diese Beobachtung stimmt mit den Erwartungen gemäss der NaiS-Standorttypisierung überein, da der Wald bereits vor Vivian der erwarteten Baumartenzusammensetzung entsprach.

Lothar hingegen betraf hauptsächlich Laubwaldstandorte, die in den Jahrzehnten zuvor zur Holzproduktion mit Fichten bestockt worden waren (Bürgi und Schuler 2003). Die Laub-

baumarten in diesen Beständen waren aufgrund ihres winterlichen Laubabwurfs weniger vom Wintersturm betroffen als die immergrünen Fichten, deren Schäden insgesamt grösser ausfielen (Abb. 4). Dies führte einerseits zu einem direkten Einfluss auf den Holzvorrat der Schweizer Wälder, wobei der Nadelholzanteil zwischen dem LFI2 und LFI4 sturmbedingt um 2 % abnahm. Andererseits zeigte sich auf den Sturmflächen eine klare Verschiebung in der etablierten Verjüngung von Nadelhölzern hin zu verschiedenen Laubbaumarten (Abb. 4; Kramer *et al.* 2014; Scherrer *et al.* 2022). Diese Veränderung konnte auf ungestörten Flächen kaum beobachtet werden, wo die angepflanzten Nadelhölzer weiterhin sehr dominant blieben und starken Zuwachs zeigten.

Diese LFI-Resultate legen nahe, dass die grossflächigen Sturmschäden Bedingungen geschaffen haben, unter denen die lokalen Standortbedingungen wichtiger sind als die Prägung durch die ursprüngliche Bestandeszusammensetzung. Die Störungen fungierten somit als Katalysator für eine langfristige Veränderung der Baumartenzusammensetzung hin zu einer neuen standortsangepassten Waldgesellschaft.

**Borkenkäferbefall**

Borkenkäferbefall ist oft ein sekundärer Effekt, da die Käfer hauptsächlich bereits gestresste Bäume befall-

en. Bisher wurden grosse Borkenkäferschäden vor allem nach Windwürfen beobachtet (De Groot *et al.* 2018; Stadelmann *et al.* 2014), doch zunehmend wird der Befall auch im Zusammenhang mit Sommertrockenheiten (Netherer *et al.* 2019) und Schneebruch (Wellstein *et al.* in diesem Band) beobachtet. Die schwersten Schäden wurden beim Zusammentreffen von Windwurf und Trockenheit festgestellt (Abb. 2). In den Jahren nach dem Sturm Lothar (1999) wurden jährlich rund 1 Mio. m<sup>3</sup> Käferholz geerntet (2001–2002). Nach der Sommertrockenheit 2003 stieg die jährliche Käferholzmenge nochmals massiv an und erreichte 2003 ein Allzeithoch von 2 Mio. m<sup>3</sup>. Auch der Wintersturm Burglind 2018 und die danach folgende Trockenheit führten zu massiven Käferholzmengen, die diejenigen nach Sturm Vivian (1990) deutlich übertrafen. Während die Fichten im Tiefland vermehrt klimatisch gestresst und damit anfälliger für Schädlingsbefall sind, führen die wärmeren Temperaturen dazu, dass die Borkenkäfer früher im Jahr ausfliegen und die Jungkäferstadien schneller durchlaufen, womit sie bis zu einer Generation mehr Nachwuchs pro Saison produzieren können (Jakoby *et al.* 2019). Damit wird der Befallsdruck exponentiell erhöht (Stadelmann *et al.* 2014). In den höheren Lagen sind die Befallsintensitäten bisher geringer, aber auch hier zeichnet sich ein Anstieg ab, insbesondere da in höheren Lagen mit der Klimaerwär-

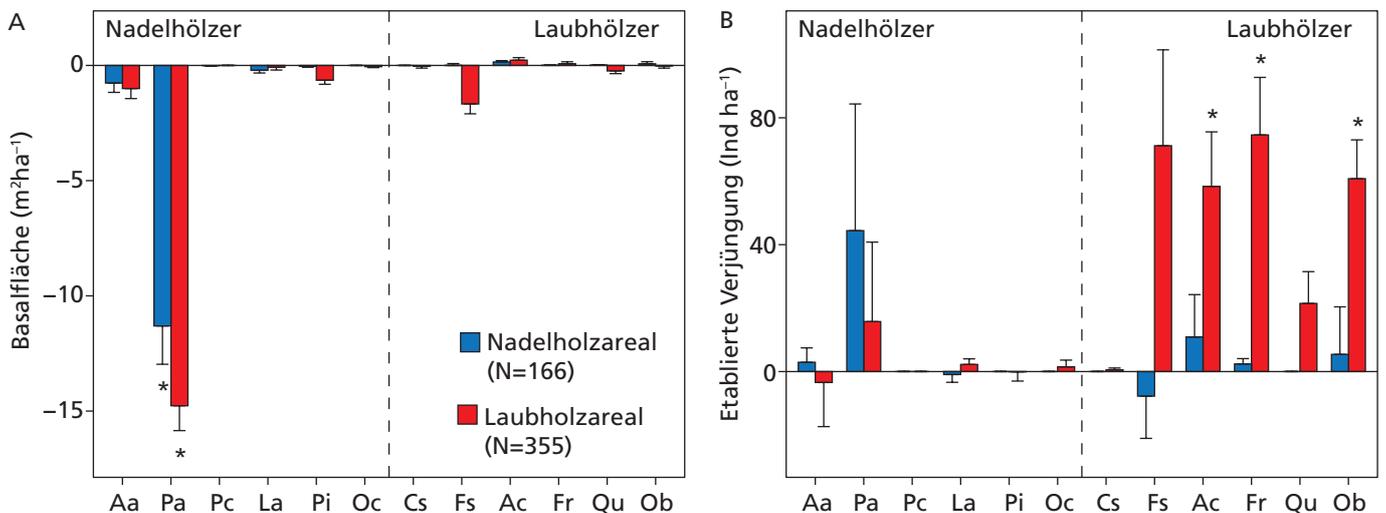


Abb. 4. Änderung der Basalfläche (A) und der etablierten Verjüngung (B; BHD 4–11,9 cm) nach einem grossen Störungsereignis durch Windwurf und/oder Borkenkäferbefall. Vergleich zwischen den LFI-Probeflächen im Nadelholzareal (blau) und Laubwaldareal (rot). Aa = *Abies alba*, Pa = *Picea abies*, Pc = *Pinus cembra*, La = *Larix* spp., Pi = *Pinus* spp., Oc = andere Nadelbäume, Cs = *Castanea sativa*, Fs = *Fagus sylvatica*, Ac = *Acer* spp., Fr = *Fraxinus* spp., Qu = *Quercus* spp., Ob = andere Laubbäume.

mung ebenfalls mehrere Insektengenerationen pro Jahr möglich werden (Cadduff *et al.* 2022; Jakoby *et al.* 2019).

Basierend auf LFI-Daten führen die grossflächigen Käferschäden in den Tieflagen ebenfalls zu einer Verschiebung der Baumarten hin zu standortsgerechten und resistenteren Laubbauarten (Abb. 4). Dieser Wandel ist jedoch langsamer als nach einem Windwurf, da die bereits vorhandene Nadelholzverjüngung erst in fortgeschrittenem Alter von Borkenkäfern befallen wird (Wermelinger 2004).

**Waldbrände**

Waldbrände sind am häufigsten auf der Alpensüdseite zu verzeichnen, während in der übrigen Schweiz intensive und grossflächige Waldbrände bisher fast ausschliesslich in den warmen und trockenen inneralpinen Tälern aufgetreten sind (Wohlgemuth *et al.* 2023 in diesem Band).

Im Tessin ist die Kastanie (*Castanea sativa* Mill.) als Ergebnis vergangener Bewirtschaftung weit verbreitet, insbesondere auf potenziellen Buchenwaldstandorten (Krebs *et al.* 2012). Auf solchen Standorten profitiert die lichtbedürftige Kastanie von Störungen durch Feuer. Durch ihr ausserordentlich hohes Potenzial zum Wiederaustrieb kann die Kastanie nach Waldbränden feuerempfindliche Laubbäume wie die schattentolerante Buche (*Fagus sylvatica* L.) und die Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.) oder Neophyten wie die chinesische Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei* [Hook.] H. Wendl.) und den Kirschlorbeer (*Prunus laurocerasus* L.) verdrängen (Delarze *et al.* 1992; Grund *et al.* 2005). Andere schnellwachsende, invasive Neophyten wie der Götterbaum (*Ailanthus altissima* [Mill.] Swingle) und der Blauglockenbaum (*Paulownia tomentosa* [Thunb.] Steud.) profitieren jedoch noch stärker von Störungen durch Feuer (Maringer *et al.* 2012). Waldbrände, die vom Kastaniengürtel auf die in höheren Lagen wachsenden Buchen übergreifen, schädigen die brandsensiblen Bäume unterschiedlich stark – mit dem Effekt, dass Buchen sich dort in den meisten Fällen rasch wiederverjüngen und andere Baumarten kaum aufkommen lassen (Maringer *et al.* 2020).

Drei der grössten Waldbrände der letzten Jahrzehnte ausserhalb des Tessins betrafen die Regionen Leuk

(2003), Visp (2011) und Bitsch (2023). Insbesondere der Waldbrand in Leuk erstreckte sich über verschiedene Höhenstufen, von Waldföhren (*Pinus sylvestris* L.) und Flaum-Eichen (*Quercus pubescens* Willd.) dominierten Wäldern in den tieferen Lagen bis hin zu Fichten- und Lärchenwäldern an der Baumgrenze. Die hohe Intensität des Feuers hat dabei nahezu alle ausgewachsenen Bäume sowie die gesamte Verjüngung zerstört. Vor 20 Jahren startete somit auf der Waldbrandfläche eine neue Waldsukzessionsfolge. Aufgrund der extremen Umweltbedingungen mit hohen Temperaturen und Trockenheit ist die

Waldbrandfläche auch nach zwei Jahrzehnten noch weit von einem neuen geschlossenen Klimaxwald entfernt. Dank wiederholten Vegetationsaufnahmen verfügen wir über detaillierte Informationen zu dieser Sukzessionsfolge (Abb. 5). Charakteristisch für das Wallis dominieren in den ersten zwei Dekaden verschiedene klassische Pionierarten wie Birke, Pappeln und Weiden (Abb. 5; Gauye *et al.* 2023). In den tieferen Lagen von Leuk zeichnet sich die Ausbreitung der Flaum-Eiche ab, die sich durch Stockausschläge leicht regenerieren kann und vom Eichelhäher ausgebreitet wird (Abb. 5; Nuss-

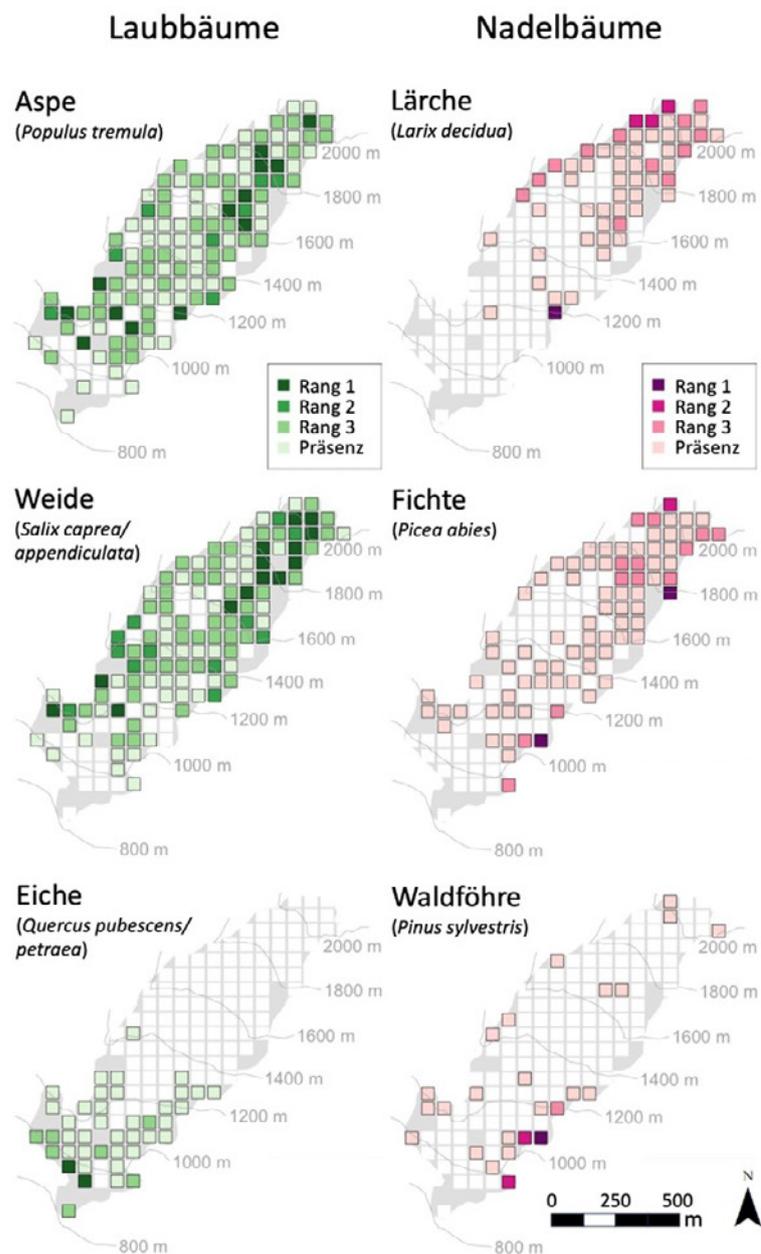


Abb. 5. Verbreitung der wichtigsten Baumarten auf der Waldbrandfläche von Leuk (2003), zehn Jahre nach dem Brandereignis. Rangfolge nach Bedeckung der Fläche auf Stichprobenflächen von je 200 m<sup>2</sup>, grafisch aufskaliert.

baumer und Wohlgemuth 2016). Die vor dem Brand vorherrschende Waldföhre kann sich hingegen nur langsam entlang den Rändern der Waldbrandfläche verjüngen, einerseits weil die Samen, vom Wind verweht, kaum weiter als 30 m von den Samenbäumen entfernt fallen (Nussbaumer und Wohlgemuth 2016), andererseits weil die sommertrockene Witterung in den ersten Jahren nach dem Brand für die Etablierung der Keimlinge ungünstig war (Moser *et al.* 2010). In den höheren Lagen von Leuk und auf dem wesentlich feuchteren Hang von Visp scheint sich wieder ein Nadelwald mit Lärche und Fichte zu etablieren, wobei die günstigeren Wachstumsbedingungen in Visp zu einer viel schnelleren Wiederbewaldung führen (Gauye *et al.* 2023).

### Trockenheit

Trockenheit betrifft bereits heute alle biogeographischen Regionen der Schweiz, und eine Zunahme von Trockenheitsereignissen ist in Zukunft äusserst wahrscheinlich. Im Gegensatz zu anderen grossflächigen Störungen betrifft die Trockenheit Einzelbäume und Altersklassen im Bestand oft unterschiedlich stark.

Im Tessin sind kastaniendominierte Wälder besonders von der Trockenheit betroffen. Kastanienhaine sind in der Regel das Ergebnis historischer Waldbewirtschaftung zur Kastanien- und Holzproduktion (Krebs *et al.* 2012), was dazu führte, dass die Kastanie bis an den Rand ihres potentiellen Verbreitungsgebiets gefördert wurde (Muster *et al.* 2007). Die Reduktion des Waldmanagements in Kombination mit Trockenheit, Krankheiten und Wildverbiss machen die Kastanienhaine anfällig für die Kolonisierung durch andere standortsangepasste Baumarten, die die lichtbedürftige Kastanie verdrängen (Conedera *et al.* 2009; Conedera *et al.* 2001). In gut mit Wasser versorgten höheren Lagen führt dies zu einer Verschiebung von kastanienreichen Wäldern hin zu Buchenwäldern, und in Tieflagen hin zu Laubmischwäldern, die von Linden (*Tilia* spp.) und Ahorn (*Acer* spp.) dominiert werden (Conedera *et al.* 2000; Muster *et al.* 2007).

In den inneralpinen Tälern wird mit zunehmender Trockenheit insbesondere die Waldföhre beeinträchtigt



Abb. 6. Durch Trockenheit verursachte frühe Laubverfärbung und vorzeitiger Laubfall im Sommer 2018. (Foto: Ulrich Wasem, WSL)

(Rigling *et al.* 2013), die als Pionierart bereits heute karge, flachgründige Böden besiedelt, die kaum Wasser speichern können und folglich schnell austrocknen. Waldföhrenwälder nahe am Talboden wurden traditionell als Waldweide und zur Streuproduktion genutzt, womit sie offen gehalten wurden und sich die Waldföhre kontinuierlich verjüngen konnte (Gimmi *et al.* 2010). Ähnlich wie bei der Kastanie im Tessin führt auch bei der lichtbedürftigen Waldföhre eine Kombination von Landnutzungsänderung (dichtere und dunklere Wälder) und Trockenheit zu erhöhter Mortalität (Rigling *et al.* 2018) und reduzierter Verjüngung (Bachofen *et al.* 2019). Infolgedessen verändert sich die Dominanz in den Tieflagenwäldern mit jedem grösseren Trockenheitsereignis von der Waldföhre hin zur etwas schattentoleranteren und trockenheitsresistenteren Flaum-Eiche.

Im Mittelland zeigten sich insbesondere seit 2018 wiederholt regionale Trockenschäden in Buchen- sowie Fichtenbeständen (Frei *et al.* 2022; Schuldt *et al.* 2020). Obwohl diese Schäden im Vergleich zu anderen Störungen wie Wind und Borkenkäferbefall derzeit gesamtschweizerisch noch gering sind, ist eine starke Zunahme in Zukunft zu erwarten. Dies stellt die Eignung der Hauptbaumarten Buche und Fichte an trockenen Standorten im Mittelland in Frage. Die meisten Waldentwicklungsmodelle prognostizieren eine Abnahme der Bedeutung von Bu-

che und Fichte und eine Zunahme von Eichen, Linden und Ahorn (Frehner *et al.* 2019; Zimmermann *et al.* 2014). Bisher lässt sich diese Verschiebung der Laubbaumarten jedoch höchstens sehr zögerlich feststellen, denn insbesondere lichtbedürftigere Zukunftsarten wie die Eiche werden sich kaum von selbst in geschlossenen Buchenwäldern etablieren.

## 4 Störungen, Klimawandel und Waldleistungen

Störungen stehen in einem Spannungsfeld zwischen dem Wunsch nach kontinuierlichen und zuverlässigen Waldleistungen und der Notwendigkeit der Anpassung der Wälder im Zuge des Klimawandels.

Der voranschreitende Klimawandel macht es unausweichlich, dass sich Wälder in ihrer Baumartenzusammensetzung und Struktur verändern müssen. Verschiedene Studien zeigen jedoch, dass Wälder mit geringer Störungsfrequenz und -intensität sehr resistent gegenüber Veränderungen ihrer Baumartenzusammensetzung sind und dazu tendieren, sich im aktuellen Klimaxzustand zu erhalten (z. B. Küchler *et al.* 2015; Scherrer *et al.* 2020). Während das Fehlen grösserer Störungsereignisse kurz- bis mittelfristig positive Auswirkungen auf die Bestandesstabilität haben kann, birgt es längerfristig auch Probleme. Bestände, die

sich nicht oder nur sehr langsam in ihrer Baumartenzusammensetzung und Struktur verändern, laufen bei klimatischen Extremereignissen wie Trockenheit zunehmend Gefahr, grösserflächig geschädigt zu werden, insbesondere wenn ein bestimmter Stressschwellenwert (z. B. Bodenwasserkapazität) unterschritten wird (Walthert *et al.* 2021). In Naturwaldreservaten ist dies unproblematisch und spiegelt die natürliche Dynamik eines Waldökosystems zur Anpassung an den Klimawandel wider. In anderen Systemen mit priorisierten Waldleistungen wie Schutz vor Naturgefahren oder Holzproduktion stellt ein grossflächiges Absterben von Altbäumen die Nachhaltigkeit der bisherigen Waldleistungen ernsthaft in Frage. Hier dürfte ein Management mit geringer Störungsintensität das Risiko für katastrophale Ausfälle langfristig erhöhen. In diesen Wäldern ist daher ein aktives und adaptives Waldmanagement empfehlenswert, das die Baumartendiversität und insbesondere vielversprechende Zukunftsarten gezielt fördert. Durch das Schaffen günstiger Verjüngungs- und Wachstumsbedingungen für diese Baumarten kann der Bestand an den Klimawandel angepasst und langfristig auch die Anfälligkeit gegenüber Störungen reduziert werden. Ein solches Management kann dazu beitragen, die Resilienz der Wälder zu stärken, kontinuierliche Waldleistungen sicherzustellen und die Herausforderungen des sich ändernden Klimas erfolgreich zu bewältigen. Um adäquate Strategien zur Anpassung und nachhaltigen Bewirtschaftung unserer Wälder zu gewährleisten, bedarf es einer sorgfältigen Planung und einer engen Zusammenarbeit von Forschung, Forstwirtschaft und Naturschutz.

## 5 Literatur

- Abegg M., Ahles P., Allgaier Leuch B., Cioldi F., Didion M., Duggelin C., ... (2023) Swiss national forest inventory NFI. Result tables and maps of the NFI surveys 1983–2022 (NFI1, NFI2, NFI3, NFI4, LFI5.1–5) on the internet. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf.
- Bachofen C., Wohlgemuth T., Moser B. (2019) Biomass partitioning in a future dry and CO<sub>2</sub> enriched climate: Shading aggravates drought effects in Scots pine but not European black pine seedlings. *J. Appl. Ecol.* 56: 866–879.
- Bebi P., Bartelt P., Rixen C. (2019) Lawnen und andere Schneebewegungen. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (Red.) *Störungsökologie*. Bern, Stuttgart: Haupt 175–187.
- Brändli U.B., Abegg M., Duggelin C. (2020) Biologische Vielfalt. In: Brändli U.B., Abegg M., Allgaier Leuch B. (Red.) *Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017*. Birmensdorf, Bern: Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU. 189–238.
- Brang P., Spathelf P., Larsen J.B., Bauhus J., Boncina A., Chauvin C., ... (2014) Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry* 87: 492–503.
- Bürgi M., (1999) A case study of forest change in the Swiss lowlands. *Landsc. Ecol.* 14: 567–575.
- Bürgi M., Schuler A. (2003) Driving forces of forest management – an analysis of regeneration practices in the forests of the Swiss Central Plateau during the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century. *For. Ecol. Manage.* 176: 173–183.
- Caduff M.E., Brožová N., Kupferschmid A.D., Krumm F., Bebi P. (2022) How large-scale bark beetle infestations influence the protective effects of forest stands against avalanches: A case study in the Swiss Alps. *For. Ecol. Manage.* 514, 120201.
- Commarmot B., Brang P. (2011) Was sind Naturwälder, was Urwälder? In: Brang P., Heiri C., Bugmann H. (Eds.) *Waldreservate. 50 Jahre natürliche Waldentwicklung in der Schweiz*. Zürich, Bern Stuttgart, Wien: Haupt. 12–25.
- Conedera M., Barthold F., Torriani D., Pezzatti G. (2009) Drought sensitivity of *Castanea sativa*: case study of summer 2003 in the Southern Alps, I European Congress on Chestnut-Castanea 2009 866. 297–302.
- Conedera M., Stanga P., Lischer C., Stöckli V. (2000) Competition and dynamics in abandoned chestnut orchards in southern Switzerland. *Ecol. mediterr.* 26: 101–112.
- Conedera M., Stanga P., Oester B., Bachmann P. (2001) Different post-culture dynamics in abandoned chestnut orchards and coppices. *For. Snow Landsc. Res.* 76: 487–492.
- De Groot M., Ogris N., Kobler A. (2018) The effects of a large-scale ice storm event on the drivers of bark beetle outbreaks and associated management practices. *For. Ecol. Manage.* 408: 195–201.
- Delarze R., Caldelari D., Hainard P. (1992) Effects of Fire on Forest Dynamics in Southern Switzerland. *J. Veg. Sci.* 3: 55–60.
- Ellenberg H. (1956) Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. In: Walter H. (Ed.) *Einführung in die Phytologie*. Stuttgart: Ulmer p. 146.
- Frehner M., Huber B., Gubelmann P., Zürcher-Gasser N., Zimmermann N.E., Braun S., ... (2019) Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel». Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Frei E.R., Gossner M.M., Vitasse Y., Queloz V., Dubach V., Gessler A., ... (2022) European beech dieback after premature leaf senescence during the 2018 drought in northern Switzerland. *Plant Biol.* 24, 1132–1145.
- Frey H., Frehner M., Burnand J., Carraro G., Rutishauser U. (2021) Zur Entstehung der NaiS-Standortstypen. *Schweiz. Z. Forst.* 172: 216–225.
- Gauye C., Bernard C., Moser B., Rigling A., Wohlgemuth T. (2023) L'importance de l'exposition sur le reboisement suite à deux incendies de forêt en Valais. *Schweiz. Z. Forst.* 174: 238–242.
- Gimmi U., Wohlgemuth T., Rigling A., Hoffmann C.W., Bürgi M. (2010) Land-use and climate change effects in forest compositional trajectories in a dry Central-Alpine valley. *Ann. For. Sci.* 67, 701.
- Grund K., Conedera M., Schröder H., Walthert G.-R. (2005) The role of fire in the invasion process of evergreen broad-leaved species. *Basic Appl. Ecol.* 6: 47–56.
- Jakoby O., Lischke H., Wermelinger B. (2019) Climate change alters elevational phenology patterns of the European spruce bark beetle (*Ips typographus*). *Glob. Chang. Biol.* 25: 4048–4063.
- Kramer K., Brang P., Bachofen H., Bugmann H., Wohlgemuth T. (2014) Site factors are more important than salvage logging for tree regeneration after wind disturbance in Central European forests. *For. Ecol. Manage.* 331: 116–128.
- Krebs P., Koutsias N., Conedera M. (2012) Modelling the eco-cultural niche of giant chestnut trees: new insights into land use history in southern Switzerland through distribution analysis of a living heritage. *J. Histor. Geogr.* 38: 372–386.
- Küchler M., Küchler H., Bedolla A., Wohlgemuth T. (2015) Response of Swiss forests to management and climate change in the last 60 years. *Ann. For. Sci.* 72: 311–320.
- Maringer J., Wohlgemuth T., Hackett-Pain A., Ascoli D., Berretti R., Conedera M.

- (2020) Drivers of persistent post-fire recruitment in European beech forests. *Sci. Total Environ.* 699, 134006.
- Maringer J., Wohlgemuth T., Neff C., Pezzatti G.B., Conedera M. (2012) Post-fire spread of alien plant species in a mixed broad-leaved forest of the Insubric region. *Flora* 207, 1: 19–29.
- Moser B., Metslaid M., Walther L., Wasem U., Wohlgemuth T. (2015) Verjüngungspotenzial verschiedener Waldföhren und Fichtenherkünfte bei variabler Trockenheit. *Schweiz. Z. Forst.* 166: 399–407.
- Moser B., Temperli C., Schneiter G., Wohlgemuth T. (2010) Potential shift in tree species composition after interaction of fire and drought in the Central Alps. *Eur. J. For. Res.* 129: 625–633.
- Muster S., Elsenbeer H., Conedera M. (2007) Small-scale effects of historical land use and topography on post-cultural tree species composition in an Alpine valley in southern Switzerland. *Landsc. Ecol.* 22: 1187–1199.
- Netherer S., Panassiti B., Pennerstorfer J., Matthews B. (2019) Acute drought is an important driver of bark beetle infestation in Austrian Norway spruce stands. *Front. For. Glob. Change* 2, 39.
- Nussbaumer C., Wohlgemuth T. (2016) Verbiss bremst die jungen Flaumeichen. *Wald Holz* 97: 31–33.
- Rigling A., Bigler C., Eilmann B., Feldmeyer-Christe E., Gimmi U., Ginzler C. ... (2013) Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. *Glob. Chang. Biol.* 19: 229–240.
- Rigling A., Moser B., Feichtinger L., Gärtner H., Giuggiola A., Hug C., Wohlgemuth T. (2018) 20 Jahre Waldföhrensterben im Wallis: Rückblick und aktuelle Resultate. *Schweiz. Z. Forstwes.* 169: 242–250.
- Scherrer D., Allgaier Leuch B., Fischer C., Frehner M., Wohlgemuth T. (2023a) Maintaining the protective function of mountain forests under climate change by the concept of naturalness in tree species composition. *Front. For. Glob. Change* 6, 1191639.
- Scherrer D., Ascoli D., Conedera M., Fischer C., Maringer J., Moser B. ... 2022. Canopy Disturbances Catalyse Tree Species Shifts in Swiss Forests. *Ecosystems* 25, 199–214.
- Scherrer D., Baltensweiler A., Bürgi M., Fischer C., Stadelmann G., Wohlgemuth T. (2023b) Low naturalness of Swiss broadleaf forests increases their susceptibility to disturbances. *For. Ecol. Manage.* 532, 120827.
- Scherrer D., Hiltbrand F., Dengler J., Wohlgemuth T. (2021) Mind the gaps: Comparison of representative vs opportunistic assessment of tree regeneration in Central European beech forests. *For. Ecol. Manage.* 491, 119179.
- Scherrer D., Vitasse Y., Guisan A., Wohlgemuth T., Lischke H. (2020) Competition and demography rather than dispersal limitation slow down upward shifts of trees' upper elevation limits in the Alps. *J. Ecol.* 108: 2416–2430.
- Schönenberger W. (2002) Windthrow research after the 1990 storm Vivian in Switzerland: objectives, study sites, and projects. *For. Snow Landsc. Res.* 77, 2.
- Schuldt B., Buras A., Arend M., Vitasse Y., Beierkuhnlein C., Damm A., ... (2020) A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic Appl. Ecol.* 45: 86–103.
- Schütz J.-P., Saniga M., Diaci J., Vrška T. (2016) Comparing close-to-naturesilviculture with processes in pristine forests: lessons from Central Europe. *Ann. For. Sci.* 73: 911–921.
- Stadelmann G., Bugmann H., Wermelinger B., Bigler C. (2014) Spatial interactions between storm damage and subsequent infestations by the European spruce bark beetle. *For. Ecol. Manage.* 318: 167–174.
- Walther L., Ganthaler A., Mayr S., Saurer M., Waldner P., Walser M., ... (2021) From the comfort zone to crown dieback: sequence of physiological stress thresholds in mature European beech trees across progressive drought. *Sci. Total Environ.* 753, 141792.
- Wellstein C., Broll M., Unterthiner G., Pietrogiovanna M. (2023) Zwischen Sturmwurf und Borkenkäferbefall: Management von Extremereignissen in Südtirol. In: Bebi P., Schweier J. (Red.) *Forum für Wissen 2023. WSL Berichte* 144: 25–32. doi.org/10.55419/wsl:35226
- Wermelinger B. (2004) Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *For. Ecol. Manage.* 202: 67–82.
- Winter S. (2012) Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. *Forestry* 85\_ 293–304.
- Wohlgemuth T., Hanewinkel M., Seidl R. (2019a) Windstörungen, in: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (Eds.) *Störungsökologie*. Stuttgart: Haupt. 156–174.
- Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (2019b) *Störungsökologie*. Bern: Haupt.
- Wohlgemuth T., Conedera M., Moser B., Pezzatti G.B., Queloz V., Scherrer D., Vitasse Y. (2023) Dynamik von Störungen in Wäldern auf der Alpennordseite von 1900 bis 2023. In: Bebi P., Schweier J. (Red.) *Forum für Wissen 2023. WSL Berichte* 144: 17–24. doi.org/10.55419/wsl:35224
- Zimmermann N.E., Normand S., Psomas A. (2014) *PorTree Final Report: A project funded by the BAFU-WSL program on "Forests and Climate Change" in Switzerland*. ETH Zurich.

## Abstract

### Chicken or egg? Disturbance events and forest tree species composition

Tree species composition is linked to the local disturbance regime, shaping stand structure and suitability. This study analyzes the interaction between stand naturalness and vulnerability to disturbances, short- and long-term effects of various disturbances on tree species composition, and considers disturbances as risks for priority forest functions and opportunities for sustainable forest management and climate change adaptation. Frequent disturbances lead to younger, less dense stands with more pioneer species and fewer mature trees. Repeated disturbances affect tree species composition on the long term, increasing resilience to events like wildfires, droughts, or avalanches. Similarly, tree species' characteristics determine vulnerability to disturbances, such as pest infestations, fire probability, intensity, and drought damage, which all are directly related to stand composition and local conditions. The article examines the impact of tree species composition on stand vulnerability to disturbances and the influence of key disturbance events on forest structure.

Keywords: bark beetle, disturbance management, forest fire, naturalness, tree species composition, winter storms



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

# Schutzwirkung und Resilienz von Gebirgswäldern nach natürlichen Störungen

Peter Bebi<sup>1,2</sup>, Natalie Piazza<sup>3</sup>, Adrian Ringenbach<sup>1,2,4</sup>, Marion Caduff<sup>1,2</sup>, Marco Conedera<sup>5</sup>, Frank Krumm<sup>5</sup> und Andreas Rigling<sup>4</sup>

<sup>1</sup> WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung, SLF Davos, Schweiz, bebi@slf.ch, adrian.ringenbach@slf.ch, marion.caduff@hotmail.com

<sup>2</sup> Climate Change, Extremes and Natural Hazards in Alpine Regions Research Centre CERC

<sup>3</sup> DISAA, University of Milan, Italien, natalie.piazza@unimi.it

<sup>4</sup> Departement Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich, andreas.rigling@usys.ethz.ch

<sup>5</sup> Eidg. Forschungsanstalt WSL, Cadenazzo/Birmensdorf, Schweiz, marco.conedera@wsl.ch, frank.krumm@wsl.ch

**Natürliche Störungen gehören zu den grössten Herausforderungen für die Erhaltung der Schutzfunktionen unserer Wälder. Die Förderung einer möglichst hohen Resilienz gegenüber solchen Störungen wurde in den letzten Jahrzehnten zu einem immer wichtigeren Bestandteil der Schutzwaldbewirtschaftung. In diesem Artikel geben wir einen Überblick zum Einfluss von natürlichen Störungen auf die Schutzfunktion gegenüber Naturgefahren, wobei wir Resultate aus kürzlich an der WSL und der ETH abgeschlossenen Dissertationen aufgreifen. Darauf aufbauend und vor dem Hintergrund der erwarteten weiteren Zunahme von Störungen und Extremereignissen diskutieren wir, wie die zukünftige Resilienz von Schutzwäldern gefördert werden kann.**

## 1 Einleitung

Natürliche Störungen durch Windwurf, Borkenkäferbefall oder Feuer können die Schutzfunktion eines Waldes innert kurzer Zeit untergraben. Nutzungsgeschichtlich bedingt wurden die Schutzwälder der Schweiz in den letzten 150 Jahren zunehmend dichter und vorratsreicher (Brändli *et al.* 2020). Damit hat sich zwar die Schutzwirkung gegenüber Naturgefahren wie Stein- schlag oder Lawinen vielerorts verbessert, die Wälder sind aber auch anfälliger geworden gegenüber eingangs genannten Störungen (Bebi *et al.* 2017). Zusätzlich zur nutzungsgeschichtlich bedingten Disposition tragen der Klimawandel und damit verbundene klimatische Extreme wie Hitzewellen, Dürren, extreme Stürme oder Schneemangel zunehmend dazu bei, dass wir in Zukunft noch mehr mit grossflächigen Störungen rechnen müssen (Thom *et al.* 2022; Patacca *et al.* 2023). Deshalb erhalten Investitionen in die Resilienz von Schutzwäldern eine immer grössere Bedeutung (Seidl *et al.* 2016; Bebi *et al.* 2017). Resilienz wird in diesem Kontext als Fähigkeit eines Waldes verstanden, seine Schutzfunktion im Falle einer Störung so weit wie möglich aufrechtzuerhalten oder so rasch und nachhaltig wie möglich wieder

aufzubauen. Für die Praxis relevante Forschungsfragen sind in diesem Zusammenhang: (1) unter welchen Bedingungen erfolgen nach natürlichen Störungen entscheidende Einbussen in der Schutzwirkung und (2) wie kann die Resilienz von Schutzwäldern erhöht werden?

## 2 Schutzwirkung nach natürlichen Störungen

### 2.1 Lawinenschutz nach Windwurf am Beispiel der Windwurf- flächen von Vivian

Im Februar 1990 rief der Sturm Vivian eindrücklich in Erinnerung, wie anfällig der Wald gegenüber natürlichen Störungen sein kann (Walcher 1991, Abb. 1). In der Folge wurden an der WSL Experimente gestartet, um die Waldentwicklung und den langfristigen Verlauf der Schutzfunktion auf Windwurfflächen nach verschiedenen Behandlungsvarianten zu untersuchen (Schönenberger *et al.* 2002). Ergebnisse aus den ersten 10 Jahren nach dem Sturm deuteten bereits darauf hin, dass in den nicht geräumten Windwurf- flächen eine erhöhte Bodenrauhigkeit durch kreuz und quer liegende Stämme und Wurzelteller in einer ersten Phase

nach einem Windwurfereignis einen zuverlässigen Schutz gegen Lawinen- anrisse und Steinschlag darstellen kann (Schönenberger *et al.* 2005; Frei und Thee 2002). Auch zeigte die erste grössere Bewährungsprobe, nämlich der Lawinenwinter 1999, dass auch bei erheblichen Schneehöhen kaum Lawinen auf Störungsflächen mit grosser Bodenrauhigkeit anrissen (Frei und Thee, 2002). Allerdings nahmen Stabilität und Wirkhöhen der liegenden Stämme danach relativ rasch ab und insbesondere an steilen Hängen (> 40° Hang- neigung) verschoben sich Stämme um mehrere Meter nach unten (Putallaz 2010; Wohlgemuth *et al.* 2017).

In den Jahren 2019–2021, also rund 30 Jahre nach dem Sturm Vivian, wurden die Daten von belassenen Langzeitbeobachtungsflächen in Disentis, Schwanden und Zweisimmen mit Feldaufnahmen auf weiteren nicht geräumten Windwurfereignissen aus den Jahren 1990 (Vivian), 2007 (Kyrill) und 2018 (Vaia) ergänzt (Brožová 2022). Diese Zeitreihen zeigen, dass sich die Schutzleistung auf nicht geräumten Windwurfflächen der montanen und subalpinen Höhenstufe häufig bereits 30 Jahre nach dem Sturm wieder erholt hatte und die Baumkronen im Durchschnitt schon wieder 50 % der Flächen bedeckten. Auch wurden zu diesem Zeitpunkt erstmals erhebliche Dichten an Moderholzverjüngung auf sich zersetzenden Stämmen festgestellt. Dies hatte in diesem Stadium zwar noch keinen Einfluss auf die aktuelle Schutzleistung, ermöglicht aber einen zweiten Verjüngungsschub und erhöht damit die Vielfalt bezüglich Struktur- und Baumalter (Tsvetanov *et al.* 2018). Ausserdem kann liegendes Totholz die Beschattung und Feuchtigkeit der Mikrostandorte sowie den Schutz gegenüber

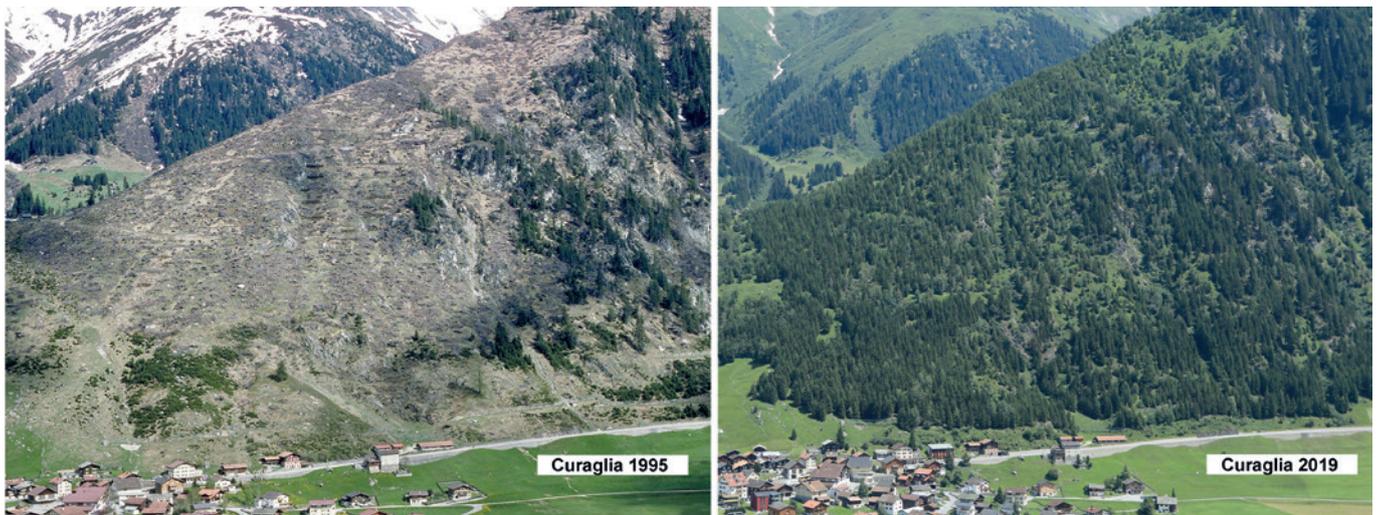


Abb 1. Windwurffläche in Curaglia (GR) 5 Jahre (links) und 29 Jahre (rechts) nach dem Sturm Vivian (Fotos: Ulrich Wasem, WSL)

Verbiss erhöhen, wovon etablierte Verjüngung profitieren kann (Marangon *et al.* 2021). Durch den allmählichen Abbau der von totem Holz und Wurzeltellern erzeugten Oberflächenrauigkeit und die gleichzeitig zunehmende Etablierung der Verjüngung ergab sich ein Minimum der Gesamtschutzwirkung nach etwa 10–15 Jahren (Brožová 2022; Baggio *et al.*, 2022).

## 2.2 Lawinenschutz nach Käferbefall am Gandberg

Wie die Langzeituntersuchungen auf Windwurfflächen lassen auch die Wiederholungsaufnahmen auf der nicht geräumten Käferfläche «Gandberg» (GL) Rückschlüsse zu auf die langfristige Entwicklung und Schutzfunktion nach grossflächigem Borkenkäferbefall. Dafür wurde der Verlauf der natürlichen Entwicklung von Feld- und Fernerkundungsdaten erfasst. Ergänzend dazu wurden für verschiedene Waldentwicklungsphasen nach dem Käferbefall Lawinensimulationen durchgeführt (Kupferschmid *et al.* 2002; Caduff *et al.* 2022).

Die Entwicklung nach grossflächigem Borkenkäferbefall am Gandberg (1992–1997) verlief nicht wesentlich anders als auf Windwurfflächen (Abb. 2). Der Abbau des Totholzes erfolgte aber vergleichsweise langsamer, weil die abgestorbenen Bäume nach Käferbefall meist noch einige Jahre stehen blieben (Caduff *et al.* 2022). An-



Abb. 2. Borkenkäferbestand Gandberg (GL): Links oben: Übersichtsbild im Jahr 1999, rechts oben: Bestandesaufnahme mit dem damaligen Forschungsleiter Walter Schönenberger (Fotos: U. Wasem, WSL), links unten: Übersichtsbild im Jahr 2020 (Foto M. Caduff), rechts unten: Bestandesaufnahme nach Wiederbewaldung (Foto: P. Bebi).

dererseits bleiben auf Käferflächen deutlich weniger Wurzelteller zurück, was im Vergleich zu Windwurfflächen für die Restschutzwirkung nach Käferbefall ein Nachteil ist (Ilisson *et al.* 2007; Bače *et al.* 2012; Brožová *et al.* 2022).

Lawinensimulationen unter Berücksichtigung des Waldzustandes kurz nach dem Käferbefall (1997) resultierten in nur wenigen Lawinenanrissen, und viele der simulierten Lawinen stoppten bereits innerhalb des Waldes

(Abb. 3). Das Minimum der Schutzkapazität wurde ähnlich wie auf der Windwurffläche auf etwa 10 bis 15 Jahre nach der Störung geschätzt. Zu diesem Zeitpunkt waren die Wirkhöhen des Totholzes bereits stark reduziert und die Verjüngung war meist noch zu wenig entwickelt für eine vollständige Übernahme der Schutzfunktion im Falle eines alle 300 Jahre wiederkehrenden Ereignisses (Caduff *et al.* 2022). Dank der fortschreitenden Wiederbewaldung in den Folgejahren nahm die Schutzwirkung

dann bis zum Jahr 2019 wieder deutlich zu, was sich in den Lawinensimulationen dadurch zeigte, dass die Grösse der Anrissflächen abnahm und weniger Lawinen das Tal erreichten (Abb. 3).

Die Resultate auf Windwurf- und Käferflächen bestätigen somit frühere Untersuchungen, welche auf die positive Lawinenschutzwirkung von erhöhter Oberflächenrauigkeit dank liegendem Holz und Wurzeltellern auf Störungflächen hinwiesen (Schönenberger *et al.* 2005; Teich *et al.* 2019). Bestätigt wird dies auch dadurch, dass auf Windwurfflächen mit vorhandener Restrauigkeit seit 1990 kaum Lawinanrisse registriert wurden (Bebi *et al.* 2015). Dennoch sollte jede Situation differenziert betrachtet werden, insbesondere für Störungflächen (i) mit sehr geringer Restrauigkeit (z.B. nach konsequenter Räumung von Totholz), (ii) mit ausgesprochen verzögerter Wiederbewaldung und (iii) in Steilhängen oder im Bereich von Gerinneprozessen, wo die Gefährdung durch sich bewegendes Totholz höher ist als dessen positive Restwirkung.

### 2.3 Schutz gegenüber Steinschlag

Im Vergleich zum Lawinenschutz wirkt Wald gegen Steinschlag vor allem im Transit- und Ablagerungsgebiet, indem Steine aufgehalten werden oder deren Reichweite reduziert wird. Die Schutzwirksamkeit von liegendem Holz gegenüber Steinschlag wurde zwar bereits in früheren Untersuchungen erkannt (Schönenberger *et al.* 2005; Fuhr *et al.* 2015; Olmedo *et al.* 2015) und auch einzelne Feldexperimente wurden durchgeführt (Bourrier 2012). Umfangreiche und systematische Feldversuche mit verschiedenen Steinformen, Steingrößen und Waldtypen erfolgten aber erst in den letzten Jahren (Ringebach 2022).

Diese Experimente zeigten, dass die abbremsende Wirkung von liegendem Totholz bisher stark unterschätzt wurde. In Surava (GR) wurden Feldexperimente mit instrumentierten, 45 kg schweren Steinen in drei verschiedenen Behandlungsphasen eines steilen Fichten-Lärchen-Versuchswaldes durchgeführt: (a) vor einem Verjüngungsschlag, (b) direkt nach dem Eingriff, aber vor der Räumung des liegenden Holzes,

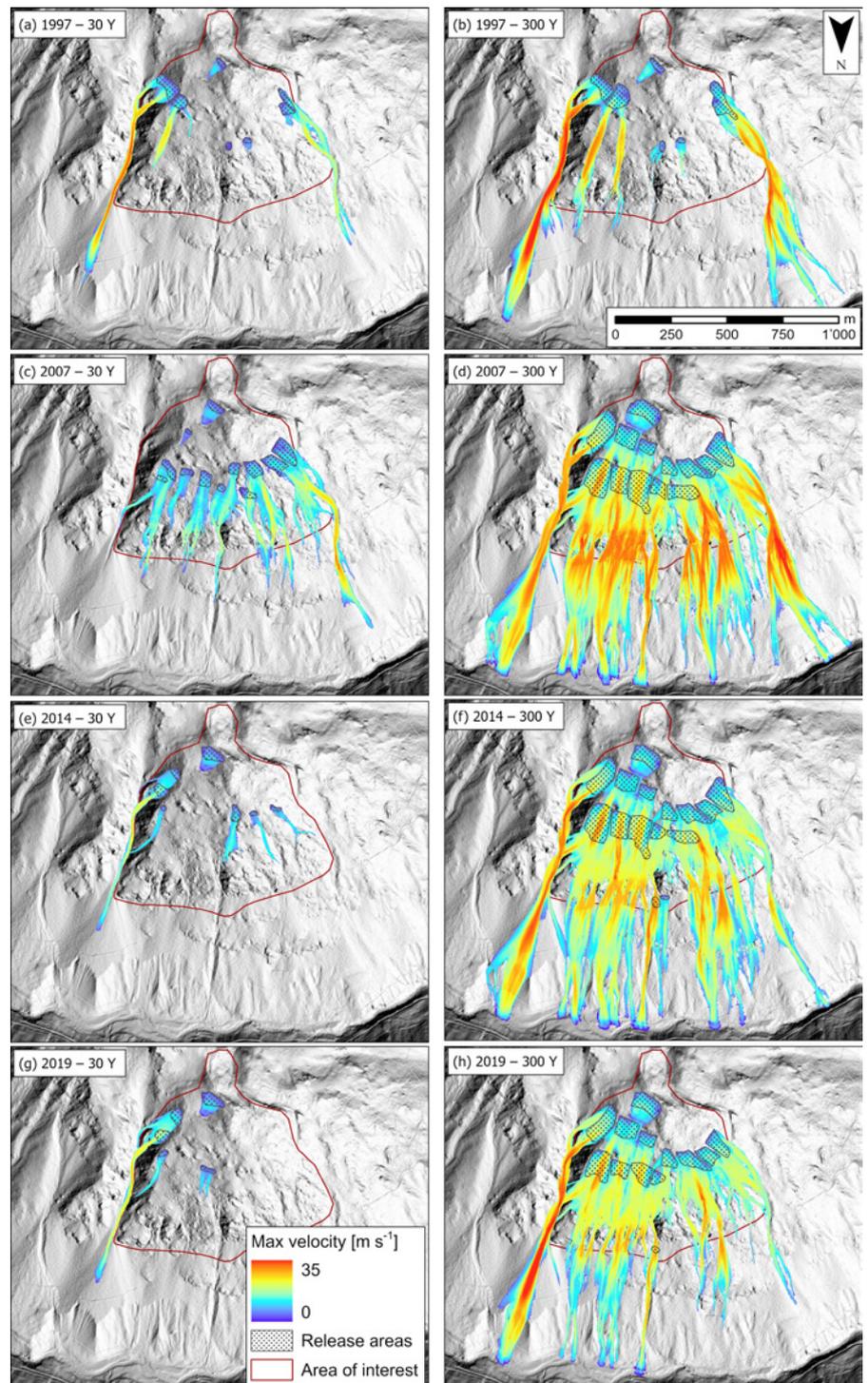


Abb. 3. Lawinensimulation mit RAMMS EXTENDED, in der Forschungsfläche Gandberg für verschiedene Zeitschritte von 1997 bis 2019 und für verschiedene Lawinenszenarien: ein alle 30 Jahre auftretendes Ereignis (Zeitserie links) sowie ein alle 300 Jahre wiederkehrendes Szenario (Zeitserie rechts) (Abbildungen aus Caduff *et al.* 2022, map © swisstopo).

und (c) nach der Räumung des liegenden Holzes. Die Resultate zeigen, dass im Waldzustand mit liegenden Stämmen die mit Abstand beste Schutzwirkung erzielt wird (Ringebach *et al.* 2022a).

Darauf aufbauend wurde die Bedeutung von liegendem Holz und um-

gekippten Wurzeltellern für die Schutzwirkung in Experimenten mit unterschiedlichen Stein- und Blockmassen (bis 3.2 t) und unterschiedlichen Blockformen in einem durch Windwurf gestörten Buchen-Fichtenwald bei Schiers (GR) untersucht. Diese Experimente zeigten, dass zum Teil auch grössere

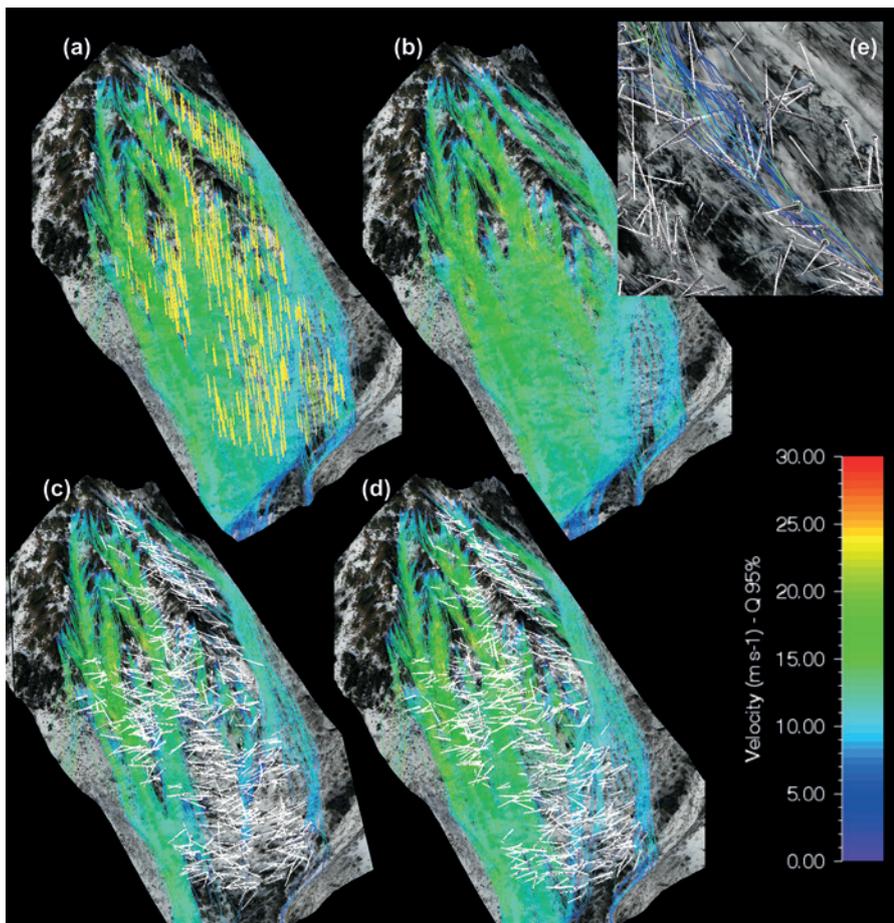


Abb. 4. Simulierte Geschwindigkeit von Steinschlagtrajektorien durch eine Windwurf­fläche im Klöntal (GL) in vier verschiedenen Zuständen: A) Ursprünglicher Wald vor dem Windwurf, B) geräumte Windwurf­fläche ohne Totholz, C) Windwurf­fläche mit frischem Totholz, D) Windwurf­fläche nach 10 Jahren mit teilweise zersetztem Totholz, E) Detailausschnitt von ausgewählten, dreidimensional dargestellten Steinschlagtrajektorien, die mit liegendem Totholz und Wurzeltellern interagieren (abgeändert nach Ringenbach *et al.* 2022b).



Abb. 5. Vom Feuer herausgelöster Stein nach Waldbrand im Centovalli (Foto: M. Conedera)

Blöcke durch Totholz zum Stoppen kamen (Ringenbach *et al.* 2023). Das Resultat war bei würfelförmigen 800-kg-Blöcken besonders deutlich: Während mit Totholz nur 40 % der Steine den Hangfuss erreichten, waren es nach Entfernen des Totholzes etwa 90 %. Bei plattigen Blöcken wirkten stehende Bäume bereits sehr gut, denn nach einem Baumtreffer rollen diese nicht weiter, sondern gleiten auf ihrer flachen Seite den Hang entlang. Ist es lokal nicht steil genug, kommen sie reibungsbedingt oftmals komplett zum Stillstand.

Die beobachteten Flugbahnen und Ablagerungsorte aus den Steinschlagexperimenten wurden anschliessend verwendet, um die Steinschlagsimulation im Wald zu eichen und Steinschlagintensitäten unterhalb von bewaldeten, steinschlaggefährdeten Hängen zu ermitteln. Um dabei auch natürli-

che Störungen und deren Einfluss auf den Steinschlag grossflächig simulieren zu können, wurde ein virtueller Totholzgenerator programmiert und basierend auf Drohnen-Luftbildern validiert (Ringenbach *et al.*, 2022a). Um auch den Schutzeffekt von gealtertem Totholz abzuschätzen, wurde einerseits ein verdichteter Totholzstapel und andererseits eine um 45 % geringere Absorptionsenergie pro Totholzstamm angenommen, abgeleitet von experimentellen Ergebnissen an 8–10-jährigen Stürzeln vom Gandberg (Ammann 2006). Bei einem Drittel des Totholzbestandes wurde zudem eine Braunfäule angenommen, was die Energieabsorption gemäss Ammann (2006) um 90 % reduziert. Basierend auf den experimentellen Resultaten erstaunt es nicht, dass frisches, liegendes Totholz unter den betrachteten Szenarien den besten Schutzeffekt für die simulierten

400 kg schweren Blöcke bietet: Bloss ein Viertel aller Steine kam bei diesem Szenario bis zur Evaluationslinie im Vergleich mit dem komplett geräumten Hang. Hingegen überraschte, dass gemäss den Modellen selbst 10-jähriges, bereits teilweise zersetztes Totholz besser vor Steinschlag schützt als der ursprüngliche Wald. Die Wirksamkeit von Totholz ist, wie auch jene von stehendem Wald, abhängig von der Totholzdichte und der Steinschlagenergie. Wenn aus topographischen Gründen höhere Energien zu erwarten sind, wirken stehende Bäume trotz geringerer Trefferchancen aufgrund der höheren Energieabsorption im Verhältnis besser.

Nach Waldbränden ist die Restschutzwirkung noch mehr als nach Windwurf oder Käferbefall von der Intensität der Störungsereignisse abhän-

gig. Während ein geringer Schweregrad des Feuers die Schutzwirkung gegen Steinschlag kaum beeinflusst, wird diese durch hohe Mortalitätsraten von betroffenen Bäumen bei einem hohen Schweregrad signifikant reduziert (Maringer *et al.* 2016).

Obwohl gegenüber Steinschlag in den ersten Jahren nach einer Störung sogar eine erhöhte Schutzkapazität von gestörten Wäldern vorliegen kann (zumindest im Fall von Windwurf), sind die Auswirkungen in Steinschlagschutzwäldern länger zu spüren als in Lawinenschutzwäldern. Die für die Wiederherstellung der Schutzwirkung effektiv benötigte Zeit ist abhängig von lokalen Faktoren wie erwartete Steinschlagenergie, Hanglänge, Höhenlage, vorhandene Verjüngung und Wilddruck (Ringebach 2022a). Da die ma-

ximal absorbierte Steinschlagenergie von Bäumen stark von deren Durchmesser abhängt, sind meist (dichte) Stangenholzbestände nötig, um überhaupt eine Schutzfunktion zu erzielen. Somit kann das Schutzdefizit auch länger als 30 Jahre bestehen bleiben (Maringer *et al.* 2016).

Wie bei den Lawinen ist auch bei Steinschlagprozessen Vorsicht geboten, wenn es darum geht, die bisherigen Forschungsergebnisse zu verallgemeinern. Die Restschutzwirkung auf Störungflächen ist zwangsläufig in besonders steilen Hängen, bei grossen Blockgrößen und bei kurzen Transitstrecken zum Schadenpotential am geringsten. Dabei sind auch Sekundär-Steinschlagprozesse bei losen Steinen hinter sich zersetzendem Totholz zu beachten (Ringebach *et al.* 2022a). Besonders heikle



Abb. 6. Grabenerosion nach Waldbrand in Visp (Foto: M. Conedera)

Situationen können sich bei Waldbrand ergeben, wenn sich Steine aus den Felswänden lösen (primärer Steinschlag) oder «sekundäre» Steinschläge durch umfallende Bäume herausgelöst werden (Abb. 5, Melzner *et al.* 2022).

## 2.4 Rutschungen, Murgänge und Erosion

Schon wenige Jahre nach dem Absterben von Bäumen nimmt die stabilisierende Wirkung ihrer Wurzeln rasch ab (Vergani *et al.* 2017). Da gegenüber Rutschungen und Murgängen auch kaum ein positiver Effekt einer erhöhten Bodenrauigkeit durch Totholz zu erwarten ist, müssen wir auf über 30° geneigten Hängen nach natürlichen Störungen wie Windwurf (McDonald 2011), Insektenkalamitäten oder schweres Feuer (Vergani *et al.* 2017; Rengers *et al.* 2020) mit einer deutlichen Abnahme der Bodensicherheit und damit auch der Schutzwirkung rechnen (Ammann *et al.* 2009; Vergani *et al.* 2017; Rengers *et al.* 2020). Dies wurde auch durch Katasterdaten bestätigt, wo auf Windwurfflächen während den Jahren 3 bis 17 nach einem Störungsereignis eine deutlich grössere Disposition für flachgründige Rutschungen und Hangmuren als im übrigen Wald festgestellt wurde (Bebi *et al.* 2019).

Besonders gravierend können sich flächige Waldbrände auf die Gefährdung durch Erosion, Oberflächenabfluss und Murgänge auswirken (Conedera *et al.* 2003; Gerold 2019). Unmittelbar nach einem Waldbrand vergrössern sich die Gefahren durch wasserabstossende Bodenoberflächen, ausgetrocknete Böden und die fehlende Interzeption der Kraut- und Baumvegetation, was verstärkt zu Bodenerosion, Murgängen und flachgründigen Rutschungen führen kann (Conedera *et al.* 2003; Melzner *et al.* 2022, Abb. 6).

## 3 Förderung der Resilienz

Die bisherigen Betrachtungen zur Schutzwirkung von Wäldern nach natürlichen Störungen zeigen, dass es nicht zwangsweise zu einer Reduktion der Schutzwirkung kommt. Entscheidend dabei sind: 1) die Hangneigung und andere topografisch-naturräumli-

che Rahmenbedingungen; (2) die Art der natürlichen Störung und die dort relevanten Naturgefahrenprozesse; (3) die Struktur und Artzusammensetzung des Ausgangsbestandes; und (4) die erhobenen Massnahmen nach der Störung. Die topografisch-naturräumlichen Rahmenbedingungen und die Art der Naturgefahr liegen dabei weitgehend ausserhalb unseres Einflussbereichs, stellen aber wichtige Planungsgrundlagen für die Priorisierung von Massnahmen dar.

Der Ausgangszustand vor dem Ereignis ist zumindest bei Störungen durch Windwurf und Käferbefall mitentscheidend dafür, ob die verschiedenen Ökosystemleistungen nach einem Störungsereignis schnell wiederhergestellt und kontinuierlich aufrechterhalten werden können. Je strukturreicher ein Bestand ist und je mehr Verjüngung bereits vor einem Ereignis vorhanden ist, desto rascher verläuft die Wiederbewaldung und desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit eines Defizits der Schutzwirksamkeit nach einem Ereignis (Wohlgemuth *et al.* 2017). Dies ist ein zentrales Argument für eine präventive Schutzwaldbewirtschaftung (Frehner *et al.* 2005) und unterstreicht nochmals die Bedeutung einer vorhandenen (Vor)-Verjüngung. Je mehr wir den Klimawandel und die damit verbundenen Gefährdungen einzelner Baumarten sowie Unsicherheiten bezüglich ihrer Anpassungsfähigkeit betrachten, desto wichtiger erscheint es, die Vielfalt der Arten zu fördern. Störungen können sogar als Chance betrachtet werden, um das Baumartenspektrum schneller an den Klimawandel anzupassen und dadurch die Resilienz der Schutzwälder zu erhöhen (Seidl *et al.* 2016; Scherrer *et al.* 2022; Seidl 2023 in diesem Band; Scherrer *et al.* 2023 in diesem Band).

Nach einer Störung können Resilienz und zukünftige Schutzleistungen vor allem durch die Art des Totholzmanagements sowie ergänzende Pflanzungen und Wildtiermanagement beeinflusst werden. Ein zumindest teilweises Belassen von Totholz kann nicht nur einen wesentlichen Beitrag zum Schutz gegenüber Steinschlag und Lawinen leisten, sondern im Sinne einer umfassenden Resilienz-Betrachtung auch zur Förderung der Biodiversität (Lachat *et al.* 2013; Thorn *et al.* 2018), zur Erhaltung von Elementen der System-

innerung (z.B. Altbäume, Totholz) sowie zur Förderung von Moderholz-Habitaten, welche im späteren Verlauf der Bestandesentwicklung wertvoll für einen zweiten Verjüngungsschub sind und damit wesentlich zur Alters- und Strukturdiversifizierung beitragen (Bače *et al.* 2012; Tsvetanov *et al.* 2018; Caduff *et al.* 2022). Ergänzende Pflanzungen sowohl auf geräumten Störungsflächen wie auch zwischen Totholzelementen können dazu beitragen, dass Schutzleistung und Anpassung an den Klimawandel gezielt dort gefördert werden, wo dies besonders wichtig ist (Schwitter *et al.* 2015; Bebi *et al.* 2016).

#### 4 Grenzen des passiven Managements

Die bisherigen Betrachtungen zur Schutzwirkung und Resilienz nach natürlichen Störungen liefern gewichtige Argumente für ein zurückhaltendes, beobachtendes und trotzdem sehr effizientes Management auf der Basis von natürlichen Prozessen und speziell von Störungen. Der Vollständigkeit halber muss aber auch auf Situationen hingewiesen werden, in denen es klare Gründe dafür gibt, aktiv in den Sukzessionsprozess nach Störungen einzugreifen. Dabei stehen fünf Situationen im Vordergrund:

1. Wenn die Sicherheit des Menschen durch zerfallendes Totholz gefährdet ist, also beispielsweise direkt entlang von offiziellen Wander- und Verkehrswegen.
2. Wenn das Gelände so steil ist, dass tote Bäume und Baumteile ins Rutschen geraten können und eine erhebliche Gefahr durch Sekundärschäden (inklusive lose Steine hinter sich zersetzendem Totholz) besteht.
3. Wenn aufgrund der aktuellen Zusammensetzung und Dynamik des Waldes inklusive übermässigem Wilddruck eine zeitlich stark verzögerte oder ungenügend klimaanangepasste Wiederbewaldung zu erwarten ist, sodass künstliche Pflanzungen und eine Anpassung der Huftierbestände erforderlich sind.
4. Wenn erhebliche Risiken durch die Ausbreitung von Borkenkäfern und andere biotische Störungen entstehen und diese durch ein rechtzeitiges Eingreifen entscheidend

vermindert werden können (sofern die regionalen Kapazitäten der Forstbetriebe dafür überhaupt ausreichen).

5. Wenn eine nachhaltige Waldbewirtschaftung nur mittels Räumung oder zumindest Teilräumung nach einer Störung erreicht werden kann.

Die Unterschiedlichkeit nur schon dieser fünf Situationen macht deutlich, dass generelle Handlungsempfehlungen wenig zielführend sind. Zwar liefern neue Forschungsergebnisse wichtige Argumente für ein effizientes Totholzmanagement und ein Abstützen auf und Gewähren von natürlichen Entwicklungen in Schutzwäldern. Das Herleiten von Handlungsempfehlungen, die Planung und Priorisierung von Eingriffen in solchen Flächen bleibt anspruchsvoll und verlangt ein Miteinander von Forschung und Praxis und eine gemeinsame Diskussion an konkreten Objekten unter Einbezug von gezielter angewandter Forschung (vgl. Bottero *et al.*, Beitrag zum Projekt Mountex in diesem Tagungsband).

#### 5 Folgerungen

Die aus den gezeigten Ergebnissen und Gedanken zur Schutzwirkung auf Störungsflächen ableitbaren Folgerungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Natürlichen Störungen stellen zwar eine sehr grosse Herausforderung für die Erhaltung der Schutzfunktionen von Wäldern dar, können aber vielfach auch als Chancen gesehen werden im Hinblick auf eine raschere Klimaanpassung.
2. Die rechtzeitige Förderung von Vorverjüngung, Struktur- und Artenvielfalt erhöht die mittel- und langfristige Resilienz gegenüber zukünftigen natürlichen Störungen.
3. Liegendes Totholz und umgestürzte Wurzelstümpfe können einen entscheidenden positiven Beitrag zum Schutz vor Lawinen und Steinschlag leisten, insbesondere ausserhalb von sehr steilen Hängen (>~40°). Dieser wurde bis anhin häufig unterschätzt und sollte in Zukunft im Sinne einer räumlich differenzierten Priorisierung von Massnahmen auf Störungsflächen konsequent mitberücksichtigt werden.

4. Die Herausforderungen für den Schutzwald und die Wichtigkeit der Priorisierung von Massnahmen zur Erhöhung von Resilienz und nachhaltigem Naturgefahrenschutz nehmen durch den Klimawandel drastisch zu und verlangen nach einer synergistischen, problemlösungsorientierten Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis.

## 6 Dank

An dem Zustandekommen dieses Artikels haben verschiedenste Personen aus Forschung und Praxis mitgewirkt, denen wir an dieser Stelle herzlich danken möchten. Besonders zu erwähnen sind Walter Schönenberger, Werner Frei, Andrea Kupferschmid, Tom Wohlgemuth und Ueli Wasem, die wichtige Grundlagen für die Langzeitbetrachtungen auf Windwurfflächen lieferten, sowie Samuel Zürcher und Janine Schweiher für die Durchsicht und wertvolle Hinweise zu einer früheren Version des Manuskripts.

## 7 Literatur

- Allgaier Leuch B., Fischer C., Brändli U.B. (2021) Momentan schützt der Schutzwald besser. *Wald Holz*. 30–34.
- Ammann M. (2006) Schutzwirkung abgestorbener Bäume gegen Naturgefahren. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL. 228 S. ISBN 3-905621-34-7
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 228 S.
- Bače R., Svoboda, M., Pouska, V., Janda, P., Červenka, J. (2012) Natural regeneration in Central-European subalpine spruce forests: Which logs are suitable for seedling recruitment? *For. Ecol. Manage.* 266: 254–262. [doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.025](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.025)
- Baggio T., Brožová N., Bast A., Bebi P., D'Agostino V. (2022) Novel indices for snow avalanche protection assessment and monitoring of wind-disturbed forests. *Ecol. Eng.* 181: 106677 (12 S.). [doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106677](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106677)
- Bebi P., Bugmann H., Lüscher P., Lange B., Brang P. (2016) Auswirkungen des Klimawandels auf Schutzwald und Naturgefahren. In: Pluess A.R., Augustin S., Brang P. (Eds.) *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bern, Haupt Verlag. 269–285.
- Bebi P., Putallaz J.M., Fankhauser M., Schmid U., Schwitter R., Gerber W. (2015) Die Schutzfunktion in Windwurfflächen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 166, 3: 168–176.
- Bebi P., Seidl R., Motta R., Fuhr M., Firm D., Krumm F., ... (2017) Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. *For. Ecol. Manag.* 388: 43–56. [doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.028](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.028)
- Bebi P., Bast A., Ginzler C., Rickli C., Schöngrundner K., Graf F. (2019) Waldentwicklung und flachgründige Rutschungen: eine grossflächige GIS-Analyse. *Schweiz. Z. Forstwes.* 170, 6: 318–325. [doi.org/10.3188/szf.2019.0318](https://doi.org/10.3188/szf.2019.0318)
- Bourrier F., Dorren L.K.A., Berger F. (2012) Full scale field tests on rockfall impacting trees felled transverse to the slope. In: Koboltschnig, Huebl (Ed.) 2012 – Conference proceedings 12<sup>th</sup> Congress Interpraevent, Grenoble. 643–650.
- Brändli U.-B., Abegg M., Allgaier Leuch B. (Red.) (2020) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL; Bern: Bundesamt für Umwelt. 341 S.
- Brožová N. (2022) Avalanche protection capacity and disturbance dynamics of mountain forests. DISS. ETH NO. 28207. Ph.D thesis ETH Zürich and SLF Davos. 144 S.
- Caduff M.E., Brožová, N., Kupferschmid A.D., Krumm F., Bebi P. (2022) How large-scale bark beetle infestations influence the protective effects of forest stands against avalanches: a case study in the Swiss Alps. *For. Ecol. Manage.* 514, 120201: 13. [doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120201](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120201)
- Conedera M., Peter L., Marxer P., Forster F., Rickenmann D., Re L. (2003) Consequences of forest fires on the hydrogeological response of mountain catchments: A case study of the Riale Buffago, Ticino, Switzerland. *Earth Surf. Process. Landf.* 28: 117–129.
- Gerold P. (2019) Waldbrandmanagement im Kanton Wallis und Lehren aus dem Brand von Visp im Jahr 2011. *Schweiz. Z. Forstwes.* 170, 5: 251–257.
- Frehner M., Wasser B., Schwitter R. (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 564 S.
- Frey W., Thee P. (2002) Avalanche protection of windthrow areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. *For. Snow Landsc. Res.* 77: 89–107.
- Fuhr M., Bourrier F., Cordonnier T. (2015) Protection against rockfall along a maturity gradient in mountain forests. *For. Ecol. Manage.* 354: 224–231. [doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.012](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.012)
- Ilisson T., Köster K., Vodde F., Jogiste K. (2007) Regeneration development 4–5 years after a storm in Norway spruce dominated forests, Estonia. *For. Ecol. Manag.* 250: 17–24.
- Kupferschmid A.D., Schönenberger W., Wasem U. (2002) Tree regeneration in a Norway spruce snag stand after die-back caused by *Ips typographus*. *For. Snow Landsc. Res.* 77, 1–2: 149–160.
- Lachat T., Bouget C., Büttler R., Müller J. (2013) Deadwood: quantitative and qualitative requirements for the conservation of saproxylic biodiversity. In: Kraus D., Krumm F. (Eds.), *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*. *Eur. For. Ins.* 92–102.
- Maringer J., Ascoli D., Dorren L., Bebi P., Conedera M. (2016) Temporal trends in the protective capacity of burnt beech forests (*Fagus sylvatica* L.) against rockfall. *Eur. J. For. Res.* 135, 4: 657–673. [doi.org/10.1007/s10342-016-0962-y](https://doi.org/10.1007/s10342-016-0962-y)
- Marangon D, Pilotti M, Zancanaro F, Costa M, Lingua E. (2021) Is deadwood helping regeneration? Natural regeneration dynamics in a stand replacing windthrow area. In *Proceedings of EGU General Assembly 2021: 19–30, Apr 2021*. EGU General Assembly 2021. [doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14348](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14348)
- Melzner S., Conedera M., Pezzatti G.B. (2022) Post Waldbrand Risiko in den schweizerischen Gebirgen. *Wildbach- und Lawenverbau* 86. 190: 120–130.
- Olmedo I.M. (2015) Etude expérimentale et numérique de l'efficacité d'ouvrages ligneux de génie biologique pare-pierre. Diss. N°ISAL 0060, IRSTEA and INSA.
- Patacca M., Lindner M., Lucas-Borja M.E., Cordonnier T., Fidej G., Gardiner B., ... (2023) Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Glob. Chang. Biol.* 29, 5: 1359–1376.
- Putallaz J.M. (2010) Protection à long terme contre les avalanches sur les surfaces de chablis; Etude sur l'efficacité mécanique des arbres au sol. Davos: Institut pour l'Etude de la neige et des avalanches, Travail de Master. 116 S.

- Rengers F.K., Oakley N.S., Kean J.W., Staley D.M., Tang H. (2020) Landslides after wildfire: initiation, magnitude, and mobility. *Landslides* 17: 2631–2641.
- Ringebach A. (2022a) Experimental quantification of deadwood influence on rockfall dynamics and its incorporation into regional-scale rockfall models. Diss. ETH NO 28688. Ph.D thesis ETH and SLF Davos, 96 S.
- Ringebach A.E., Stihl Y., Bühler P., Bebi P., Bartelt A., Rigling M., ... (2022) Full-scale experiments to examine the role of deadwood in rockfall dynamics in forests. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 22, 7: 2433–2443, 202.
- Ringebach A., Bebi P., Bartelt P., Rigling A., Christen M., Bühler Y., ... (2022b). Modeling deadwood for rockfall mitigation assessments in windthrow areas. *Earth Surf. Dyn.* 10, 6: 1303–1319. [doi.org/10.5194/esurf-10-1303-2022](https://doi.org/10.5194/esurf-10-1303-2022)
- Ringebach A., Bebi P., Bartelt P., Rigling A., Christen M., Bühler Y., ... (2023) Shape still matters – rockfall experiments with deadwood reveal a new facet of rock shape relevance. *Earth Surf. Dyn.*
- Scherrer D., Ascoli D., Conedera M., Fischer C., Maringer J., Moser B., ... (2022). Canopy disturbances catalyse tree species shifts in Swiss Forests. *Ecosyst.* 25: 199–214. [doi.org/10.1007/s10021-021-00649-1](https://doi.org/10.1007/s10021-021-00649-1)
- Seidl R., Spiess T.A., Peterson D.L., Stephens S.L., Hicke J.A. (2016) Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *J. Appl. Ecol.* 53: 120–129.
- Schönenberger W. (2002) Windthrow research after the 1990storm Vivian in Switzerland: objectives, study sites, and projects. *For. Snow Landsc. Res.* 77, 1/2: 9–16.
- Schönenberger W., Noack A., Thee P. (2005) Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. *For. Ecol. Manage.* 213, 1–3: 197–208. [doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.062](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.062)
- Schwitter R., Sandri A., Bebi P., Wohlgemuth T., Brang P. (2015) Lehren aus Vivian für den Gebirgswald – im Hinblick auf den nächsten Sturm. *Schweiz. Z. Forstwes.* 166, 3: 159–167. [doi.org/10.3188/szf.2015.0159](https://doi.org/10.3188/szf.2015.0159)
- Teich M., Giunta A.D., Hagenmüller P., Bebi P., Schneebeli M., Jenkins M.J. (2019) Effects of bark beetle attacks on forest snowpack and avalanche formation – implications for protection forest management. *For. Ecol. Manage.* 438: 186–203. [doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.052](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.052)
- Thom D., Rammer W., Laux P., Smiattek G., Kunstmann H., Seibold S., ... (2022) Will forest dynamics continue to accelerate throughout the 21<sup>st</sup> century in the Northern Alps? *Glob. Chang. Biol.* 28: 3260–3274.
- Thorn S., Bässler C., Brandl R., Burton P.J., Cahall R., Campbell J.L., ... (2018) Impacts of salvage logging on biodiversity: a meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 55, 1: 279–289. [doi.org/10.1111/1365-2664.12945](https://doi.org/10.1111/1365-2664.12945)
- Tsvetanov N., Dountchev A., Panayotov M., Zhelev P., Bebi P., Yurukov S. (2018) Short- and long-term natural regeneration after windthrow disturbances in Norway spruce forests in Bulgaria. *iForest* 11, 5: 675–684. [doi.org/10.3832/ifor2754-011](https://doi.org/10.3832/ifor2754-011)
- Vergani C., Werlen M., Conedera M., Cohen D., Schwarz M. (2017) Investigation of root reinforcement decay after a forest fire in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) protection forest. *For. Ecol. Manage.* 400: 339–352. [doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.005](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.005)
- Walcher J. (1991) Sturmschäden 1990: eine Lagebeurteilung aus der Sicht der Praxis: Beispiele aus dem Kanton Glarus. *Schweiz. Z. Forstwes.* 142: 463–469.
- Wohlgemuth T., Schwitter R., Bebi P., Sutter F., Brang P. (2017) Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps. *Eur. J. For. Res.* 136, 5-6: 1029–1040. [doi.org/10.1007/s10342-017-1031-x](https://doi.org/10.1007/s10342-017-1031-x)

### Abstract

#### Protective effect and resilience of mountain forests after natural disturbances

Natural disturbances are among the greatest challenges for the management of forests with a protective role against natural hazards. Promoting the highest possible resilience related to natural disturbances has thus become an increasingly important part of mountain forest management in recent decades. In this article, we present results of recently finalized PhD dissertations and provide an overview on the effect of natural disturbances on the protective function against natural hazards. Based on this overview and an expected further increase in the frequency and intensity of extreme events and natural disturbances in mountain forests, we discuss how the resilience of protective forests to future extreme events may be promoted.

**Keywords:** windthrow, forest fire, bark beetle infestations, natural hazards, snow avalanches, rockfall



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

# Strategien zur Klimaanpassung im Wald – Von der Schadensbewältigung zur Vorsorge

Tobias Schulz<sup>1</sup>, Dominik Braunschweiger<sup>1</sup>, Tamaki Ohmura<sup>2</sup>, Janine Schweier<sup>1</sup> und Roland Olschewski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz, tobias.schulz@wsl.ch, dominik.braunschweiger@wsl.ch, janine.schweier@wsl.ch, roland.olschewski@wsl.ch

<sup>2</sup> Universität Zürich, Zürich, Schweiz, tamaki.ohmura@uzh.ch

**Ein europäischer Ländervergleich zeigt, dass statt der traditionellen Schadensbewältigung neue, proaktive Ansätze für einen resilienten und resistenten Wald nötig sind. Die Förderprogramme zur Bewältigung von Extremereignissen in den beiden Schweizer Kantonen Bern und Aargau entwickeln sich ebenfalls in diese Richtung. Die Akzeptanz verschiedener Ansätze der Klimawandelanpassung im Wald wurde mit einer Befragung untersucht. Viele Waldbesitzer und -bewirtschaftler gehen reaktiv vor und setzen auf einheimische Baumarten. Ein stärker proaktives Vorgehen auf gefährdeten Waldflächen, auch unter Berücksichtigung von Gastbaumarten, ist dennoch für einen erheblichen Teil der Befragten denkbar. Dabei spielt die Höhe der finanziellen Förderung für die meisten die entscheidende Rolle.**

## 1 Schadensbewältigung in ausgewählten europäischen Ländern

Stürme sind im Hinblick auf die Häufigkeit ihres Auftretens, ihre räumliche Ausdehnung und die verursachten Schäden äusserst zerstörerische Naturkatastrophen (Rauch 2005; Taszarek *et al.* 2015; Bernardes und Madden 2016; Einzmann *et al.* 2017). Sie beeinträchtigen die Wirkung des Schutzwaldes sowie die Holzqualität und -quantität (Ruel *et al.* 2010), was wiederum Auswirkungen auf die Holzmärkte und die Forstwirtschaft hat (Prestemon und Holmes 2010; Brecka *et al.* 2018). Beispielsweise hat der Sturm Vaia, der 2018 den Nordosten Italiens heimgesucht hatte, eine Schadholzmenge verursacht, welche siebenmal grösser als die von den italienischen Sägewerken jährlich verarbeitete Gesamtmenge war. Infolgedessen fielen die Holzpreise von 80–90 € auf 10–20 € pro m<sup>3</sup> (Abruscato *et al.* 2019) und lagen damit weit unter den Kosten für die Waldbewirtschaftung, was zu erheblichen finanziellen Defiziten für die Waldbesitzer führte. Die Verluste waren teilweise so gross, dass ein nennenswerter Teil der Wälder in Hochlandweiden umgewandelt wurde (Schweier *et al.* in Review). Neben den wirtschaftlichen Verlusten bringen Stürme aber auch strategische und technische Herausforderungen mit

sich (Sanginés de Cárcer *et al.* 2021). Dies zum Beispiel in Bezug auf die Organisation und Durchführung des Holzeinschlags einschliesslich der Vermarktung des Holzes, die Gewährleistung der Arbeitssicherheit und der Gesundheit der Arbeiter, die zeitgerechte und kosteneffiziente Verfügbarkeit von Arbeitskräften und Ausrüstung sowie die rechtzeitige Durchführung des Holzeinschlags zur Vermeidung einer Massenvermehrung von Borkenkäfern (*Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*) (Grodzki und Fronek 2018; Hycza *et al.* 2019; Thorn *et al.* 2020).

In Europa werden deshalb verschiedene Waldbewirtschaftungsmethoden und -strategien angewandt, zum Beispiel die Konzepte Sustainable Forest Management, Climate-Smart Forestry oder Close- und Closer-to-Nature, alle mit dem Ziel, die Widerstandsfähigkeit der Wälder zu erhöhen und die negativen ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels zu verringern (Seidl und Lexer 2013; Brang *et al.* 2014; Krumm *et al.* 2020; Mason *et al.* 2022).

Doch trotz wichtiger Fortschritte, zum Beispiel bei der Umstellung auf Mischbaumarten und Dauerwaldbewirtschaftung (Forest Europe 2020), kommt die Umsetzung proaktiver, Resilienz fördernder Massnahmen nur stockend voran. Die EU stellt zwar Subventionen bereit, doch fehlende

Kenntnisse bzgl. der Beantragung der Fördergelder, begrenzte Beratung bei der Umsetzung der Massnahmen sowie unzureichende Attraktivität der finanziellen Förderung schmälern ihre Wirksamkeit (EK 2021). Nationale Bewirtschaftungsprogramme beinhalten zudem kaum Massnahmen zur Förderung der Widerstandsfähigkeit der Wälder (Blatter *et al.* 2022). Umso wichtiger ist die Koordination zwischen Staat und Waldbesitzenden, die direkt von Störungsereignissen betroffen sind.

Schweier *et al.* (in Review) haben die Auswirkungen sieben grosser Stürme in Europa untersucht, um die Erfahrungen und Entscheidungen der Waldbesitzenden sowie die Rolle verschiedener Verwaltungsmechanismen zu analysieren. Die Resultate zeigen, dass die Forstpolitik und die Forstverwaltung mehr Massnahmen ergreifen sollten, um den Fortbestand der biologischen Vielfalt und der Ökosystemleistungen des Waldes auch in Zukunft zu gewährleisten. Zur Erreichung dieser Ziele empfiehlt die Studie, (i) politische Massnahmen stärker proaktiv und zielgerichtet, statt reaktiv und ad hoc zu gestalten; (ii) ein gemeinsames Verständnis der aktuellen Herausforderungen und Bedürfnisse der Waldbesitzer und -bewirtschaftler zu entwickeln; (iii) ein umfassendes, langfristiges Risikomanagement zu entwickeln und umzusetzen; sowie (iv) die Umstellung auf vielfältigere und widerstandsfähigere Wälder finanziell zu unterstützen.

Dieser Beitrag untersucht, inwiefern sich diese Erkenntnisse zum Waldmanagement und der Anpassung des Waldes an die Folgen des Klimawandels in Europa auf den Schweizer Kontext übertragen lassen. Anhand einer Fallstudie der beiden Kantone Bern und Aargau erläutern wir zunächst die staatlichen Reaktionen auf die wichtigsten Störungsereignisse der letzten 30 Jahre und untersuchen, inwiefern die Empfeh-

lungen in der Schweiz schon umgesetzt werden. In einem zweiten Schritt präsentieren wir die Resultate einer Befragung unter Waldbesitzern und -bewirtschaftern in diesen beiden Kantonen zur Akzeptanz verschiedener Waldbewirtschaftungsmethoden. Abschliessend diskutieren wir, welche Schlüsse sich aus unserer Untersuchung ziehen lassen, um Forstpolitik und -praxis in der Schweiz zukunftsgerichtet zu gestalten.

## 2 Staatliche Förderung von Schadensbewältigung und Wiederbewaldung am Beispiel der Kantone Aargau und Bern

In den letzten 30 bis 40 Jahren prägten vor allem zwei grosse Sturmereignisse die Schweizer Waldwirtschaft und -politik: die Orkane Vivian (26. bis 28. Februar 1990) und Lothar (26.12.1999).

Im Folgenden verdeutlichen wir am Beispiel der Kantone Aargau und Bern, wie sich die staatliche Unterstützung seit Vivian entwickelt hat. Dabei ist zu beachten, dass die beiden Nachbarkantone sich insbesondere in der Waldeigentümerstruktur unterscheiden: im Kanton Aargau gehören rund 80 % der Waldfläche einer vergleichsweise geringen Zahl an öffentlichen Eigentümern, hauptsächlich Ortsbürgergemeinden, wohingegen die restlichen 20 % auf viele kleine Privateigen-

tümer verteilt sind. Im Kanton Bern ist die Waldfläche hingegen etwa hälftig zwischen öffentlichen und privaten Eigentümern aufgeteilt. Zudem erstrecken sich grosse Teile des Kantons über das Voralpen- und Alpengebiet, wo der Wald vor allem Schutz vor Naturgefahren bieten muss, während der Kanton Aargau mehrheitlich im Schweizer Mittelland und teils im Jura liegt.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Schäden grosser Sturmereignisse und der unmittelbar darauffolgenden Förderprogramme in beiden Kantonen. Die Tabelle beschränkt sich auf Beiträge für Forstschutz und Wiederbewaldung, da diese beiden Kategorien jeweils mit Abstand die grössten Summen beinhalten. Die Darstellung der zeitlichen Abfolge in Abbildung 1 verdeutlicht, dass es in der Vergangenheit vor allem die grossen Sturmereignisse waren, die unmittelbare Förderprogramme auslösten. Die jüngeren Förderprogramme sind zusätzlich durch weniger offensichtliche und schleichende Ereignisse, insbesondere langanhaltende Trockenperioden, geprägt.

### 2.1 1990–2000 (Vivian)

Anfang der 1990er Jahre war die staatliche Unterstützung nach Extremereignissen auf den «Bundesbeschluss über ausserordentliche Massnahmen

zur Walderhaltung» von 1988 abgestützt, der einerseits Beiträge für Forstschutzmassnahmen zur Eindämmung von Borkenkäferbefall (also z. B. für das Aufrüsten von Schadholz mittels Entrindung oder für die Schlagräumung) ermöglichte und andererseits auch Beiträge für die Jungwaldpflege vorsah. Im Kanton Bern konnten aufgrund der raschen Aufarbeitung des Schadholzes (innerhalb von 2 Jahren) – insbesondere auf Streuschadensflächen – Folgeschäden durch Borkenkäfer in erheblichem Umfang vermieden werden (Meier 2002). Obwohl Wiederbewaldungsprojekte auch auf Naturverjüngung setzten, war das Bestreben, Blößen möglichst schnell wieder zu bestocken, weiterhin verbreitet und entsprach einem Grundsatz des damals noch geltenden Forstpolizeigesetzes von 1902.

### 2.2 2000–2018 (Lothar und Zofinger Gewittersturm)

Die Strategie des Kantons Bern, die nicht beschädigten Waldbestände möglichst vor Folgeschäden zu bewahren (Meier 2002), führte nach dem Sturm «Lothar» und dem nachfolgenden heissen und trockenen Sommer im Jahre 2003 zu einer Konzentration der Fördermittel auf den Forstschutz bzw. das Aufrüsten von Schadholz (Meier-Glaser *et al.* 2015).

Tab. 1. Chronologie der unmittelbaren Förderprogramme und der ungefähren Ausgaben für Forstschutz und Wiederbewaldung (wo nicht anders vermerkt von Kanton und Bund und ohne Beiträge der Gemeinden) nach grossen Störeneignissen (Stürmen).

| Ereignis               | Kt. | Schadholz (m <sup>3</sup> ) | Ausgaben Forstschutz (CHF) | Ausgaben Wiederbewaldung (CHF) | Quelle  |
|------------------------|-----|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|---|
| Vivian                 | AG  | 210 000                     | 10 Mio.                    | (7 Mio.) <sup>a</sup>          | Angaben Abteilung Wald, Kanton Aargau, Finanzdepartement Kanton Aargau (1991) |
|                        | BE  | 820 000                     | 61 Mio.                    | 27 Mio.                        | Balsiger (1993 S. 27 und 29)  |
| Lothar                 | AG  | 1,25 Mio.                   | 1,3 Mio. <sup>b</sup>      | 11 Mio. <sup>b</sup>           | Kern <i>et al.</i> (2014)   |
|                        | BE  | 4,30 Mio.                   | 75 Mio. <sup>c</sup>       | 16 Mio. <sup>d</sup>           | Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern (2004), Gut <i>et al.</i> (2010)   |
| Gewittersturm Zofingen | AG  | 75 000                      |                            | 450 000 <sup>e</sup>           | Morier (2011)   |
| Burglind               | AG  | 160 000                     |                            | 850 000 <sup>e</sup>           | Angaben Abteilung Wald, Kanton Aargau   |
|                        | BE  | 450 000                     | 10 Mio.                    |                                | Knauer (2019), Regierungsrat des Kantons Bern (2018)                          |

<sup>a</sup> Beiträge vermutlich hauptsächlich für Pflege bestehender Jungwaldflächen eingesetzt.

<sup>b</sup> Inklusive Beiträge der Gemeinden von insgesamt 6 Mio. für beide Kategorien, aber ohne durchlaufende Bundesbeiträge von 9 Mio. CHF.

<sup>c</sup> Ohne durchlaufende Bundesbeiträge von 98 Mio. CHF.

<sup>d</sup> Budgetiert waren 105 Mio. CHF.

<sup>e</sup> Dabei handelt es sich um Beiträge des Kantons, der aber nur 35 % des Aufwands übernahm. 65 % mussten durch die Einwohnergemeinden bereitgestellt werden.

Forster und Meier (2011) kamen aufgrund des Vergleichs zwischen benachbarten Regionen der Kantone Bern und Luzern zum Schluss, dass sich die eigentlichen Käferbekämpfungsmassnahmen, d. h. die Räumung von Stehendbefall, als besonders effektiv erwiesen hatten. Generell wurde jedoch die Wirksamkeit der Förderung in Frage gestellt. Ein eindeutiger Effekt auf die aufgerüstete Menge und die Sekundärschäden wurde damals bestritten (Hammer *et al.* 2003) und es wurde beklagt, dass Pauschalansätze zur Deckung der Defizite einer Flächenräumung und zur Stützung des Holzpreises Fehlanreize verursachten, also dazu verleiteten, ein möglichst hohes Defizit auszuweisen (Raetz 2004). Schliesslich wurde im Kanton Bern im Rahmen der strategischen Aufgabenüberprüfung ab 2004 ein sogenanntes «Käferbekämpfungsgebiet» ausgeschieden, das grösstenteils dem durch die Fichte dominierten Schutzwaldgebiet entsprach.

Im Kanton Aargau hingegen beschränkte sich die finanzielle Unterstützung zur Bewältigung des Schadholzes auf die Unterstützung von Selbsthilfemassnahmen (Lagerung, Transport, Koordination Holzmarkt). Das rasche und umfassende Aufrüsten von Sturmholz wurde hingegen nicht mehr unterstützt (Kasper 2002). 2014 wurde dieser Grundsatz in dem von der kantonalen Verwaltung, den Aargauer Waldeigentümern und dem Aargauer Försterverband gemeinsam herausgegebenen «Aargauer Waldschadenhandbuch» (Kern *et al.* 2014) bekräftigt und auch der Vorrang der Wiederbewaldung festgehalten. Dabei ist allerdings zu beachten, dass im Kanton Aargau kaum Schutzwald betroffen war und für einen Grossteil des Waldes im öffentlichen Besitz auf Gemeindeebene Möglichkeiten bestanden, über die direkten Beiträge hinaus finanzielle Unterstützung zu bieten.

In beiden Kantonen waren die Wiederbewaldungsmassnahmen nach Lothar stärker der Naturverjüngung verpflichtet als noch nach Vivian. Im Kanton Bern konnte aufgrund ausreichender Vorverjüngung auf ca. 80 % der Projektfläche eine Wiederbewaldung ausschliesslich durch Naturverjüngung sichergestellt werden (Gut *et al.* 2010). Im Kanton Aargau wurde vorwiegend Naturverjüngung auf 80 %

der Schadflächen angestrebt, wobei allerdings gezielte Pflanzungen von Laubbäumen oder seltenen Baumarten ebenfalls in Betracht gezogen wurden (Kasper 2002). Dies war insbesondere aufgrund der flächendeckenden Standortkartierung möglich (Stocker *et al.* 2002). Die Wiederbewaldung machte finanziell nun sogar den grösseren Teil der Bewältigungsstrategie aus (vgl. Tab. 1).

### 2.3 Seit 2018 (Burglind)

Die unmittelbaren Schäden von Burglind (3. Januar 2018) waren zwar kleiner als noch bei Vivian, jedoch waren die folgenden drei Jahre von ausserordentlicher Trockenheit geprägt, sodass eine Vermehrung von Borkenkäfern auftrat. Diese länger anhaltende, ausserordentliche Situation führte auch zu politischen Vorstössen im nationalen Parlament. Insbesondere die Motion 20.3745 (Fässler) erreichte eine Aufstockung der Bundesmittel um insgesamt 100 Millionen CHF für die Periode 2021–2024, davon 20 Millionen zur Förderung der Stabilitätswaldpflege, der Sicherheitsholzschläge und einer klimaangepassten Waldverjüngung (Schweizerischer Bundesrat 2022), was auch neue Fördermöglichkeiten in den Kantonen eröffnete.

Im Kanton Bern wurde darauf geachtet, die unmittelbaren Massnahmen für den Forstschutz möglichst schnell umzusetzen. Bereits im Folgejahr wurde aufgrund der ausserordentlich schwierigen Holzmarktsituation ein Pilotprojekt gestartet, welches in das mit ca. 1 Million CHF ausgestattete «Forstschutzprogramm ausserhalb Käferbekämpfungsgebieten» mündete. Damit wurde eine wirkungsorientierte finanzielle Unterstützung für Forstschutzmassnahmen (Flächenpauschale) an regionale Waldeigentümerorganisationen bis 2021 auch im Mittelland zugänglich gemacht. Schon 2020 startete das dreijährige Projekt «Klimaveränderung Wald (KLIWA)», mit dem die Standortkartierung, eine Strategie zur Waldentwicklung im Klimawandel und Massnahmen für ein Risikomanagement im Wald entwickelt werden (Claas 2021). Aus diesem Prozess entstand das neue, auf 10 Jahre angelegte Förderprogramm «Klimaangepasste

Waldbewirtschaftung» (Claas and Herzog 2023), welches nicht auf Schadflächen beschränkt ist, sondern mit einem Budget von ca. 6,7 Mio. CHF auch proaktive Massnahmen (Förderung ausgewählter Gastbaumarten und von Massnahmen ausserhalb Schadflächen) auf jeweils maximal 500 ha fördert.

Im Kanton Aargau wurde zunächst als unmittelbare Reaktion auf Burglind Unterstützung für Wiederbewaldungsmassnahmen, vornehmlich durch Naturverjüngung, bereitgestellt. Aufgrund des drohenden starken Borkenkäferbefalls als Folge der Trockenheit wurde jedoch zusätzlich eine neue Beitragskategorie «Sofortmassnahmen Borkenkäferbekämpfung» ergriffen (Auskunft Abteilung Wald, Kanton Aargau, November 2022). Das «Massnahmenpaket Bewältigung Waldschäden durch Borkenkäfer, Trockenheit, Eschenwelke und Sturmereignisse 2021–2024», sieht 7,7 Millionen CHF Unterstützung für Wiederbewaldungsmassnahmen vor (Regierungsrat des Kantons Aargau 2020) und ermöglicht erstmals auch die Förderung ausgewählter Gastbaumarten. Eingebettet sind diese Massnahmen in die 2019 publizierte Strategie «Waldbewirtschaftung im Klimawandel» (Abteilung Wald 2019), die den Schwerpunkt auf die vorsorgliche Bewirtschaftung des Waldes zur Anpassung an den Klimawandel legt. Ausserdem wurde 2022 die offizielle Position des kantonalen Forstdienstes zur «Umsetzung des naturnahen Waldbaus im Kanton Aargau» überarbeitet (Abteilung Wald 2022), welche die Förderung von Resistenz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit des Waldes in den Vordergrund stellt.

### 2.4 Von der Schadensbewältigung zur Vorsorgeförderung

Die Zusammenstellung der Entwicklung seit den 1990er Jahren verdeutlicht, dass beide Kantone aufgrund der Grösse der Ereignisse die Prioritäten in der staatlichen Förderung anpassten. So rückte der Kanton Aargau spätestens seit Lothar von der finanziellen Unterstützung für Schadholzaufbereitung ab und auch im Kanton Bern erfolgte eine Konzentration der Förderung von Käferbekämpfungsmassnahmen auf Berggebiete. Mit der

Zeit wurden die Wiederbewaldungsprojekte längerfristig ausgelegt und der Naturverjüngung mehr Raum gegeben, wobei der Kanton Aargau schon nach Lothar damit begann, über die gezielte Förderung der Pflanzung von Laubbaumarten und seltenen Arten die Baumartenzusammensetzung in eine neue Richtung zu lenken. Hierzu machte sich auch die frühe Investition in eine Standortkartierung bezahlt. Spätestens nach Burglind hat dieser proaktive Ansatz hin zu einer Umstellung der Bestände definitiv Fuss gefasst (vgl. auch Abb. 1 und 2). Im Zuge der Erarbeitung von Klimaanpassungs-

strategien durch die kantonale Politik werden Konzepte zur Waldbewirtschaftung im Klimawandel, für den naturnahen Waldbau und ein explizites langfristiges Risikomanagement erarbeitet. Darin sind Förderprogramme für stärker vorsorgliche waldbauliche Massnahmen zur Klimawandelanpassung im Wald eingebettet, die weniger von den eigentlichen Störungsereignissen abhängig sind und auch für die von ihnen nicht direkt betroffenen Waldflächen zur Verfügung stehen.

### 3 Befragung von Waldbesitzern und -bewirtschaftern zu Klimaanpassungsmassnahmen in den Kantonen Aargau und Bern

Die Entwicklungen in den Kantonen Aargau und Bern zeigen, dass die Förderprogramme in diesen Kantonen inzwischen darauf abzielen, die Waldbesitzer und -bewirtschafter zu einer vorsorglichen Waldbewirtschaftung zu motivieren. Es stellt sich demnach die Frage nach der Akzeptanz des proaktiven Handelns und insbesondere der damit verbundenen Bereitschaft, die

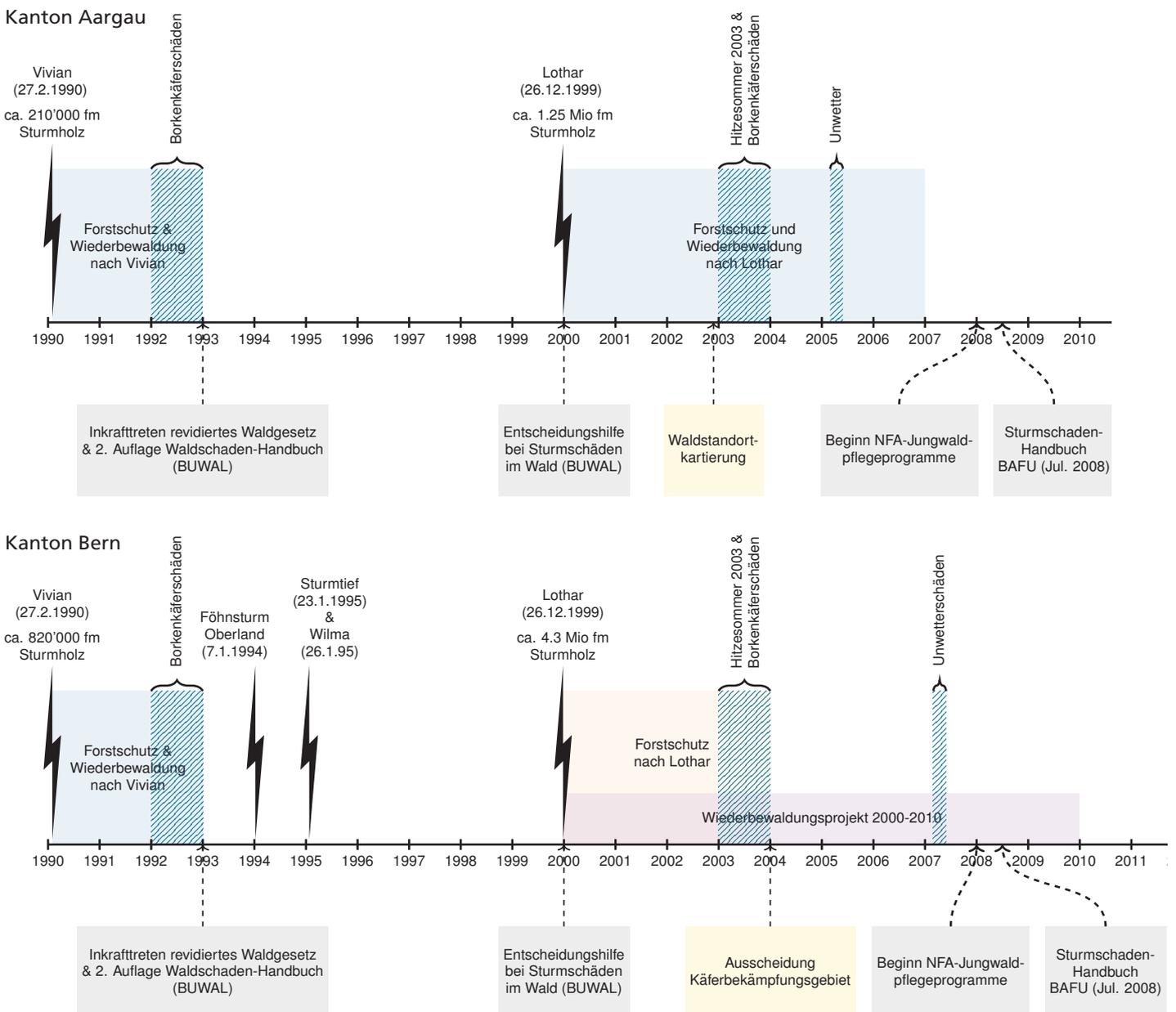


Abb. 1. Extremereignisse und entsprechende Förderprogramme für Forstschutz (orange), Wiederbewaldung (lila) und kombiniert (blau) sowie relevante Gesetzesrevisionen, Vollzugshilfen und Strategiepaper auf Ebene Bund (grau) und jeweiliger Kanton (gelb).

Resilienz gefährdeter Bestände mittels Förderbeiträgen zu verbessern, bevor ein Schadensereignis auftritt.

### 3.5 Methode

Um die Präferenzen der Waldbesitzenden und -bewirtschaftenden zu untersuchen, wurde ein Auswahl- bzw. «Choice»-Experiment (Holmes *et al.* 2017) in den Kantonen Bern und Aargau durchgeführt. Dabei wurden den Befragten nacheinander zwölf Entscheidungssituationen mit je zwei Bewirtschaftungsalternativen vorgelegt. Diese

Bewirtschaftungsalternativen wurden durch vier Merkmale mit jeweils zwei bis fünf Ausprägungen definiert:

- 1 Der Zeitpunkt der waldbaulichen Massnahme: vor oder nach einem hypothetischen Störungsereignis.
- 2 Die waldbauliche Massnahme: Vorverjüngung mit Ergänzungspflanzung, Pflanzung nach Ernteeingriff, Naturverjüngung mit Ergänzungspflanzung nach einem Störungsereignis oder Pflanzung nach einem Störungsereignis.
- 3 Die Herkunft der Baumart(en): heimische Baumarten oder Gastbaumarten.

- 4 Die Höhe der staatlichen Förderbeiträge pro Hektare für eine Periode von 15 Jahren: 3000, 6000, 9000, 12 000 oder 15 000 Franken.

Die Befragung wurde 2023 unter Waldbesitzern und -bewirtschaftern in den Kantonen Bern und Aargau durchgeführt. Da für die Bewirtschaftung des Schutzwaldes gesonderte Regeln gelten, wurde er von der Untersuchung ausgeschlossen und die Einladung richtete sich nur an jene, die nicht ausschliesslich Schutzwald besitzen. Insgesamt wurden im Kanton Bern 3032 Personen kontaktiert, davon 72 Revierförster. Im Kanton Aargau wurden 60 Revierförster kontaktiert. Zudem wurde die Einladung zur Teilnahme an der Befragung an die 267 Mitglieder von WaldAargau, insgesamt also an 327 Personen verteilt. Zwischen Juli und August 2023 haben wir 524 vollständig ausgefüllte Fragebögen aus dem Kanton Bern (davon 135 Revierförster und Forstbetriebsleiter) und 102 vollständig ausgefüllte Fragebögen aus dem Kanton Aargau (davon 58 Revierförster und Forstbetriebsleiter) erhalten.

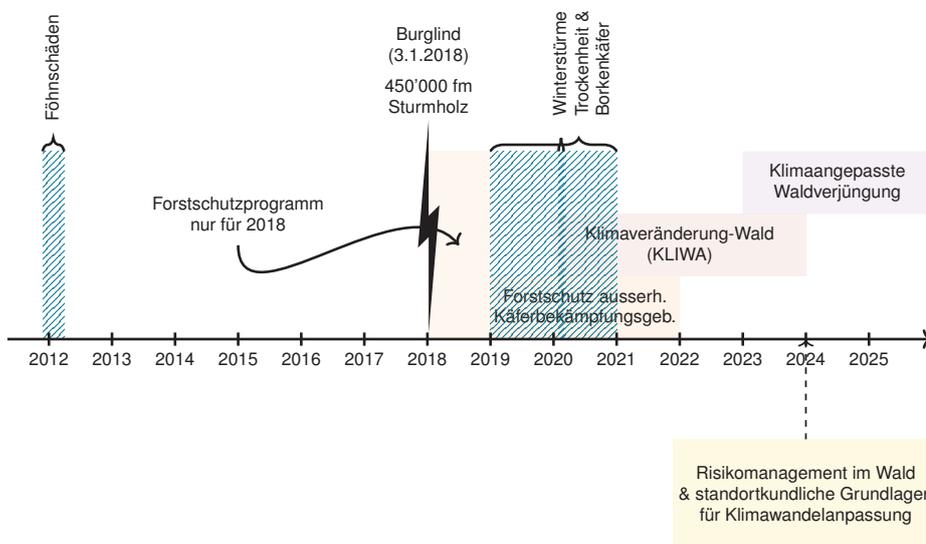
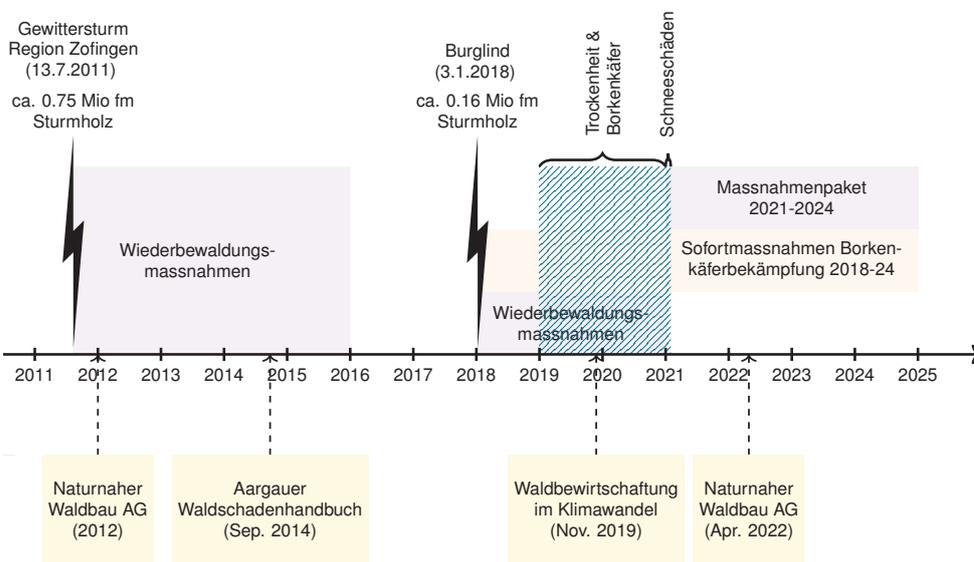
In einem ersten Schritt haben wir pro Kanton jeweils eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt, um zu bestimmen, wie wichtig die einzelnen Merkmale für die Befragten sind und in welche Richtung sie ihre Entscheidungen beeinflussen. Da diese Analyse die Heterogenität der Befragten nicht ausreichend abbildet, haben wir sie in einem zweiten Schritt durch eine sogenannte latente Klassenanalyse ergänzt. Diese ordnet die Befragten verschiedenen Klassen zu, sodass Mitglieder derselben Klasse jeweils ähnliche Präferenzen aufweisen.

### 3.6 Resultate

#### Logistische Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse zeigt eindeutig, dass alle Merkmale eine wichtige Rolle spielen, wobei sich die Effekte jedoch teilweise zwischen den Kantonen unterscheiden.

In beiden Kantonen erkennen wir eine klare Präferenz der befragten Personen für einheimische Baumarten und für höhere staatliche Förderbeiträge – wobei die Baumart im Vergleich zu den anderen Merkmalen im Kanton Bern



eine deutlich wichtigere Rolle spielt als im Aargau.

Weitere Unterschiede zwischen den beiden Kantonen zeigen sich hinsichtlich des Zeitpunkts eines waldbaulichen Eingriffs sowie der konkret gewählten Massnahme. Während der Zeitpunkt im Kanton Bern für die Befragten eher irrelevant ist, erkennen wir im Kanton Aargau eine deutliche Präferenz der Befragten dafür, erst nach einem allfälligen Störungsereignis zu handeln.

Hinsichtlich der waldbaulichen Massnahmen selbst identifizieren wir im Kanton Bern lediglich eine leichte Präferenz der Befragten für Naturverjüngung mit Ergänzungspflanzung gegenüber der direkten Aufforstung nach einem Störungsereignis, während wir zwischen den beiden proaktiven Massnahmenvarianten keine verlässlichen Präferenzunterschiede feststellen. Auch im Kanton Aargau ist die Naturverjüngung beliebter als die Wiederaufforstung. Zudem erkennen wir im Aargau auch eine Präferenz für Vorverjüngung mit Ergänzungspflanzung gegenüber der Pflanzung nach Ernteingriff.

Abbildung 2 zeigt, zu welchem Anteil die Entscheidung der Befragten in den beiden Kantonen durch die verschiedenen Merkmale erklärt werden kann. Im Kanton Bern spielen die Höhe der Förderbeiträge und die Baumart eine wichtige Rolle. Hingegen werden im Kanton Aargau Zeitpunkt und Art einer waldbaulichen Massnahme im Vergleich zu den dabei verwendeten Baumarten als wichtiger eingeschätzt.

**Latente Klassenanalyse**

Unsere latente Klassenanalyse teilt die Befragten in den Kantonen Bern und Aargau in jeweils drei Klassen auf. Nachfolgend werden diese sechs resultierenden Klassen und ihre wichtigsten Charakteristika kurz beschrieben. Einige dieser Klassen sind sich sehr ähnlich und unterscheiden sich lediglich hinsichtlich der Rolle eines einzelnen Merkmals. Drei der Klassen zeichnen sich hauptsächlich dadurch aus, dass ihnen die Höhe der Förderbeiträge wichtig ist:

- 1. **«Wirtschaftlich Orientierte»:** Diese drei Klassen zeichnen sich hauptsächlich dadurch aus, dass ihnen die Höhe der Förderbeiträge wichtig ist:
  - a. **«Wirtschaftlich Orientierte» (Aargau):** Die Mitglieder dieser Klasse haben eine klare Präferenz für die Massnahmen Vorverjüngung und Naturverjüngung. Im Gegensatz zu den folgenden beiden Klassen von wirtschaftlich Orientierten, ist für diese Klasse nicht entscheidend, ob vor oder erst nach einem hypothetischen Störungsereignis gehandelt wird oder welche Baumarten gepflanzt werden.
  - b. **«Proaktive wirtschaftliche Orientierte» (Bern):** Sie zeichnen sich durch ihre Präferenz für Gastbaumarten und durch ihre deutliche Präferenz für proaktive Massnahmen aus.
  - c. **«Reaktive wirtschaftlich Orientierte» (Bern):** Mitglieder dieser Klasse handeln tendenziell erst nach einem Störungsereignis. Zudem bevorzugen sie heimische Baumarten sowie Naturverjüngung oder Vorverjüngung gegenüber Pflanzungen.

Weiter identifizieren wir zwei sehr ähnliche Klassen, die sich jedoch hinsichtlich der Rolle der Fördergelder leicht unterscheiden:

- 2. **«Konservative»:** Mitglieder dieser Klasse handeln tendenziell erst nach einem Ereignis und haben eine starke Präferenz für heimische Baumarten.
  - a. **«Konservative» (Bern):** Im Vergleich zu allen anderen Klassen spielt die Höhe der Förderbeiträge für diese Klasse eine deutlich weniger wichtige Rolle.
  - b. **«Wirtschaftlich orientierte Konservative» (Aargau):** Im Vergleich zu den «Konservativen» lässt sich diese Klasse von höheren Beiträgen beeinflussen, allerdings weniger stark als die anderen wirtschaftlich orientierten Klassen.

Eine letzte Klasse unterscheidet sich merklich von den fünf anderen Klassen:

- 3. **«Frühe Anpasser» (Aargau):** Die Mitglieder dieser Klasse haben eine starke Präferenz für Gastbaumarten sowie für proaktive Massnahmen und Naturverjüngung. Der Effekt der Förderbeiträge auf die Entscheidungen dieser Klasse ist nicht eindeutig.

Mit beiden Analysenmethoden zeigt sich, dass gruppenübergreifend nach einem Störungsereignis die Naturverjüngung mit Ergänzungspflanzung gegenüber der Pflanzung zur Wiederaufforstung signifikant bevorzugt wird. Offenbar hat sich diese Option unabhängig von allen anderen Präferenzen breit durchgesetzt.

Die Tabellen 2 und 3 zeigen die relative Wichtigkeit der verschiedenen Attribute in den jeweiligen drei Klassen der beiden Kantone, wobei negative Zusammenhänge in Rot und positive Zusammenhänge in Grün repräsentiert werden. Je kräftiger die Farbe, desto wichtiger das Merkmal. Weisse Felder indizieren, dass wir keinen signifikanten Effekt gefunden haben.

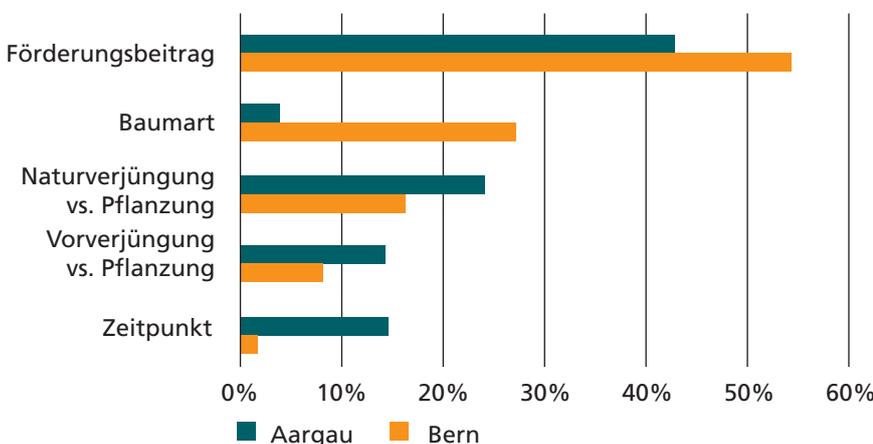


Abb. 2. Relative Wichtigkeit der Merkmale für die Wahl einer Alternative (Prozentwerte der Balken gleicher Farbe addieren sich auf 100%)

Tab. 2. Relative Wichtigkeit der Attribute nach Klassen im Kanton Bern

|                                 | Proaktive wirtschaftlich Orientierte | Reaktive wirtschaftlich Orientierte | Konservative |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| Klassengrösse                   | 33,5 %                               | 33,8 %                              | 32,6 %       |
| Zeitpunkt (vor Ereignis)        | ++++                                 | -                                   | --           |
| Vorverjüngung (vs. Pflanzung)   |                                      | ++                                  |              |
| Naturverjüngung (vs. Pflanzung) |                                      | ++                                  | ++           |
| Baumart (heimisch)              | -                                    | ++                                  | ++++         |
| Förderbeiträge (hoch)           | ++++                                 | ++++                                | ++           |

Tab. 3. Relative Wichtigkeit der Attribute nach Klassen im Kanton Aargau

|                                 | Frühe Anpasser | Wirtschaftlich orientierte Konservative | Wirtschaftlich Orientierte |
|---------------------------------|----------------|---|----------------------------|
| Klassengrösse                   | 31,0 %         | 30,2 %                                  | 38,7 %                     |
| Zeitpunkt (vor Ereignis)        | ++             | ---                                     |                            |
| Vorverjüngung (vs. Pflanzung)   |                |   | +++                        |
| Naturverjüngung (vs. Pflanzung) | +++            | +                                       | +++                        |
| Baumart (heimisch)              | --             | ++                                      |                            |
| Förderbeiträge (hoch)           |                | +++                                     | ++++                       |

### 4 Schlussfolgerungen

Der Klimawandel verschärft die Intensität und Häufigkeit von Störungsereignissen im Wald. Die Waldbewirtschaftung in Europa muss sich anpassen, um den Wald widerstandsfähiger zu machen und Schäden in Folge des Klimawandels zu verringern. Statt Massnahmen erst nach Störungsereignissen zu ergreifen, sollte auf gefährdeten Flächen mit proaktiven Waldbaumassnahmen bereits vor zu erwartenden Störungen eine Vorverjüngung ermöglicht und dabei gegebenenfalls auch aktiv klimafitte einheimische Baumarten oder gar Gastbaumarten beigemischt werden. Dies setzt einen engen Austausch der Forstpolitik und -verwaltung mit Waldbesitzern und -bewirtschaftern voraus, damit geeignete Anreize für ein solches proaktives Handeln geschaffen werden können.

Tatsächlich beobachten wir in den Kantonen Bern und Aargau im Verlauf der letzten 35 Jahre eine entsprechende Entwicklung in der Gestaltung von Fördermassnahmen und -instrumenten. Ehemals fokussiert auf die reaktive Schadensbewältigung sowie Forstschutz- und Wiederaufforstungsmassnahmen nach Störungsereignissen, fördern jüngere staatliche Unterstützungsprogramme nach Störungsereignissen eher Massnahmen zur Natur-

verjüngung, welche auf einen längeren Zeithorizont ausgelegt sind. Im Zuge der Erarbeitung kantonaler Klimaanpassungskonzepte werden aktuell erstmals auch unabhängig von konkreten Störungsereignissen vorsorgliche Massnahmen und eine vorsichtige Förderung von Gastbaumarten unterstützt.

Unsere Befragung zeigt allerdings, dass proaktive Massnahmen zur Resilienzförderung auf gefährdeten Flächen unter Waldbesitzern und -bewirtschaftern umstritten sind. In beiden Kantonen bevorzugt nur rund ein Drittel der Befragten solche proaktiven Massnahmen, während die restlichen zwei Drittel entweder reaktive Massnahmen bevorzugen oder unentschlossen sind. Da die Höhe der Förderbeiträge für die meisten Klassen offenbar der wichtigste Entscheidungsfaktor ist, verfügen Bund und Kantone über einen wirksamen Hebel, um unentschlossene Entscheidungsträger zum proaktiven Handeln zu motivieren. Lediglich für zwei Klassen sind andere Faktoren wichtiger als die Höhe der finanziellen Beiträge. Die «frühen Anpasser» im Aargau bevorzugen auch unabhängig von staatlichen Fördermitteln die proaktiven Bewirtschaftungsmethoden. Die Klasse der «Konservativen» hingegen zeichnet sich vor allem durch ihre starke Präferenz für reaktives Handeln

und heimische Baumarten aus. Es ist damit zu rechnen, dass sie unabhängig von konkreten Fördermechanismen weiterhin kaum proaktive waldbauliche Massnahmen ergreifen werden. Umso wichtiger ist es, sicherzustellen, dass staatliche Beiträge auch nach allfälligen Störungsereignissen zukunftsgerichtete Massnahmen fördern.

Die Naturverjüngung nach einem Störungsereignis ist gegenüber der Wiederaufforstung unter den Waldbesitzern und -bewirtschaftern deutlich beliebter. Weniger eindeutig ist, ob bei proaktivem Handeln die Vorverjüngung gegenüber der Pflanzung bevorzugt wird. Dies gilt lediglich für ein Drittel der Befragten, wohingegen die meisten keine klare Präferenz äussern. Falls proaktive Massnahmen vor allem in Kombination mit Vorverjüngung gefördert werden sollen, ist es folglich notwendig, die finanzielle Unterstützung an eine Vorverjüngung zu binden oder die Verantwortlichen verstärkt über die Vorteile der Vorverjüngung zu informieren.

Auch bezüglich der Herkunft der Baumarten scheiden sich die Geister. Ein gutes Drittel der Befragten in beiden Kantonen bevorzugt Gastbaumarten. Im Kanton Bern präferieren die restlichen zwei Drittel klar einheimische Baumarten, während im Aargau wiederum ein gutes Drittel keine klare Präferenz aufweist. Insbesondere im Kanton Bern spielt die Baumart auch im Vergleich zu den anderen Merkmalen eine wichtige Rolle: für die Klasse der «Konservativen» stellt sie sogar die wichtigste Entscheidungsgrundlage dar. In Wissenschaft und Praxis besteht keine abschliessende Einigkeit darüber, ob die Förderung von Gastbaumarten zur Anpassung der Schweizer Wälder an den Klimawandel dringend notwendig ist oder ob die gleiche Wirkung auch mit einer Förderung von nur einheimischen Baumarten erreicht werden kann (Brang *et al.* 2022; Schütz *et al.* 2022). Klar ist jedoch, dass Gastbaumarten einen Beitrag zur Holzversorgung leisten können und somit wirtschaftlich interessant sind. Ein grosser Anteil der Befragten bevorzugt dennoch eindeutig einheimische Baumarten. Insofern ist es ratsam, anpassungsfähige Arten generell zu unterstützen, die Liste geförderter Gastbaumarten vorsichtig zu erweitern, entsprechende

Informations- und Weiterbildungsangebote auszubauen und die Praktiker bei der Baumartenwahl frei entscheiden zu lassen.

Bezüglich der Klimawandelanpassung im Schweizer Wald kann es wohl inzwischen als walddpolitischer Konsens angesehen werden, dass nach Störungen grundsätzlich auf eine Naturverjüngung der Schadflächen zu setzen ist. Dies wird auch durch unsere Befragung bestätigt. Die Einsicht in die Notwendigkeit stärker proaktiven Handelns im Sinne vorsorglicher Eingriffe auf gefährdeten Flächen ist aber offenbar weniger verbreitet. Dabei wird eine Strategie der Vorverjüngung nicht eindeutig gegenüber Pflanzungen bevorzugt. Die neuen kantonalen Förderprogramme, die im Zuge der Aufstockung der Bundesmittel für eine Anpassung des Waldes an den Klimawandel ermöglicht wurden, weisen demnach in die richtige Richtung. Unsere Ergebnisse bestätigen, dass eine ausreichende finanzielle Förderung die vorsorgende Überführung von Beständen in einen klimafitteren Zustand durchaus begünstigt.

### Dank

Wir danken der Wald- und Holzforschungsförderung (WHFF-CH) für die finanzielle Unterstützung (Beitragssnummer 2021.13).

## 5 Literatur

- Abruscato S., Chirici G., Matteucci G., Pettenella D. (2019) Coping with the aftermath of storm Vaia in North-East Italy. IOP Publishing EFL. *resilience-blog.com/2019/02/15/coping-with-the-aftermath-of-storm-vaia-in-north-east-italy/*. Accessed 09 August 2023.
- Abteilung Wald (2022) Umsetzung des naturnahen Waldbaus im Kanton Aargau. Haltung des kantonalen Forstdienstes. Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Aargau.
- Abteilung Wald (2019) Waldbewirtschaftung im Klimawandel – Aktuelle Haltung der Abteilung Wald. Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Aarau.
- Balsiger H. (1993) Vivianendenken (Schlussbericht Vivian). Forstinspektion Oberland, Spiez.
- Blatter C., Eyvindson K., Hartikainen M., Burgas D., Potterf M., Lukkarinen J., ... (2022) Sectoral policies cause incoherence in forest management and ecosystem service provisioning. *For. Policy Econ.* 136, 102689. [doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102689](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102689)
- Bernardes S., Madden M. (2016) Vegetation disturbance and recovery following a rare windthrow event in the great smoky mountains national park. *ISPRS Archives* 41: 571–575.
- Brang P., Frehner M., Lévesque M., Zürcher S., Bugmann H. (2022) «Waldbau im Klimawandel: einfach weiter wie bisher?» *Wald Holz* 9: 15–17.
- Brang P., Spathelf P., Larsen J.B., Bauhus J., Boncina A., Chauvin C., ... (2014) Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry* 87: 492–503.
- Brecka A.F.J., Shahi C., Chen H.Y.H. (2018) Climate change impacts on boreal forest timber supply. *For. Policy Econ.* 92: 11–21. [doi.org/10.1016/j.forpol.2018.03.010](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.03.010)
- Claas T. (2021) Zwischenstand zum Projekt Klimaveränderung-Wald KliWa Gemeinsam für den Wald der Zukunft im Kanton Bern! Präsentation für die Försterberichte. Amt für Wald und Naturgefahren, Bern.
- Claas T., Herzig A., (2023) Klimaangepasste Waldverjüngung. Erläuterungen für die Forstfachperson (Förderprogramm Anreizschaffung). Amt für Wald und Naturgefahren, Bern.
- Einzmann K., Immitzer M., Böck B., Bauer O., Schmit A., Atzberger C. (2017) Windthrow detection in European forests with very high-resolution optical data. *Forests* 8, 1: 21. [doi.org/10.3390/f8010021](https://doi.org/10.3390/f8010021)
- EK, Europäische Kommission (2021) The New EU forest strategy for 2030. [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0572](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0572). Accessed 02 March 2022.
- Finanzdepartement des Kantons Aargau (1991) Jahresbericht und Jahresrechnung 1990. Vorlage des Regierungsrates vom März 1991. Aarau.
- Forest Europe (2020) State of Europe's Forests report (2020). [foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF\\_2020.pdf](https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf)
- Forster B., Meier F. (2011) Risikobeurteilung zu unterschiedlichen Borkenkäferbekämpfungsstrategien der Kantone Bern und Luzern. Vergleich von Emmental (Waldabteilung BE 4) und Entlebuch (ehem. Forstkreis LU 5) sowie weiteren Forstkreisen der Produktionsregion Vor-alpen (Schlussbericht). WSL, Waldschutz Schweiz, Birmensdorf.
- Grodzki W., Fronck W.G. (2018) Occurrence of *Ips typographus* (L.) after wind damage in the Kościeliska Valley of the Tatra National Park. *J. For. Res.* 78, 2: 113–119. [doi.org/10.1515/frp-2017-0012](https://doi.org/10.1515/frp-2017-0012)
- Gut T., Meier A.L., Beer W., Thalmann M. (2010) Wiederbewaldungsprojekt «Lothar» (Schlussbericht und Fazit). Amt für Wald des Kantons Bern.
- Hammer S., Schmidt N., Iten R. (2003) LOTHAR Zwischenevaluation der kantonalen Strategien zur Bewältigung von Lothar am Beispiel der Kantone Bern, Waadt, Luzern und Aargau (Umwelt-Materialien No. 154). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Holmes T.P., Adamowicz W.L., Carlsson F. (2017) Choice Experiments. In: Champ P.A., Boyle K.J., Brown T.C. (Eds.) *A Primer on Nonmarket Valuation, The Economics of Non-Market Goods and Resources*. Dordrecht: Springer. 133–186. [doi.org/10.1007/978-94-007-7104-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7104-8_5)
- Hycza T., Ciesielski M., Zasada M., Bałazy R. (2019) Application of Black-Bridge Satellite Imagery for the Spatial Distribution of Salvage Cutting in Stands Damaged by Wind. *CROJFE* 40, 1: 125–138.
- Kasper, H. (2002) Jahrhundertsturm «Lothar» vom 26.12.1999 – eine Zwischenbilanz. *Umwelt Aargau* 17: 25–32.
- Kern T., Häfner R., Meier S., Frey O., Gloor M. (2014) Aargauer Waldschadenhandbuch. Aargauischer Waldwirtschaftsverband, Abteilung Wald des Kantons Aargau, Aargauischer Försterverband, Aarau.
- Knauer G. (2019) Evaluation Massnahmen 2b Burglind – Kunden- und Expertenbefragung (Evaluationsbericht). Bericht im Auftrag des Amtes für Wald des Kantons Bern. Pan Bern, Bern.
- Krumm F., Schuck A., Rigling A. (2020) How to balance forestry and biodiversity conservation? – A view across Europe. [doi.org/10.16904/ENVIDAT.196](https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.196)
- Mason W.L., Diaci J., Carvalho J., Valkonen S. (2022) Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. *Forestry: An International J. For. Res.* 95: 1–12. [doi.org/10.1093/forestry/cpab038](https://doi.org/10.1093/forestry/cpab038)
- Meier A.L. (2002) Die Forstschutz-Strategie im Kanton Bern nach Lothar. *Schweiz. Z. For.* 153, 3: 1087–111.
- Meier-Glaser A.L., Beer W., Marti W. (2015) Erfahrungen mit Windwurf im Kanton Bern. *Schweiz. Z. For.* 166, 3: 177–183. [doi.org/10.3188/szf.2015.0177](https://doi.org/10.3188/szf.2015.0177)

- Morier A. (2011) Waldschäden durch den Gewittersturm vom 13. Juli 2011; Unterstützung von Waldwiederherstellungsmassnahmen. Mitteilung der Abteilung Wald an diverse Gemeinden und Forstbetriebsleiter im Raum Zofingen. Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Aarau.
- Prestemon J.P., Holmes T. (2010) Economic impacts of hurricanes on forest owners. In: Pye JM, Rauscher HM, Sands Y, Lee DC, Beatty JS (tech. eds.) *Advances in threat assessment and their application to forest and rangeland management*. Gen Tech Rep PNW-GTR-802. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest and Southern Research Stations: 207–221.
- Raetz P. (2004) Erkenntnisse aus der Sturmschadenbewältigung. Synthese des Lothar- Grundlagenprogramms, Schriftenreihe Umwelt Nr. 367. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Rauch E. (2005) Wind and storms. In: Pfister C., Schellnhuber H., Rahmstorf S., Graßl H. (Eds.) *Weather catastrophes and climate change. Is there still hope for us?* Pg distribution GmbH, Munich.
- Regierungsrat des Kantons Aargau (2020) Massnahmenpaket 2021–2024 «Bewältigung Waldschäden durch Borkenkäfer, Trockenheit, Eschenwelke und Sturmereignisse 2020»; Verpflichtungskredit (Botschaft an den Grossen Rat 20.281). Aarau.
- Regierungsrat des Kantons Bern (2018) Amt für Wald; Gewährung von Kantonsbeiträgen an Massnahmen zur Bewältigung der Waldschäden durch «Burglind» und weitere Stürme im Januar 2018 Ausgabenbewilligung; Objektkredit (Regierungsratsbeschluss No. 167/2018). Volkswirtschafts-direktion Kanton Bern.
- Ruel J.-C., Achim A., Herrera R.E., Cloutier A, Brossier B (2010) Wood Degradation after Windthrow in a Northern Environment. *For. Prod. J.* 60, 2: 200–206. [doi.org/10.13073/0015-7473-60.2.200](https://doi.org/10.13073/0015-7473-60.2.200)
- Sanginés de Cárcer P., Mederski P.S., Magagnotti N, Spinelli R, Engler B, Seidl R, ... (2021) An operational perspective on the management response to wind disturbances in Europe. *Curr. For. Rep.* 7: 167–180. [doi.org/10.1007/s40725-021-00144-9](https://doi.org/10.1007/s40725-021-00144-9)
- Schütz J.-P., Junod P., Ammann P., Rotach P. (2022) «Welcher Waldbau in der Zukunft? Der Femelschlag hat viele Vorteile». *Wald Holz* 8: 25–27.
- Schweier J., Mederski P.S., Bont L.G., Eriksson A.T., Spinelli R., Engler B. ... (in Review). Recent windthrows in Europe – Lessons learned from post-disturbance management. *Ann. For. Sci.*
- Schweizerischer Bundesrat (2022) Anpassung des Waldes an den Klimawandel. Bericht des Bundesrats in Erfüllung der Motion 19.4177 Engler (Hêche) vom 25.09.2019 und des Postulates 20.3750 Vara vom 18.06.2020. Generalsekretariat UVEK, Bern.
- Seidl R., Lexer M.J. (2013) Forest management under climatic and social uncertainty: Trade-offs between reducing climate change impacts and fostering adaptive capacity. *J. Environ. Manage.* 114: 570461–469. [doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.09.028](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.09.028)
- Stocker R. (2000) «Lothar» – und jetzt? *Umwelt Aargau* 9: 37–42.
- Stocker R., Burger T., Elsener O., Liechti T., Portmann-Orlowski K., Zantop S. (2002) Die Waldstandorte des Kantons Aargau. Finanzdepartement des Kantons Aargau, Abteilung Wald, Aargau.
- Taszarek M., Czernecki B., Koziol A. (2015) A cloud to ground lightning climatology for Poland. *Mon. Weather Rev.* 143: 4285–4304. [doi.org/10.1175/MWR-D-15-0206.1](https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0206.1)
- Thorn S., Chao A., Georgiev K.B., Müller J., Bässler C., Campbell J.L., ... (2020) Estimating retention benchmarks for salvage logging to protect biodiversity. *Nat. Commun* 11, 1: 4762. [doi.org/10.1038/s41467-020-18612-4](https://doi.org/10.1038/s41467-020-18612-4)
- Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 2004. Schlussbericht «LOTHAR» – Behebung der Schäden und Vermeidung von Folgeschäden des Sturms LOTHAR vom Dezember 1999. Bericht der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern an die Aufsichtskommissionen des Grossen Rates des Kantons Bern (Geschäftsprüfungskommission & Finanzkommission). Volkswirtschaftsdirektion Kanton Bern, Bern.

## Abstract

### Strategies for climate adapted forests - from damage-focused coping to precautionary measures

Climate change and the associated increase in frequency and intensity of extreme events pose new challenges for forest management. Research shows that instead of traditional disturbance and damage management, new, proactive approaches and comprehensive, long-term risk management are needed to adapt forests to the impacts of climate change. Implementing this is difficult and requires intensive collaboration between forest owners and managers and the state. This paper examines the development of supporting programs in the two Swiss cantons of Bern and Aargau over the past 30 years. It goes on to discuss the main outstanding issues as well as the corresponding options for action by the state based on a survey of forest owners, forest managers and foresters. While many still prefer traditional forest management approaches and indigenous tree species, subsidizing a mix of indigenous and foreign tree species well-adapted to climate change should prove fruitful. In this case, the amount of state subsidies is the decisive factor for most respondents - making them a powerful instrument to support change.

Keywords: adaptive forest management, forest policy, climate change adaptation, extreme events, forest subsidies



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.



# Umgang mit Waldschäden aus Sicht des Bundes

Stefan Beyeler, Aline Knoblauch, Andy Rudin, Michael Husistein und Benjamin Lange  
 Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz, stefan.beyeler@bafu.admin.ch

**Gesunde Wälder sind resilienter und besser in der Lage, sich bei Bedarf anzupassen. Im Kontext des Klimawandels und der Globalisierung gibt es künftig eine ganze Reihe an möglichen Gefahren für den Wald. Problematisch sind auch Kumulierungen von mehreren Effekten, die sich gegenseitig verstärken, z.B. Trockenheit, Borkenkäfer und Waldbrand. Verschiedene Massnahmen, um den Wald vor biotischen und abiotischen Gefahren zu schützen, sind gesetzlich geregelt. Dieser Artikel bietet einen kurzen Überblick über die diesbezüglichen gesetzlichen Bestimmungen auf Bundesebene. In Zukunft sollen insbesondere die Kombinationseffekte mit dem Ansatz des integralen Risikomanagements besser angegangen werden.**

## 1 Einleitung

Der Schweizer Wald leidet unter dem Klimawandel und den Folgen der Globalisierung. Die ausgeprägte Trockenheit und die Sturmereignisse der letzten Jahre haben in mehreren Regionen grosse Schäden angerichtet. Steigende Temperaturen und zunehmende Trockenheit während der Vegetationszeit setzen die Bäume unter Stress und fördern den Befall und die Vermehrung von Schadorganismen. Die Waldbrandgefahr nimmt zu. Häufigere extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge, Hagel oder Stürme setzen den Wäldern zusätzlich zu. Gleichzeitig steigt das Risiko der Einschleppung von gebietsfremden, besonders gefährlichen Schadorganismen durch den wachsenden globalen Handel. Des Weiteren spielt der Wald selbst eine wichtige Rolle im Umgang mit dem Klimawandel. Der Wald bindet Kohlenstoff im Holz und er beeinflusst das Mikroklima positiv (Bundesrat 2022).

## 2 Rechtliche Grundlagen

### 2.1 Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft

Der Schutz und die Erhaltung des Waldes werden in der Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (BV) erwähnt. Im dritten Titel werden das Verhältnis von Bund und Kantonen sowie die Zuständigkeiten zwischen diesen beiden Akteuren geregelt. Gemäss Art. 77 BV sorgt der Bund dafür,

dass der Wald seine Schutz-, Nutz- und Wohlfahrtsfunktionen erfüllen kann. Er legt Grundsätze über den Schutz des Waldes fest und fördert Massnahmen zur Erhaltung des Waldes.

### 2.2 Bundesgesetz über den Wald

Im Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz) widmen sich die Artikel 26ff. WaG der Verhütung und Behebung von Waldschäden. Unter Waldschäden werden Schäden verstanden, die durch Schadorganismen oder durch Naturereignisse verursacht werden. Die Waldverordnung (WaV) legt fest, dass unter dem Begriff «Naturereignisse» Sturm, Waldbrand und Trockenheit verstanden werden.

Artikel 26 WaG verleiht dem Bund die Zuständigkeit zum Erlass von Massnahmen, um Waldschäden, welche die Wälder in ihrer Schutz-, Wohlfahrts- und Nutzfunktion erheblich gefährden können, zu verhüten und zu beheben und den Wald als naturnahe Lebensgemeinschaft zu schützen. Der Bund hat zu diesem Zweck mehrere Ausführungsverordnungen erlassen, welche einerseits Quarantäneorganismen und die besonders gefährlichen Schadorganismen auflisten und andererseits die notwendigen Massnahmen definieren. Gestützt auf Artikel 26 WaG hat der Bundesrat die Pflanzengesundheitsverordnung erlassen, um den Umgang mit Quarantäneorganismen und anderen besonders gefährlichen Schadorganismen zu regeln, d.h. zu verbieten oder einzuschränken. Die Zuständigkeit des Bundes umfasst zudem das Erlassen von internen organisatorischen Massnahmen und das Verbot oder die Einschränkung der Einfuhr von Waren oder Pflanzen, welche die Waldfunktionen erheblich gefährden können. Diese Bestimmung bildet auch die gesetzliche Grundlage für den Betrieb des Eidgenössischen Pflanzenschutzdienstes (Abt *et al.* 2022).

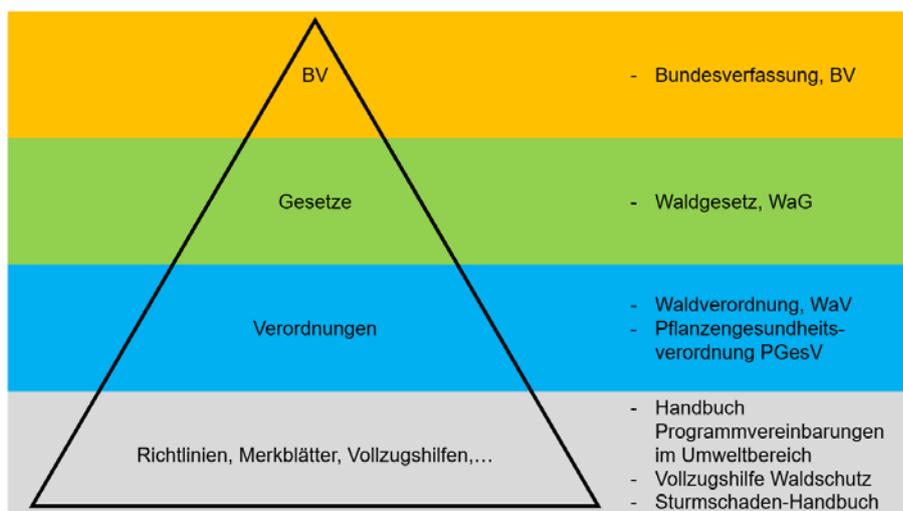


Abb. 1. Darstellung des Aufbaus im Recht. In gelb die Bundesverfassung, in grün das massgebende Waldgesetz und in blau die Verordnungen. In grau sind weitere Grundlagen wie Richtlinien, Merkblätter oder Vollzugshilfen aufgeführt.

Art. 28 WaG regelt die «Waldkatastrophe» und die Kompetenz dazu. Dabei kann die Bundesversammlung mit allgemeinverbindlichem, nicht referendumpflichtigem Bundesbeschluss Massnahmen ergreifen, die insbesondere der Erhaltung der Wald- und Holzwirtschaft dienen. Die «Waldkatastrophe» selber wird hingegen auf Ebene Richtlinie umschrieben (z.B. im Sturmschadenhandbuch).

Eine Ausnahme vom Verbot des Eingriffs in den freien Markt/Wettbewerb ist nur dann zulässig, wenn die Waldwirtschaft und die Holzindustrie in Gefahr sind. Die Massnahmen nach Artikel 28 WaG ergänzen die Massnahmen der ordentlichen Förderpolitik (Art. 35 ff. WaG) und die verschiedenen ausserordentlichen Massnahmen, die bei früheren Ereignissen ergriffen wurden (Abt *et al.* 2022). Somit kann der Bund Finanzhilfen für Massnahmen gewähren, welche die Wirtschaftlichkeit der nachhaltigen Waldbewirtschaftung verbessern, namentlich befristete gemeinsame Massnahmen der Wald- und Holzwirtschaft für Werbung und Absatzförderung bei aussergewöhnlichem Holzanfall (Art. 38a Abs. 1 Bst. c:) oder die Lagerung von Holz bei aussergewöhnlichem Holzanfall (Art. 38a Abs. 1 Bst. d).

### 2.3 Verordnung über den Wald (Waldverordnung, WaV)

Gemäss Artikel 30 WaV sorgt das BAFU für die Grundlagen zur Verhütung und Behebung von Waldschäden. Ebenfalls wird präzisiert, dass das BAFU die kantonübergreifenden Massnahmen koordiniert und solche bei Bedarf selber festlegt. Im gleichen Artikel werden der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) im Rahmen ihres Grundauftrags folgenden Aufgaben auferlegt:

- Sie organisiert zusammen mit den kantonalen Forstdiensten die Erhebung von Daten, die für den Waldschutz von Bedeutung sind.
- Sie informiert über das Auftreten von Schadorganismen und anderen Einflüssen, die den Wald gefährden können.
- Sie berät in Waldschutzfragen die eidgenössischen und kantonalen Fachstellen.

Der Bund gewährt den Kantonen gemäss Artikel 37a WaG Abgeltungen an Massnahmen zur Verhütung und Behebung von Waldschäden im Schutzwald. Diese richten sich nach:

- dem Gefahren- und Schadenpotenzial;
- der Anzahl Hektaren des zu pflegenden Schutzwaldes;
- der Qualität der Leistungserbringung.

Seit 2017 ist es gemäss Artikel 40a WaV möglich, dass der Bund an die Massnahmen gegen Waldschäden auch ausserhalb des Schutzwaldes Abgeltungen an die Kantone leistet. Die Höhe dieser globalen Abgeltungen an Massnahmen zur Verhütung und Behebung von Waldschäden ausserhalb des Schutzwaldes richtet sich nach:

- der Gefährdung der Waldfunktionen;
- der Anzahl Hektaren, auf denen Massnahmen ergriffen werden;
- der Qualität der Leistungserbringung.

Diese wird zwischen dem BAFU und dem betroffenen Kanton ausgehandelt.

### 2.4 Verordnung über den Schutz von Pflanzen vor besonders gefährlichen Schadorganismen

Die Pflanzengesundheitsverordnung (PGesV) dient dazu, wirtschaftliche, soziale und ökologische Schäden zu verhindern, die durch die Einschleppung und die Verbreitung von Quarantäneorganismen und anderen besonders gefährlichen Schadorganismen entstehen können, insbesondere durch die Einfuhr und das Inverkehrbringen von Waren, die Träger solcher Schadorganismen sein können. Die Verordnung legt insbesondere fest, mit welchen Vorsorge- und Bekämpfungsmassnahmen die Einschleppung und die Verbreitung von Quarantäneorganismen und anderen besonders gefährlichen Schadorganismen verhindert werden sollen. Die Meldepflicht wird ebenfalls präzisiert sowie die Bestimmungen zum Umgang mit Waren (Einfuhr, Durchfuhr, Ausfuhr, Überführen und Inverkehrbringen).

### 2.5 Programmvereinbarungen im Umweltbereich

In Programmvereinbarungen zwischen Bund und Kantonen werden die Globalsubventionen des Bundes an die Kantone und die konkrete Ausgestaltung der Zusammenarbeit in den jeweiligen Aufgabenbereichen festgelegt. Mit anderen Worten: Es werden Art, Umfang und Finanzierung eines bestimmten Leistungsprogramms in einem bestimmten Aufgabenbereich durch einen öffentlich-rechtlichen Vertrag geregelt, der normalerweise über vier Jahre läuft (BAFU 2018).

Die finanzielle Beteiligung des Bundes an Waldschutzmassnahmen erfolgt über die Programmvereinbarung Wald im Teilprogramm Schutzwald. Im Programmziel «Waldschutz» wird in der Programmvereinbarung festgelegt, welche Mittel der Kanton während der Programmlaufzeit für die Verhütung (inkl. Überwachung) und Behebung von Waldschäden einsetzt. Der Bund beteiligt sich mit 40 % an den entstehenden Nettokosten.

### 2.6 Vollzugshilfe Waldschutz

Vollzugshilfen des Bundes konkretisieren die rechtlichen Vorgaben und richten sich an die kantonalen Vollzugsbehörden. Die Vollzugshilfe Waldschutz beschreibt die Grundsätze der Zusammenarbeit zwischen Behörden, Forschungsanstalten und weiteren Akteuren im Umgang mit Schadorganismen für den Wald. Die einzelnen Module beschreiben im Detail, wie die Behörden gegen einzelne Schadorganismen vorgehen sollen (siehe Abb. 2). Sie widerspiegeln den aktuellen Kenntnisstand im Umgang mit diesen Organismen (BAFU 2022).

### 2.7 Sturmschaden-Handbuch

In der «Vollzugshilfe für die Bewältigung von Sturmschadensereignissen von nationaler Bedeutung im Wald» (BAFU 2008) wird der Ansatz des integralen Risikomanagements verwendet. Dieser sieht Massnahmen in drei verschiedenen Bereichen vor: Vorbeugung, Bewältigung und Regeneration. Neben Vorsorge- und Sofortmassnah-

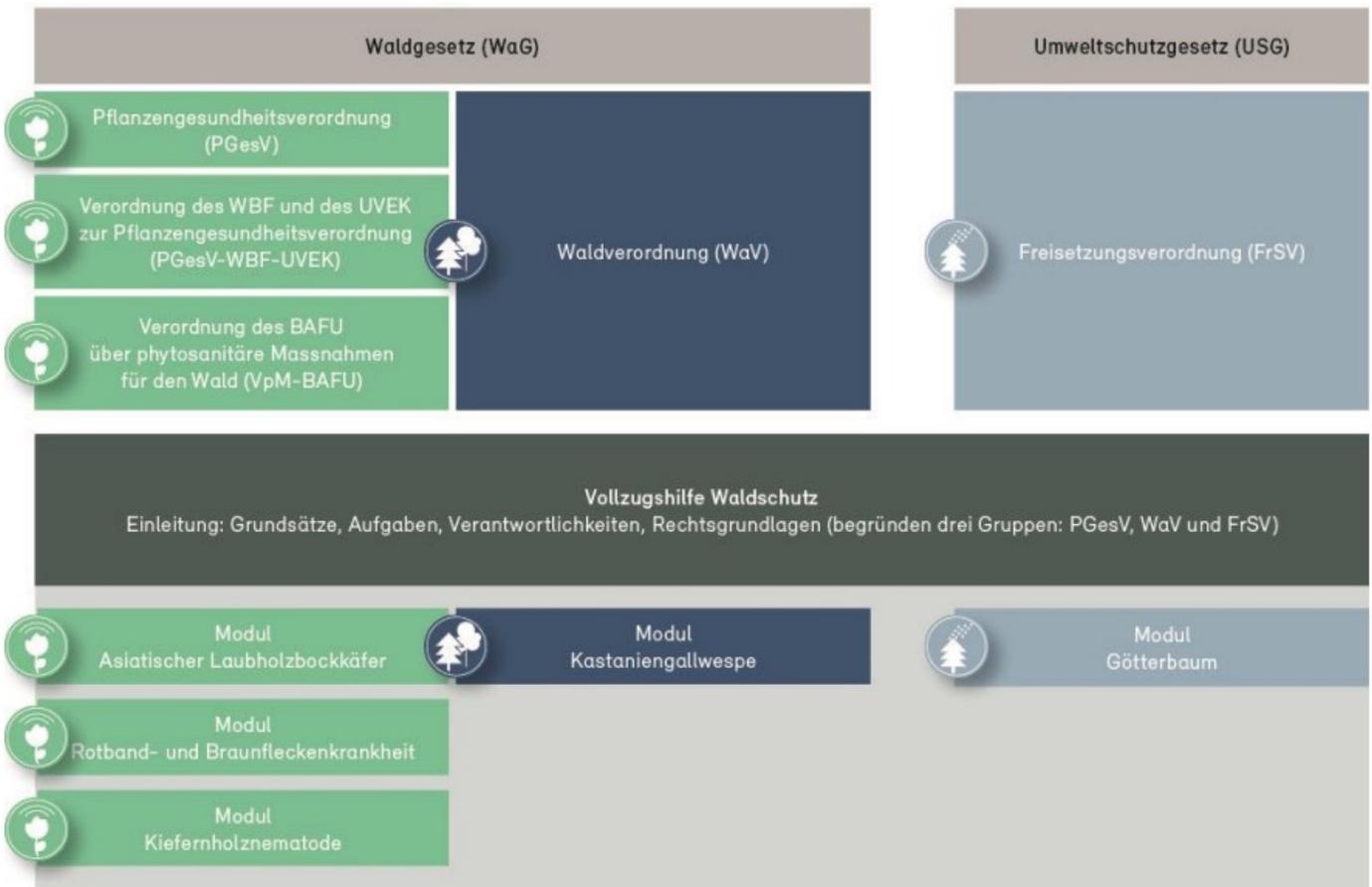


Abb. 2. Darstellung der Module in der Vollzugshilfe Waldschutz und den übergeordneten Gesetzen. In grün die Pflanzengesundheitsverordnung, in blau die Waldverordnung und in grau die Freisetzungsverordnung.

men werden auch die Abläufe definiert, um ein Sturmereignis von nationaler Bedeutung zu bewältigen. Diese Vollzugshilfe sollte in den nächsten Jahren überarbeitet werden.

### 3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die rechtlichen Grundlagen haben in den letzten Jahren grosse Fortschritte ermöglicht, wie die Bekämpfung von Waldschäden inner, aber auch ausserhalb des Schutzwaldes. In Zukunft sollten die Kombinationseffekte besser angegangen werden. Mögliche Lösungsansätze wie z.B. das integrale Risikomanagement sollten diese Effekte besser berücksichtigen. Forschung und Erfahrungsaustausche sollten gefördert werden, um das Verständnis der Kombinationseffekte zu verbessern. Die Bewältigung und Behebung von Waldschäden aufgrund ausserordentlicher Wetterereignisse sollte weitergeführt werden. Weitere fachliche Anpassungen, und ggf. dessen rechtlichen Änderungen, werden in der «Integralen Wald- und Holz-Strategie 2050» überprüft.

### 4 Literatur

Abt T., Norer R., Wild F., Wisard N. (Hrsg./éds) (2022) WaG – Kommentar zum Waldgesetz; LFo – Commentaire de la loi sur les forêts.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2008) Sturmschaden-Handbuch. Vollzugshilfe für die Bewältigung von Sturmschadenereignissen von nationaler Bedeutung im Wald. Umwelt-Vollzug 0801.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2018) Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020–2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bern, Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Vollzug 1817: 294 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2020) Vollzugshilfe Waldschutz. Richtlinien zum Umgang mit Schadorganismen des Waldes. Aktualisierung 2020. Erstausgabe 2018. Bern, Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Vollzug 1801.

Bundesrat 2022: Anpassung des Waldes an den Klimawandel. Bericht des Bundesrats in Erfüllung der Motion 19.4177 Engler (Héche) vom 25.09.2019 und des Postulates 20.3750 Vara vom 18.06.2020.

**Abstract****Dealing with forest damages from the federal government's point of view**

Healthy forests are more resilient and better able to adapt. In the context of climate change and the effects of globalization, there is a broad range of possible threats to forests. Combinations of several effects that reinforce each other are also problematic, e.g. drought and forest fire. Various measures to protect the forest from biotic and abiotic hazards are regulated by the legislation. The Federal Constitution, the Forest Act and ordinances contain measures. In recent years, the legal framework has fostered major progress, for example in combating forest damages both in and outside the protection forests. In the future, especially the combination effects should be better addressed with the integrated risk management approach. Further technical adjustments and, if necessary, its legal changes will be reviewed in the Integrated Forest and Wood Strategy 2050.

Keywords: damages, combined effects, measures, law, integral risk management



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

# Herausforderungen in Gebirgswäldern gemeinsam angehen: wie Forschung und Praxis erfolgreich zusammenarbeiten und voneinander profitieren können

Alessandra Bottero<sup>1,2</sup>, Samuel Zürcher<sup>3</sup> und Peter Bebi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos Dorf, Schweiz, alessandra.bottero@wsl.ch

<sup>2</sup> Climate Change, Extremes and Natural Hazards in Alpine Regions Research Centre CERC, Davos Dorf, Schweiz, bebi@slf.ch

<sup>3</sup> Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld, Schweiz, samuel.zuercher@ibw.ch

**Angesichts zunehmender Störungsrisiken und anderer Auswirkungen des Klimawandels sind proaktive Bewirtschaftungsansätze und eine effiziente Bewältigung von Störungen in Gebirgswäldern von entscheidender Bedeutung. Eine gute Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis ist entscheidend, um diese Herausforderungen zu bewältigen. Wir präsentieren zwei Projekte, in denen dies bereits umgesetzt wird: earlyBEETLE und MountEx. Das earlyBEETLE-Projekt konzentriert sich auf die Früherkennung und Bewältigung von Buchdrückerschäden, während das MountEx-Projekt darauf abzielt, Leitlinien für die Bewirtschaftung von Gebirgswäldern unter dem Einfluss extremer Störungen zu entwickeln. Beide Projekte kombinieren sich ergänzende methodische Ansätze und nutzen Synergien zwischen Forschung und Praxis im Hinblick auf die gemeinsame Erarbeitung von umfassenden Lösungen für das Gebirgswaldmanagement in Zeiten des globalen Wandels. Wichtige Erfolgsfaktoren für eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis sind, dass Praxispartner bereits in einer frühen Phase in die Projektplanung einbezogen werden und dass die Zusammenarbeit sowohl seitens der Forschungs- wie auch der Praxispartner als Chance und Mehrwert gesehen wird.**

## 1 Einleitung

### 1.1 Gebirgswälder und ihre Bewirtschaftung im Klimawandel

Gebirgswälder stellen eine Vielzahl von ökologischen Funktionen und Ökosystemleistungen sicher. Damit sind beispielsweise die Erhaltung der Artenvielfalt, die Holzproduktion, die Regulation des Wasserhaushalts sowie – in der Schweiz häufig prioritär – der Schutz von Menschen und ihrer Infrastruktur vor Naturgefahren wie Lawinen und Steinschlag gemeint (Grêt-Regamey und Weibel 2020; Mina *et al.* 2017; Stritih *et al.* 2021a). Gleichzeitig stehen diese Wälder vor beispiellosen Herausforderungen aufgrund des Klimawandels sowie Auswirkungen früherer Bewirtschaftungsformen (Stritih *et al.* 2021b) und der Folgen hoher Huftierbestände (Verbund Waldbau Schweiz, 2020). Der Klimawandel führt einerseits dazu, dass sich die Artenzusammensetzung vergleichsweise rasch und vielerorts grundlegend anpassen muss. Andererseits werden Störungen häufiger

und heftiger – aufgrund steigender Anfälligkeit und zunehmender Extremereignisse (Pluess *et al.* 2022). In vielen Fällen können Störungen in Wechselwirkung treten, was ihre Bewältigung weiter erschwert (z.B. Borkenkäferkalamitäten nach Windwurf, Abb. 1). Die zunehmende Häufigkeit und Schwere dieser Störungen erfordert, dass diese im Waldbau stärker als bisher berücksichtigt werden. Um nachteilige Aus-

wirkungen zu mildern und wichtige Ökosystemleistungen auch in Zukunft zu erhalten, ist es wichtig, dass sowohl präventive Massnahmen wie auch Bewältigungsmassnahmen nach einem Ereignis optimiert werden.

Im schweizerischen Gebirgswald ist die Holzproduktion aufgrund der Topografie, Erschliessung, Holzernteverfahren, gesellschaftlichen Ansprüche (Kahlschlagverbot, naturnaher Waldbau) sowie der Kosten- und Erlösstrukturen gegenwärtig überwiegend nicht kostendeckend. Daher wird oft nur dort eingegriffen, wo öffentliche Beiträge ausbezahlt werden – typischerweise im Schutzwald oder in Biodiversitäts-Förderflächen. Die öffentlichen Mittel sind jedoch eng begrenzt: gegenwärtig wird jährlich weniger als 1/60 der Schweizer Schutzwaldfläche gepflegt (Bundesamt für Umwelt BAFU 2022). Daher ist die Priorisierung der Schutzwälder sowie der Schutzwaldpflegemassnahmen von grosser Bedeutung. In der Praxis sind in mehreren Kantonen unterschiedliche, meist relativ simple Priorisierungsmethoden im Einsatz (Kühne und Thormann 2019), welche beispielsweise die



Abb. 1. Beispiele für Windwurf (Links: Davos Glaris, Schweiz) und grossflächigen Windwurf, gefolgt von Borkenkäferbefall (Rechts: Val di Fiemme, Italien). Fotos: Alessandra Bottero, 2023.

von der Wissenschaft seit langem angeregte Risikoorientierung (Bebi *et al.* 2004; Moos *et al.* 2018) nur bedingt erfüllen. Hinzu kommt, dass es im Falle von grossflächigen Störungen, welche mit fortschreitendem Klimawandel wahrscheinlich häufiger werden, noch wichtiger wird, rasch gute Entscheidungsgrundlagen zur Hand zu haben, um die in solchen Situationen sehr beschränkten Ressourcen (Holzerntemaschinen, Personal, Holzlagerung und -abfuhr) bestmöglich zuzuweisen. Daher sind hier weitere praxisorientierte Forschungsarbeiten notwendig.

Da bisher viele Gebirgswälder sehr hohe Fichtenanteile aufweisen, spielen Borkenkäferschäden eine zentrale Rolle in der Störungsökologie. Für die erfolgreiche Borkenkäferbekämpfung ist es entscheidend, befallene Bäume möglichst frühzeitig zu erkennen. Hierfür existieren gegenwärtig verschiedene neue Ansätze, welche jedoch bisher in der forstlichen Praxis noch wenig etabliert sind. Um dies zu ändern, braucht es auch hier praxisorientierte Forschung.

Nachfolgend wird anhand von zwei laufenden Forschungsprojekten dargestellt, wie solche Lücken in der praxisnahen Forschung geschlossen und Synergien zwischen Forschung und Praxis genutzt werden können. Im ersten Beispiel geht es um die Früherkennung und Aufarbeitung von Buchdrucker-schäden, im zweiten Beispiel um die Erarbeitung von besseren Planungsgrundlagen zur Priorisierung des Managements in Gebirgsfichtenwäldern.

## 2 Früherkennung und Aufarbeitung von Buchdruckerschäden im Kanton Graubünden (Akronym: earlyBEETLE)

Die trockenen und warmen Jahre der letzten Jahrzehnte haben dazu geführt, dass weite Teile europäischer Waldlandschaften durch Ausbrüche des Buchdruckers (*Ips typographus* L.) stark in Mitleidenschaft gezogen wurden (Hlásny *et al.* 2021). Dabei gerät insbesondere die Fichte zunehmend unter Druck durch diese Borkenkäferart, sodass der Schutz vor Naturgefahren sowie andere Waldleistungen gefährdet werden. Ein frühes Erkennen von sensitiven sowie bereits befallenen Bäumen ist der

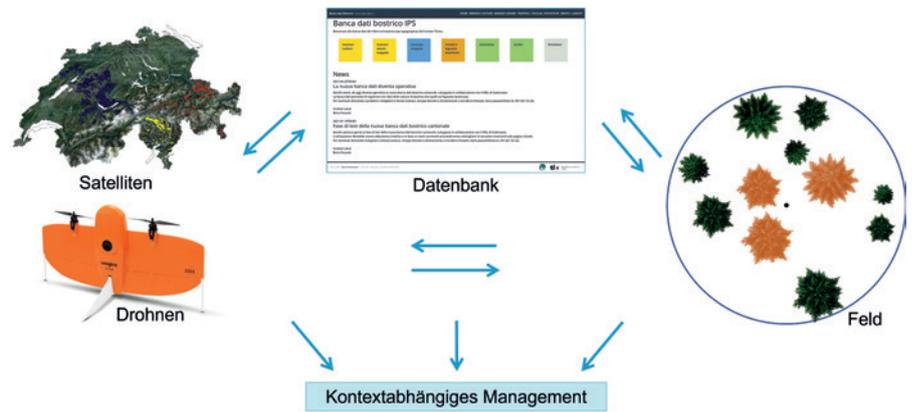


Abb. 2. Überblick über die im Projekt verwendeten Ansätze. Abbildung von Alessandra Bottero, 2023.

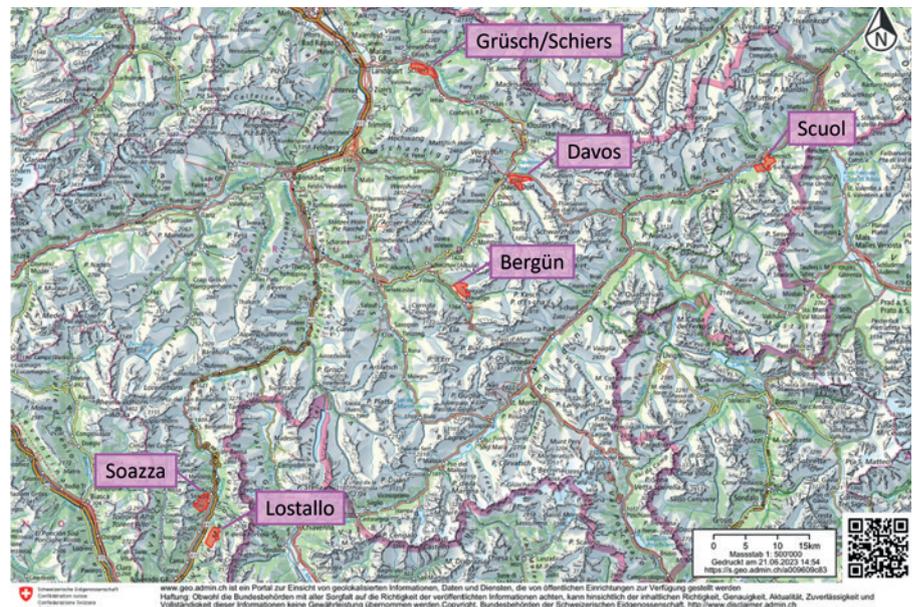


Abb. 3. Untersuchungsregionen im Kanton Graubünden. Die Perimeter wurden gemeinsam mit den lokalen Förstern festgelegt, wobei auch Flugbeschränkungen und unterschiedliche bioklimatische Bedingungen berücksichtigt wurden. Abbildung von Alessandra Bottero, 2023.

Schlüssel für die Planung und Durchführung von Managementmassnahmen.

Ausgehend von einer Anfrage des Amtes für Wald und Naturgefahren (AWN) des Kantons Graubünden an das neue Forschungszentrum CERC (Climate Change, Extremes and Natural Hazards in Alpine Regions Research Centre) am WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF wurde ein interdisziplinäres Team von Wissenschaftlern der WSL-Standorte Davos, Birmensdorf und Cadenazzo zusammengestellt, um gemeinsam mit dem AWN und weiteren Praktikern ein angewandtes Projekt zu erarbeiten. Dieses wird vom AWN finanziert, läuft bis 2025 und zielt darauf ab, die Früherkennung von Käferschäden im Kanton Graubünden zu verbessern.

Das earlyBEETLE-Projekt besteht aus vier zueinander komplementären Ansätzen (Abb. 2). Durch die Kombination von Fernerkundungsdaten (sowohl von Satellitenbildern als auch von Drohnen mit multispektralen Kameras), Feldbeobachtungen (strukturelle Parameter des Waldes und Baum-Jahresringe) und einer speziell für das Projekt entwickelten Datenbank möchten wir testen, ob und wie gut wir den Befall des Buchdruckers in einem frühen Stadium erkennen können (siehe Untersuchungsregionen in Abb. 3). Basierend darauf wird evaluiert, wie solche Zusatzinformationen aus der Forschung zusammen mit bestehenden Planungsinstrumenten sowie regionalen Beobachtungen und Erfahrungen verwendet werden können, um Mass-

nahmen in Gebirgsfichtenwäldern zu priorisieren und Mittel effizient einzusetzen. Speziell im Gebirge ist die Frage, ob und an welchen Hängen die Borkenkäferbekämpfung priorisiert wird, von grösster Wichtigkeit. Dabei müssen sowohl komplexe standörtliche und walddynamische Zusammenhänge des jeweiligen Waldbestandes und seiner Umgebung berücksichtigt werden wie auch die jeweiligen Waldfunktionen und damit verbundenen gesellschaftlichen Risiken. Nur so können auch Gebiete identifiziert werden, in denen Chancen durch natürliche Störungen im Hinblick auf Biodiversitätsförderung und Klimaanpassung insgesamt höher gewichtet werden als entsprechende Risiken.

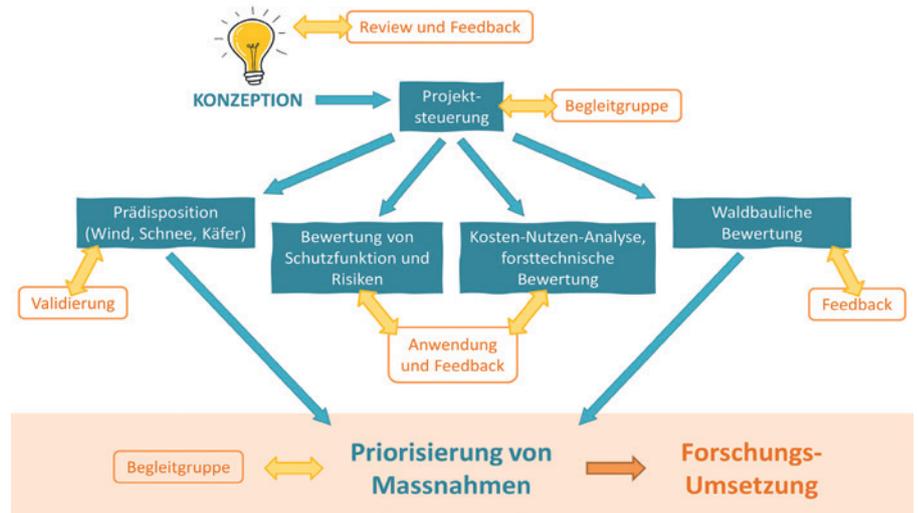


Abb. 4. Überblick über die Projektphasen zur Priorisierung von Massnahmen und Forschungs-Umsetzung. Die Interaktionen zwischen Forschung (blau) und Praxis (orange) sind in der Abbildung durch Pfeile dargestellt. Abbildung von Peter Bebi und Alessandra Bottero, 2023.

### 3 Gebirgsfichtenwälder als Hotspots für Extremereignisse: Auswirkungen, Resilienz und Managementprioritäten (Akronym: MountEx)

Fichtendominierte Gebirgswälder erfüllen wichtige Schutzfunktionen gegenüber Naturgefahren und erbringen auch andere Walddleistungen. Aufgrund ihrer früheren Bewirtschaftungsgeschichte, klimabedingten Veränderungen und einer hohen Anfälligkeit gegenüber Trockenheit, Borkenkäferkalamitäten und anderen natürlichen Störungen erwarten wir in den nächsten Jahrzehnten aber eine stark erhöhte Mortalität und extreme Veränderung in Struktur und Artenzusammensetzung dieser Wälder (Bebi *et al.* 2017; Hlásny *et al.* 2021; Huber *et al.* 2021). Extreme Störungsszenarien, in denen grosse Teile der Fichtenwälder absterben und eine grossflächige und rechtzeitige Bekämpfung von Käferschäden nur schon aus logistischen und arbeitstechnischen Gründen nicht mehr möglich ist, sind in Südtirol schon Realität (vgl. Wellstein *et al.* 2023 in diesem Band) und werden auch in der Schweiz mit zunehmendem Klimawandel immer wahrscheinlicher.

Das bis 2025 laufende Projekt MountEx innerhalb des WSL-Forschungsprogramms Extremes greift diese Problematik auf mit dem Ziel, die Priorisierung von fichtendominierten Gebirgswäldern im Fall von extremen

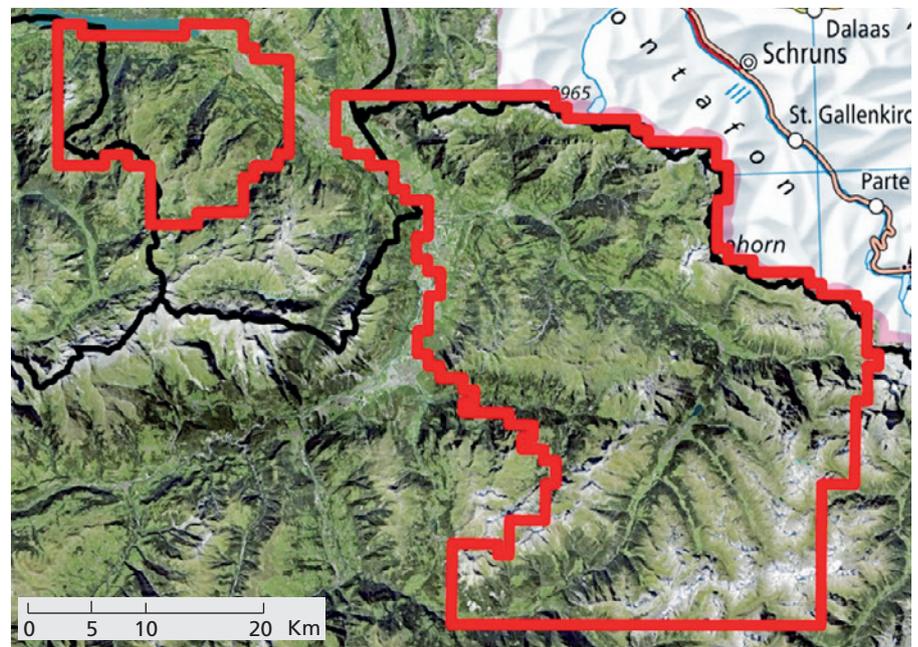


Abb. 5. Untersuchungsregionen im Kanton Graubünden und im Kanton St. Gallen. Abbildung von Leon Bühle, 2023.

Störungsereignissen (> 30% der Fichten pro Region sterben ab) zu unterstützen ([wsl.ch/de/projekte/mountex/](http://wsl.ch/de/projekte/mountex/)). Diese Priorisierung basiert auf zueinander komplementären Grundlagen, welche durch verschiedene WSL-Gruppen und zusammen mit Praxispartnern zu einem möglichst gut anwendbaren Produkt zusammengefügt werden (Abb. 4). Dazu gehören (1) die Ableitung von regionalen Anfälligkeitskarten für Windwurf, Schneebruch und Borkenkäfer mittels hochaufgelöster LiDAR-Daten, (2) die flächige Bewertung der Schutzfunktion und Risiken

gegenüber Steinschlag und Lawinen im aktuellen Zustand und im Fall von natürlichen Störungen, (3) retrospektive Untersuchungen zur Bewertung proaktiver (vor der Störung) und reaktiver (nach der Störung) waldbaulicher Massnahmen und (4) die wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse und forsttechnische Bewertung von verschiedenen Bewirtschaftungsoptionen (Bont und Church 2018). Die dafür notwendigen Forschungsarbeiten werden in zwei Untersuchungsgebieten im Kanton Graubünden und im Kanton St. Gallen durchgeführt (Abb. 5). Aus diesen

als Pilotregionen dienenden Untersuchungsgebieten sollen unter anderem auch interaktive Karten und Folgerungen für die Priorisierung der zukünftigen Bewirtschaftung im Hinblick auf zukünftige Extremereignisse abgeleitet werden.

#### 4 Wie gelingt gute Zusammenarbeit Forschung – Praxis?

Diese beiden Projekte sind darauf ausgelegt, zukünftige Leitlinien und Entscheidungsprozesse evidenzbasiert mitzugestalten und damit die Stakeholder zu unterstützen, bestmöglich mit zukünftigen Störungsereignissen im Gebirgswald umzugehen.

Doch was ist nötig, damit die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis für beide Seiten erfolgreich verläuft? Praxisorientierte Forschung setzt zuallererst die Überzeugung voraus, dass sich Forschung und Praxis sowie regionales Erfahrungswissen ergänzen und dass die grossen Herausforderungen der Zukunft letztlich nur in synergistischer Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis erfolgreich angegangen werden können. Dies bedingt eine enge Zusammenarbeit auf Augenhöhe und ein gegenseitiges Verständnis für die teilweise divergierenden Denkweisen, Bedürfnisse und Rahmenbedingungen der jeweiligen Partner.

Im Sinn einer guten Zusammenarbeit ist es zentral, dass ein gegenseitiges Vertrauensverhältnis besteht und dass die Bedürfnisse der Praxis bereits in der Konzeptionsphase von Projekten verstanden werden. Wertvolle Unterstützung dafür bieten in der Schweiz beispielsweise verschiedene Arbeitsgruppen und Plattformen wie jene des Schweizerischen Forstvereins (SFV), der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe (GWG) oder das Netzwerk der Fachleute Naturgefahren (FAN). Wichtig ist in diesem Sinn auch, dass der praktische und wissenschaftliche Mehrwert von angewandten Forschungsprojekten und integrativen Synthesearbeiten auch von Wissenschaftsinstitutionen und den entsprechenden Geldgebern anerkannt und wertgeschätzt wird und dass die Ergebnisse zuerst mit der Praxis diskutiert

werden, bevor sie publiziert werden. In den beiden oben präsentierten Projekten gelingt die erfolgreiche Integration von wissenschaftlichem und praktischem Wissen insbesondere durch das aktive Engagement von Praktikern in allen Projektphasen. Im Projekt earlyBEETLE fand dazu bereits zu Beginn des Projekts ein Workshop statt, an dem über 20 erfahrene Förster teilnahmen. Die Förster trugen seither zu der Erarbeitung der Projektinhalte und der Auswahl der Untersuchungsregionen bei, testeten und gaben Feedback zu unserer Datenbank, sammelten Daten aus Schlitz-Fallen und meldeten neue Borkenkäferbefälle und Managementmassnahmen. Im Projekt MountEx fand der erste Feedback-Loop mit Vertretern der entsprechenden Kantone bereits während der Verfassung des Forschungsgesuches statt. Seither werden regelmässig Rückmeldungen und Ratschläge aus einer Begleitgruppe mit Vertreterinnen der Kantone sowie des BAFU und der Fachstelle Gebirgswaldpflege aufgenommen. Zudem finden in allen Projektteilen Interaktionen mit Praktikern statt. Beispielsweise wurden wissenschaftliche Kenntnisse zum Einfluss verschiedener Faktoren auf die Anfälligkeit verschiedener Waldtypen durch eine Expertenfrage ergänzt und das Fachwissen lokaler Förster wird auch zur Validierung von Prädispositionskarten für Windwurf und Borkenkäferbefall genutzt.

#### 5 Fazit und Ausblick

Das Zusammenwirken von zunehmender Störungsgefährdung und begrenzten Ressourcen unterstreicht die Dringlichkeit, wissenschaftliche Erkenntnisse und praktische Ansätze im Zusammenhang mit der frühzeitigen Erkennung von Borkenkäferbefall und Priorisierung von Managementmassnahmen in Gebirgswäldern voranzutreiben. Indem sie sich diesen entscheidenden Herausforderungen stellen, tragen die beiden hier vorgestellten Projekte zu einem robusteren Verständnis bei, wie die Praxis auf Störungen reagieren und sich bestmöglich darauf vorbereiten kann.

Im Hinblick auf eine bestmögliche Anpassung von Gebirgswäldern und Waldmanagement an den Klimawan-

del gibt es nebst dem Umgang mit zukünftigen Störungen auch weitere offene Fragen, deren Beantwortung eine effektive Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis bedingt. Dazu gehören Fragen rund um das erfolgreiche Einbringen von zukunftsfähigen Baumarten, welche im heutigen Klima noch wenig konkurrenzstark sind, sowie Fragen zum Umgang mit dem grossflächig hohen Schalenwildeinfluss auf die Waldverjüngung, welcher natürlich ablaufende Anpassungsprozesse verzögert bis gänzlich blockiert. Wie beim Umgang mit Störungen und Extremereignissen erfordert auch die Beantwortung solcher Fragen sowohl wissenschaftliche Fundiertheit wie auch praktische Erfahrung – und in diesem Sinn ein Win-win-Denken zwischen Forschung und Praxis.

#### 6 Danksagung

Das earlyBEETLE-Projekt wird durch das AWN finanziert. Wir danken dem Projektteam: Theresa Banzer, Peter Bebi, Simon Blaser, Alessandra Bottero, Yves Bühler, Marco Conedera, Silvio Covi, Christian Ginzler, Martin Gossner, Frank Krumm, Andrea Minetti, Gianni Boris Pezzatti, Achilleas Psomas, Andreas Stoffel und Marco Vanoni. Ebenfalls möchten wir den zahlreichen Förstern und Mitarbeitern des AWN, die am Projekt beteiligt sind, für ihre wertvolle Unterstützung und Zusammenarbeit danken.

Das Projekt MountEx wird durch das WSL-Forschungsprogramm Extremes finanziert. Wir danken dem Projektteam: Theresa Banzer, Alexander Bast, Peter Bebi, Clemens Blattter, Leo Bont, Alessandra Bottero, Leon Bührle, Kevin P. Helzel, Martina Hobi, Tobias Kalt, Petia S. Nikolova, Janine Schweier und Christian Temperli. Ein besonderer Dank geht an die Projekt-Begleitgruppe: Viola Sala (AWN), Thomas Brandes (Kt. St. Gallen), Samuel Zürcher (GWP) und Benjamin Lange (BAFU). In Erinnerung an Peter Brang, der bis zu seinem Tod am 7.7.2022 ein wichtiger Teil des Projektteams war.

## 7 Literatur

- Bebi P., Grêt-Regamey A., Rhyner J., Ammann W.J. (2004) Risikobasierte Schutzwaldstrategie. Forum für Wissen. Schutzwald und Naturgefahren. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL. 79–86.
- Bebi P., Seidl R., Motta R., Fuhr M., Firm D., Krumm F., ... (2017) Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. *For. Ecol. Manag.* 388: 43–56.
- Bont L.G., Church R.L. (2018) Location set-covering inspired models for designing harvesting and cable road layouts. *Eur. J. For. Res.* 137: 771–792.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2022) Jahrbuch Wald und Holz 2022, Umwelt-Zustand.
- Grêt-Regamey A., Weibel B. (2020) Global assessment of mountain ecosystem services using earth observation data. *Ecosyst. Serv.* 46: 101213.
- Hlásny T., König L., Krokene P., Lindner M., Montagné-Huck C., Müller J., ... (2021) Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management. *Curr. For. Rep.* 7: 138–165. [doi.org/10.1007/s40725-021-00142-x](https://doi.org/10.1007/s40725-021-00142-x)
- Huber N., Bugmann H., Cailleret M., Bircher N., Lafond V. (2021) Stand-scale climate change impacts on forests over large areas: transient responses and projection uncertainties. *Ecol. Appl.* 31. e02313.
- Kühne K., Thormann J.-J. (2019) Priorisierung im Schutzwald. Auslegeordnung zur Priorisierung in den Kantonen und weiterführende Überlegungen möglicher Priorisierungssysteme (Schlussbericht). Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen.
- Mina M., Bugmann H., Cordonnier T., Irauschek F., Klopčič M., Pardos M., ... (2017) Future ecosystem services from European mountain forests under climate change. *J. Appl. Ecol.* 54: 389–401.
- Moos C., Bebi P., Schwarz M., Stoffel M., Sudmeier-Rieux K., Dorren L. (2018) Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. *Earth-Sci. Rev.* 177: 497–513.
- Pluess A.R., Brang P., Augustin S. (2022) Wald im Klimawandel: Grundlagen für Adaptationsstrategien. Haupt. 447 S.
- Stritih A., Bebi P., Rossi C., Grêt-Regamey A. (2021a) Addressing disturbance risk to mountain forest ecosystem services. *J. Environ. Manage.* 296: 113188. [doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113188](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113188)
- Stritih A., Senf C., Seidl R., Grêt-Regamey A., Bebi P. (2021b) The impact of land-use legacies and recent management on natural disturbance susceptibility in mountain forests. *For. Ecol. Manag.* 484, 118950. [doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118950](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118950)
- Verbund Waldbau Schweiz (2020) Zu starker Wildeinfluss gefährdet Waldleistungen und die Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Positionspapier des Verbundes Waldbau Schweiz.
- Wellstein C., Broll M., Unterthiner G., Pietrogiovanna M. (2023) Zwischen Sturmwurf und Borkenkäferbefall: Management von Extremereignissen in Südtirol. In: Bebi P., Schweier J. (Red.) Forum für Wissen 2023. WSL Berichte 144: 25–32. [doi.org/10.55419/wsl:35226](https://doi.org/10.55419/wsl:35226)

### Abstract

#### Tackling challenges in mountain forests together: How research and practice can successfully cooperate and profit from each other

Mountain forests offer a range of ecosystem services and products. Under increasing disturbance risks and other climate change impacts, proactive management approaches and efficient management of disturbances in mountain forests are crucial. In this context, a good collaboration between research and practice is crucial to address these challenges. Two projects that aim to do this are presented as examples: earlyBEETLE and MountEx. The earlyBEETLE project focuses on early detection and an management of bark beetle damage, while the MountEx project aims to develop guidelines for the management of mountain forests under the influence of extreme disturbances. By combining different data and methods, the two projects demonstrate the increasing recognition of the potential synergies between research and practice and the promising development towards comprehensive solutions for mountain forest management under global change. Important factors for successful cooperation between research and practice are that practice partners are involved in project planning at an early stage and that cooperation is seen as added value by both research and practice partners.

Keywords: forest management, implementation-oriented research, *Ips typographus*, natural disturbances, protective forests



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.





## Verzeichnis der Berichte «Forum für Wissen

- 2023: Neue Fernerkundungstechnologien für die Umweltforschung und Praxis. WSL Ber. 134
- 2022: Waldböden – intakt und funktional. WSL Ber. 126
- 2021: Erholsame Landschaft. WSL Ber. 115.
- 2020: Biodiversität im Schweizer Wald. WSL Ber. 100.
- 2019: Forum für Wissen: Schweiz erneuerbar! WSL Ber. 84.
- 2018: Lernen aus Extremereignissen. WSL Ber. 78.
- 2017: Naturschutzgenetik. WSL Ber. 60.
- 2016: Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt.
- 2015: Von der Siedlungsentwicklung zur Landschaftsgestaltung. WSL Ber. 33.
- 2014: Landschaft und Energiewende. Der Einfluss erneuerbarer Energien auf die Landschaft. WSL Ber. 21.
- 2013: Bodenschutz im Wald: Ziele – Konflikte – Umsetzung. WSL Ber. 6.
- 2012: Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen.
- 2011: Der multifunktionale Wald – Konflikte und Lösungen.
- 2010: Landschaftsqualität. Konzepte, Indikatoren und Datengrundlagen.
- 2009: Langzeitforschung für eine nachhaltige Waldnutzung.
- 2008: Ballungsräume für Mensch und Natur.
- 2007: Warnung bei aussergewöhnlichen Naturereignissen.
- 2006: Wald und Klimawandel.
- 2005: Wald und Huftiere – eine Lebensgemeinschaft im Wandel.
- 2004: Schutzwald und Naturgefahren.
- 2000: Naturwerte in Ost und West. Forschen für eine nachhaltige Entwicklung vom Alpenbogen bis zum Ural.
- 1999: 2 Nachhaltige Nutzung im Gebirgsraum. 1 Biosphärenpark Ballungsraum.
- 1998: Optimierung der Produktionskette «Holz».
- 1997: Säure- und Stickstoffbelastungen – ein Risiko für den Schweizer Wald?
- 1996: Wild im Wald – Landschaftsgestalter oder Waldzerstörer?
- 1995: Erhaltung der Biodiversität – eine Aufgabe für Wissenschaft, Praxis und Politik.
- 1994: Waldwirtschaft im Gebirge – eine ökologische und ökonomische Herausforderung.