

LANGFASSUNG



Schutzwald in Österreich – Wissensstand und Forschungsbedarf



 Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus

IMPRESSUM

ISBN 978-3-903258-55-6

Copyright 2021 by BFW

Juli 2021

Der Bericht "Schutzwald in Österreich - Wissensstand und Forschungsbedarf" wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus erstellt (GZ: 2020-0.560.379).

Nachdruck nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung seitens des Herausgebers gestattet.

Presserechtlich verantwortlich: DI Dr. Peter Mayer, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich; Tel. +43-1-87838 0

Projektleitung: Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Alpine Naturgefahren.

Inhaltlich verantwortlich für die einzelnen Kapitel sind die jeweiligen Erstautor*innen.

Layout: Johanna Kohl, BFW

Fotos: [U1] F. Winter; [3] BMLRT/P. Gruber; [9, 19, 69, 129, 155, 174, 175, 182, 196, 199, 205] Ph. Toscani; [12] J. T. Fischer; [15] cls.fr; [16, 176, 178, 201] G. Frank; [21] G. Wieser; [31] G. Markart; [60] S. Smidt; [61] T.W. Berger; [66, 123, 169] A. Freudenschuss; [70] FAST Greifenburg; [90, 100] BFW; [105] M. Brauner; [109, 112] Ch. Scheidl; [110] M. Chiari; [118] Lackóová und Dufková; [119] E. Herzberger; [143] pikist.com/free-photo; [148] G. Hoch; [149] Th. Cech; [150] Th. Kirisits; [171] H. Fladenhofer; [197] shutterstock_1514664833

Bezugsquellen: Bibliothek des BFW; Tel.: 01-878 38 1216; Fax: 01-878 38 1250; E-Mail: bibliothek@bfw.gv.at; Online-Bestellung und Download: bfw.ac.at/webshop

Zitierung:

Freudenschuß, A.; Markart, G.; Scheidl, C. und Schadauer, K. (Hrsg.). 2021: Schutzwald in Österreich - Wissensstand und Forschungsbedarf. Langfassung. Bundesforschungszentrum für Wald, Wien: 205 S., ISBN 978-3-903258-55-6

Freudenschuß, A.; Markart, G.; Scheidl, C. und Schadauer, K. (Ed.). 2021: Protective Forest in Austria – State of Knowledge and Research Needs. Long version. Austrian Research Centre for Forests, Vienna: 205 p, ISBN 978-3-903258-55-6



 **Bundesministerium**
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus

INHALT

Vorwort	3
Zusammenfassung	4
Executive Summary	7

Schutzwald – Grundlagen

Michaela Teich, Frank Perzl, Sven Fuchs, Maria Papatoma-Köhle und Christian Scheidl Schutzfunktion und Schutzwirkung des Waldes: Schutzgüter, Risikoanalyse und Bewertung	10
Klemens Schadauer, Alexandra Freudenschuß, Ambros Berger und Thomas Gschwantner Schutzwaldmonitoring und Geoinformation	14

Schutzwald – Ökologie

Michael Englisch, Eduard Hochbichler, Georg Kindermann, Klaus Klebinder, Ralf Klosterhuber, Roland Köck und Thomas Ledermann Ökosystem Bergwald: Wachstums- und Standortfaktoren, Waldtypisierung und Wachstumsmodelle	20
Gerhard Markart, Herbert Hager, Klaus Katzensteiner, Helmut Schume und Bernhard Kohl Wasserhaushalt und Bodenschutz	29
Torsten W. Berger, Alfred Fürst, Herbert Hager und Robert Jandl Schutzwald und Immissionen – Waldsterben	59

Schutzwald – Bewirtschaftung

Manfred J. Lexer, Christian Scheidl, Silvio Schüler, Harald Vacik, Norbert Putzgruber und Frank Perzl Schutzwaldbau und Schutzwaldbewirtschaftung	68
Kurt Ramskogler, Silvio Schüler, Raphael Klumpp und Matthias Hofer Forstgenetik für Schutzwälder, Pflanzgut	76
Johann Zöscher, Nikolaus Nemestothy, Karl Stampfer und Dieter Seebacher Forsttechnik und Waldarbeit im Schutzwald	90
Jan-Thomas Fischer, Christian Scheidl, Peter Höller, Frank Perzl und Michael Brauner Schutztechnik zur Unterstützung der Schutzwirkung des Waldes	105
Thomas Weninger, Peter Strauß, Christian Steiner, Kerstin Michel und Erwin Szlezak Windschutzanlagen	117
Philipp Toscani, Walter Sekot und Hermann Peyerl Forstbetriebliche und steuerliche Aspekte der Schutzwaldbewirtschaftung	122

Schutzwald – Klimawandel

Marc Olefs, Katharina Enigl, Klaus Haslinger, Christoph Matulla und Georg Pistotnik Klimawandel mit Blick auf den Schutzwald	130
Harald Vacik und Mortimer Müller Waldbrandprävention, -bekämpfung und Nachbehandlung von Waldbrandflächen	143
Gernot Hoch, Thomas Kirisits, Peter Baier und Thomas Cech Forstschutz im Schutzwald – biotische Schadfaktoren (Insekten, Pilze, Eipilze).....	147

Schutzwald – gesellschaftliche Aspekte

Gerhard Weiß und Karl Hogl Governance von Nutzungskonflikten.....	156
Heimo Schodterer, Friedrich Reimoser, Fritz Völk und Josef Zandl Wildökologie – Wildmanagement - Wildeinfluss im Schutzwald	169
Georg Frank, Harald Vacik, Herfried Steiner, Matthias Kropf und Monika Kriechbaum Natur- und Landschaftsschutz	174
Gerhard Weiß, Walter Seher und Karl Hogl Raumordnerische Ansätze in der Schutzwaldpolitik	181

Schutzwald – Internationales

Gerfried Gruber und Stefanie Brandstetter Politische Einflussfaktoren der internationalen und europäischen Ebene auf den Schutzwald...	198
---	-----

Autor*innen-Verzeichnis

Leadautor*innen.....	202
Co-Autor*innen.....	203

VORWORT

Der Schutzwald als sogenannte „grüne Infrastruktur“ dient dem Schutz des Lebens-, Kultur- und Wirtschaftsraumes in Österreich. Er ist ein wesentlicher Teil eines integralen Naturgefahrenmanagements. Auf steilen, oft unzugänglichen alpinen Lagen verhindert oder mindert er Naturgefahrenprozesse wie Muren, Lawinen, Steinschlag und Rutschungen. Zusätzlich dämpft der Wald Hochwasserspitzen und kann vor allem im Osten des Landes den Boden vor Winderosion schützen. Um diese vielfältigen Schutzwirkungen auch optimal erfüllen zu können, bedarf es neben einer konsequenten Verjüngungsstrategie auch sehr häufig gezielter Pflege- und Nutzungseingriffe. Ebenso wichtig ist der Schutz des Schutzwaldes vor biotischen und abiotischen Schadensrisiken, wie Sturm, Schneedruck, Trockenheit, Waldbrand, Borkenkäfern oder hohen Schalenwildständen.



Florian Rudolf-Miklau

Leiter der Abteilung III/4 - Wildbach- und Lawinerverbauung und Schutzwaldpolitik im Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Das Thema Schutzwald ist geprägt durch seine vielfältigen Verknüpfungen zu anderen Themen, die eine integrale Betrachtungsweise bedingen. Das von der Bundesregierung 2019 initiierte Aktionsprogramm „Wald schützt uns!“ beinhaltet daher nicht nur konkrete Meilensteine und Projekte, auch das Thema Forschung ist zentral im Leuchtturm „Schutzwald beobachten und erforschen“ enthalten. Erst das Aufzeigen von Forschungslücken, das Feststellen von Problemen und Herausforderungen in vielen verschiedenen Thematiken und daraus abgeleitet der zukünftige Forschungs- und Entwicklungsbedarf kann zur nachhaltigen Verbesserung des Schutzwaldes in Österreich beitragen.

Es ist mir daher eine besondere Freude, die österreichweit erste, umfassende und zukunftsgerichtete Analyse und Zusammenstellung des derzeitigen Standes der Forschung und Entwicklung zum Thema Schutzwald präsentieren zu können. Er beinhaltet auch Forschungsfragen als Grundlage für die Programmierung einer integralen Schutzwaldforschung und die Bereitstellung der erforderlichen Forschungsfinanzierung. Darüber hinaus sollen interdisziplinäre Wissenschaftsnetzwerke etabliert werden, welche die Forschungsfragen präzisieren und robuste Lösungen für die zukünftigen Herausforderungen entwickeln. Grundlegende und angewandte Forschung leitet nicht nur die Lehre und Ingenieurpraxis an, sondern berät auch die Politik in den Weichenstellungen für den Schutzwald der Zukunft. Governance basierend auf wissenschaftlicher Evidenz ist der einzige Weg, den globalen Herausforderungen des klimatischen und gesellschaftlichen Wandels zu begegnen und gleichzeitig die regionalen Wirkungen und Ansprüche an den Wald zu balancieren. Der Schutzwald ist auch Lebensraum, Eigentum und Umwelt vieler Personen in Österreich, die von seiner Funktionsfähigkeit abhängig sind.

Besonderer Dank gilt dem hochkarätigen Redaktionsteam aus renommierten Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Verwaltung und Praxis und damit einer beeindruckenden Zusammenschau aller Sektoren, die im und um den Schutzwald forschen, analysieren, Notwendigkeiten entdecken und Zukunftsfragen zur Lösung seiner Herausforderungen in den Raum stellen. Ebenso richte ich meinen Dank an das Schutzwaldteam meiner Abteilung im BMLRT (Andreas Pichler, Alexander Starsich und Christoph Lainer), welches dieses Projekt hervorragend koordiniert und rasch zur Umsetzung gebracht hat.

Ihr Florian Rudolf-Miklau

ZUSAMMENFASSUNG

Im Bericht „Schutzwald in Österreich – Wissensstand und Forschungsbedarf“ haben 65 Wissenschaftler*innen aus verschiedenen österreichischen Forschungsinstitutionen und verschiedensten Fachrichtungen ihre Kompetenz eingebracht und den aktuellen Wissensstand über Österreichs Schutzwälder in insgesamt achtzehn Bereichen zu den Themen Grundlagen, Ökologie, Bewirtschaftung, Klimawandel, gesellschaftsrelevante Aspekte, rechtliche Aspekte sowie internationale Rahmenbedingungen in prägnanter Weise dargestellt. In einer Kurzfassung zu diesem Bericht wurden Wissensdefizite identifiziert und der künftige Forschungsbedarf aufgezeigt. Der vorliegende Bericht dient der ausführlicheren Darstellung und Herleitung der einzelnen Kapitel der Kurzfassung.

Österreich ist untrennbar mit dem Landschaftsbild temperierter Wälder verbunden, welches zu einem erheblichen Teil auch die kulturelle Identität Österreichs beeinflusst. Österreichs Wälder stellen ein zentrales Element der alpinen Landschaft dar und sind Grundlage für wirtschaftliche Unabhängigkeit und Wohlstand, verbessern die Lebensqualität und bieten Schutz vor den abtragenden Kräften der Natur. Bei nachhaltiger Bewirtschaftung erbringen Wälder viele gesellschaftsrelevante Leistungen wie Bodenschutz, Schutz vor Naturgefahren, erneuerbare Rohstoff- und Energiequelle, Schaffung von Arbeitsplätzen, Klimaschutz sowie der Erhaltung wichtiger ökosystemarer Dienstleistungen.

Der vorliegende Bericht betrachtet den Wald als prägendes Element der alpinen Landschaft, das vielerorts einen natürlichen Schutz vor Naturgefahren bietet bzw. diese deutlich reduziert. Die Bergwälder unterliegen seit Jahrtausenden, besonders intensiv aber seit dem ausgehenden Mittelalter, einer vielfältigen Beanspruchung und Nutzung (z.B. Waldweide, Streunutzung, Schneitelung, temporärer Ackerbau, intensive Holznutzung für den Bergbau). Erst Ende des 18. Jahrhunderts wurden intensive Nutzung und Rodung im Gebirge von französischen Wissenschaftlern als Ursachen großer Überschwemmungen „im Unterland“ erkannt. Bald schon wurde diese Erkenntnis generalisiert und

sukzessive auf den weiteren Alpenraum übertragen. Seit dem Ende des 19. Jahrhundert ist die Alpenregion im Umgang mit Schutzwäldern historisch führend und Bewirtschaftungstechniken können als Teil des europäischen Kulturguts betrachtet werden. Schutzwälder bieten einen wichtigen Beitrag zum Schutz von Menschenleben, Infrastruktur und Ressourcen vor katastrophalen Ereignissen - verursacht durch Gefahrenprozesse wie Hochwasser, Murgänge, Schneelawinen oder Steinschlag. So sind in Österreich sowie Südtirol ca. 30% der Waldfläche und in der Schweiz um die 40% der Waldfläche als Wälder ausgewiesen, deren primäre Funktion die Verhinderung dieser Naturgefahrenprozesse ist. Wald ist eine effiziente Risikoreduktionsmaßnahme, jedoch werden technische Schutzmaßnahmen im integralen Risikomanagement bevorzugt zur Schadensprävention eingesetzt, da sie allgemein als effektiver und schneller umsetzbar angesehen werden. Dies auch deshalb, weil große Wissensdefizite bei der Quantifizierung der Wirkung von Bäumen und Wäldern auf Naturgefahrenprozesse und bei risikobasierten Bewertungsverfahren unter Einbeziehung der Waldwirkung bestehen.

Wie alle Wälder stehen auch Schutzwälder in ständiger Wechselwirkung mit einer sich verändernden Biosphäre. Sie werden zunehmend mit Anforderungen an nachwachsende Rohstoffe und ressourcenorientierte Technologien sowie gesellschaftlichen Veränderungen konfrontiert. Erhöhte Luft- und damit Bodentemperaturen führen auch im Wald zu signifikanten Bodenkohlenstoffverlusten durch raschere Umsetzung organischer Substanz bzw. Freisetzung von klimarelevanten Treibhausgasen. In diesem Sinne bedeutet der Klimawandel in seinen unterschiedlichen Ausprägungen, wie Extremniederschläge, Trockenheit oder Zunahme von Störungen, eine massive Bewährungsprobe. Trockenheit wird vor allem für das Baumwachstum und die Artenverteilung eine große Herausforderung bei anhaltender Erwärmung spielen. In diesem Zusammenhang ist auch noch unklar ob bzw. wie aus Versuchen in tieferen Lagen abgeleitete Behandlungskonzepte auch auf den Berg- bzw. Schutzwald übertragen werden

können. Forstgenetische Aspekte gewinnen an Bedeutung, insbesondere in Bezug auf künftige Quantität- und Qualitätsanforderungen an Saat- und Pflanzgut und im Hinblick auf Baumarten- und Herkunftsempfehlungen. Weiterentwicklung und Optimierung waldbaulich-forsttechnischer Methoden zur Verjüngung und Behandlung der Schutzwälder wird immer wichtiger. Man sieht: der Klimawandel stellt auch im Schutzwald Herausforderungen, welche nur durch eine heuristische Herangehensweise im Sinne trans- und interdisziplinärer Anstrengungen zu bewältigen sein werden. Zum Beispiel stellt die verzögerte Wiederbewaldung im Schutzwald vielerorts ein großes Problem dar. Konzepte für die Optimierung der Baumartenwahl, rechtzeitige Verjüngung und optimale Waldstruktur, Minimierung des Naturgefahrenrisikos, optimiertes Wildtiermanagement, Anpassungen und Verbesserungen bei Wegebau und Ernteverfahren, sowie für die Entwicklung entsprechender Handlungs- und Bewirtschaftungsanleitungen und deren Verankerung über vermehrte Schulung in der Praxis sind dringend erforderlich. Die Entwicklung integraler Monitoring-Systeme für Objekt- und Standortschutzwald und vermehrte wissenschaftliche Studien zu verschiedenen Themen, wie Saatgut – Herkunftsversuche, Bodenchemie - Stoffeinträge, Wasser-

haushalt, Entwicklung nach Störungen, Wirkung des Waldes bei verschiedenen Naturgefahrenprozessen und die Erhebung flächendeckender Daten zum Schutzwald, z.B. über die Waldtypisierung, sind dringend zu intensivieren. Wesentliche Wissensdefizite bestehen schon bei Charakterisierung der standörtlichen Grundlagen. Derzeit fehlen großmaßstäbige geologische Karten für ca. ein Drittel des österreichischen Staatsgebietes. Flächige Bodeninformationen im Wald fehlen in allen Bundesländern außer Tirol, der Steiermark und Wien. Auch wird die Schutzwaldbewirtschaftung im forstökonomischen Monitoring in Österreich nach wie vor nicht explizit erfasst und steuerliche Anreize für die Schutzwaldpflege fehlen.

Zusätzlich zu unterschiedlichen Nutzungsinteressen existieren oft noch Wertekonflikte zwischen den Interessensgruppen des Forstes, der Jagd oder des Naturschutzes. In der Schutzwaldpolitik sind daher dringend Lösungskompetenz und neue Governance-Ansätze gefragt.

Auch wird die Adaption des legislativen Bereiches zu Fragen der Forstpolitik, Raumplanung und der Sozioökonomie aufgrund des Klimawandels und der sich ständig ändernden gesellschaftlichen Entwicklung entscheidend sein.

EXECUTIVE SUMMARY

In the present report „Protective Forests in Austria - State of Knowledge and Research Needs“, 65 scientists from various Austrian research institutions have contributed their expertise. The report explains the current state of knowledge, describes knowledge deficits, and defines the future research needs for Austria's protective forests in a total of eighteen topical areas, divided into fundamentals, ecology, management, climate change, and socially relevant aspects. The final chapters deal with key legal aspects and international framework conditions that affect the protective forest.

Austria is inextricably linked with the landscape of temperate forests. They are the basis for economic independence and prosperity, improve the quality of life, and offer protection from the abrasive forces of nature. If forests are managed sustainably, they fulfil many socially relevant functions such as soil protection, protection from natural hazards, renewable raw materials and energy sources, job creation, climate protection, preservation of ecosystems and thus the preservation of the alpine landscape. Forests therefore also have a significant influence on Austria's cultural identity.

The present report regards the forest as a defining element of the alpine landscape, which offers natural protection against natural hazards. For thousands of years, the mountain forests have been subject to a variety of demands and uses (forest pasture, litter use, snowfall, temporary arable farming, intensive use of wood for mining, etc.), which became particularly intense at the end of the Middle Ages. It was not until the end of the 18th century that French scientists recognized intensive use and clearing in the mountains as the cause of major floods “in the lowlands”. This knowledge was soon generalized and applied to the entire Alpine region. Historically, the Alpine region has been leading in dealing with protective forests since the 19th century. Management techniques can be seen as part of the European cultural heritage. Protective forests make an important contribution to protecting human life, infrastructure, and resources from catastrophic events -

caused by natural hazards such as floods, debris flows, snow avalanches or rockfall. In Austria and South Tyrol, around 30 % - and in Switzerland around 40 % - of the forest area are designated as forests that have the primary function to prevent these natural hazard processes.

Like all forests, protective forests are also in constant interaction with a changing biosphere. They are increasingly confronted with demands of renewable raw materials and resource-oriented technologies as well as societal changes. In this sense, climate change in its various forms, such as extreme precipitation, drought, and an increase in disturbances, represents a massive ordeal for protective forests. These challenges can only be overcome through a heuristic approach including transdisciplinary and interdisciplinary efforts.

Furthermore, delayed reforestation in protective forests is a major problem in many places. Concepts are urgently required for optimizing the choice of tree species, timely rejuvenation and optimal forest structure, minimizing the risk of natural hazards, optimized wildlife management, adapting and improving road construction and harvesting methods as well as for the development of appropriate handling and management instructions and their anchoring in practice through increased training. Monitoring and scientific studies on various topics, such as origin tests of seeds, soil chemistry - substance input, water balance, development after disturbances, review of the protective effect after natural hazard processes and the collection of comprehensive data on protective forests, e.g., forest typification, should urgently be intensified. Above all, improvements and further development in the legal domain on questions of forest policy, spatial planning, and socio-economy will be crucial.





Schutzwald – Grundlagen

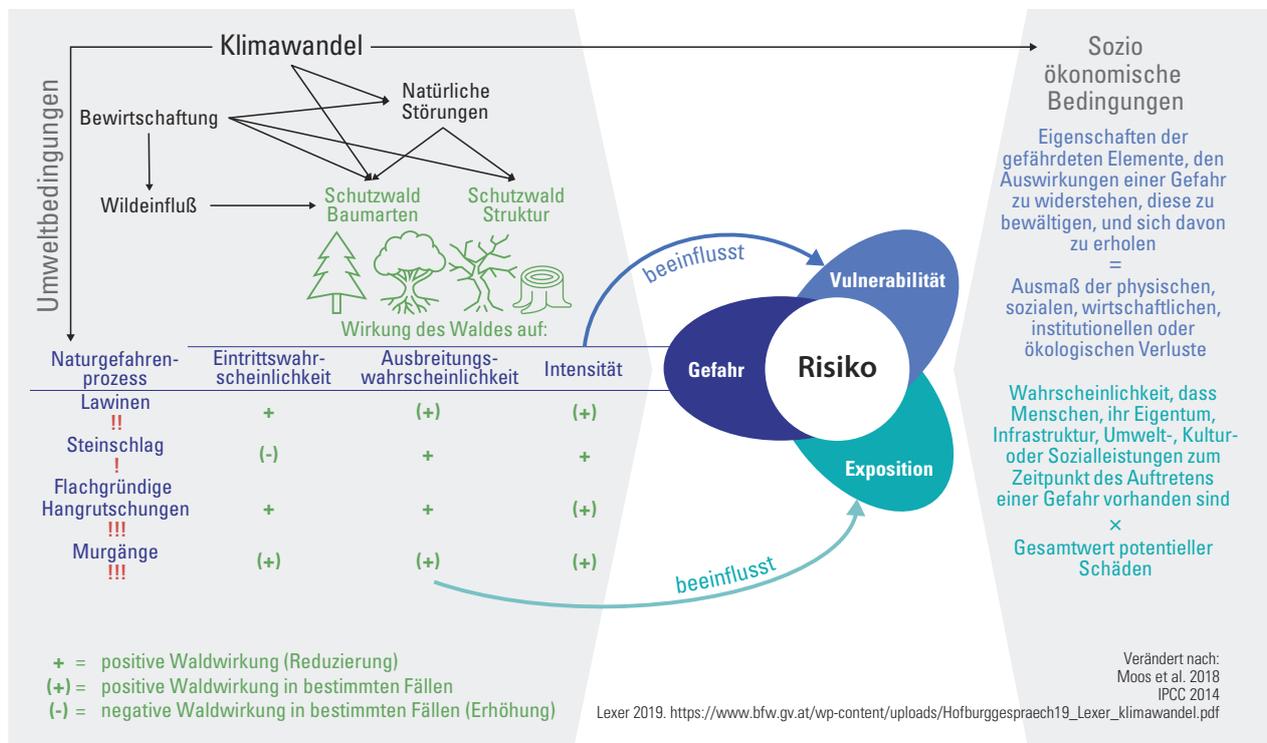
Schutzfunktion und Schutzwirkung des Waldes: Schutzgüter, Risikoanalyse und Bewertung

Michaela Teich, Frank Perzl, Sven Fuchs, Maria Papatoma-Köhle und Christian Scheidl

Stand des Wissens und Kernaussagen

Risiko ergibt sich aus der Schnittmenge von Gefahr, Exposition und Vulnerabilität (siehe Abbildung; IPCC, 2014). Wald ist eine effiziente Risikoreduktionsmaßnahme (Brang et al., 2001); jedoch werden technische Schutzmaßnahmen im integralen Risikomanagement zur Prävention vor Schäden durch Naturgefahren bevorzugt eingesetzt, da sie allgemein als effektiver und schneller umsetzbar angesehen werden. Ebenso existieren derzeit nur wenige Methoden in

Forschung und Praxis, um die Wirkung von Wald auf das Naturgefahrenrisiko zu quantifizieren (Moos et al., 2018). Eine kürzlich veröffentlichte Literaturstudie hat gezeigt, dass nur 60 von insgesamt 10.357 zwischen 1980 und 2019 veröffentlichten peer-reviewten Publikationen, die sich mit dem Risikomanagement von gravitativen Naturgefahren (Lawine, Steinschlag, flachgründige Hangrutschungen, Murgänge) beschäftigen, auch ökosystembasierte Risikoreduktionsmaßnahmen mit einbeziehen (Poratelli et al., 2020). Von diesen 60 Studien wurde nur eine in Österreich durchgeführt (Getzner et al., 2017).



Konzeptionelle Darstellung der klimatischen, ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen, die das Risiko von gravitativen Naturgefahrenprozessen im Gebirge beeinflussen, welches sich aus den Wechselwirkungen von Gefahren (dunkelblau) mit der Exposition (hellblau) und Vulnerabilität (blau) ergibt. Die Wirkungen des Waldes auf die drei Gefahrenkomponenten (Eintrittswahrscheinlichkeit, Ausbreitungswahrscheinlichkeit, Intensität) ist in grün (+/-) hervorgehoben und der Forschungsbedarf zu Wald-Prozess-Interaktionen in rot (!).

SCHUTZWALD – GRUNDLAGEN

Wald beeinflusst das Risiko in Abhängigkeit von seiner Struktur und je nach Naturgefahrenprozess vor allem durch seine Wirkung auf eine oder mehrere der drei Gefahrenkomponenten: Eintrittswahrscheinlichkeit, Ausbreitungswahrscheinlichkeit und Intensität (Brang et al., 2006).

Im Risikokontext ist es dabei nicht nur entscheidend, wie ein Wald einen Naturgefahrenprozess aufgrund seiner Struktur beeinflusst (Schutzwirkung), sondern auch wo (Schutzfunktion) (Perzl, 2014). Mit der neuen Hinweiskarte Schutzwald in Österreich und der auf Modellierungen basierenden Ausscheidung von Wäldern mit Objektschutzfunktion wurde somit ein wichtiges Instrument zur risikobasierten Schutzwaldbewirtschaftung im Rahmen eines integralen Naturgefahren-Risikomanagements geschaffen, das vor allem hilft, Ressourcen bestmöglich zu verteilen und Prioritäten zu setzen (Perzl et al., 2019; BMLRT, 2021).

Untersuchungen zur Schutzwirkung von Wäldern vor Naturgefahrenprozessen haben speziell im europäischen Alpenraum eine lange Tradition. Deren Ergebnisse werden häufig für die Kartierung von Schutzwäldern und die Erstellung von zielgerichteten Bewirtschaftungskonzepten verwendet (z.B. Frehner et al., 2005). Für Österreich fehlt allerdings bis heute eine umfassende bzw. offizielle Schutzwaldbewirtschaftungsrichtlinie (Perzl, 2008), wobei ein kürzlich durchgeführter Vergleich der in den Europäischen Schutzwaldbewirtschaftungsrichtlinien veröffentlichten Zielvorgaben für „schützende“ Waldparameter mit denen von tatsächlich aufgetreten Naturgefahrenereignissen im Wald zeigt, dass die meisten Richtlinien die Schutzwirkung des Waldes insbesondere gegen Lawinen überschätzen (Perzl & Kleemayr, 2020). Dies kommt daher, dass je nach Naturgefahrenprozess der Stand des (quantitativen) Wissens zur Wirkung des Waldes sehr unterschiedlich ist (Perzl et al., 2021) und lässt sich vor allem damit erklären, dass – je nach betrachtetem Naturgefahrenprozess – der Aufwand von Feld-, Labor-, und Modellierungsstudien verschieden und in der Umsetzung oft limitiert ist (z.B. Teich et al., 2019). In Risikoanalysen, welche Wald einbezie-

hen, stellt vor allem die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit eine große Herausforderung dar, weil Langzeitbeobachtungen fehlen und die damit verbundenen statistischen Unsicherheiten groß sind (z.B. Teich & Bebi, 2009). Numerische Simulationsmodelle oder empirische Vorhersagemodelle werden benutzt, um Intensität und Ausbreitungswahrscheinlichkeit von Naturgefahren abzuschätzen. Dies geschieht in der Regel durch Erhöhen (Lawine, flachgründige Hangrutschungen, Murgänge) oder Hinzufügen von Rauigkeitsparametern (Steinschlag), durch die Modellierung der Energiedissipation (Steinschlag) oder dem Entzug von Masse (Detrainment; Lawine) (z.B. Dorren et al., 2006; Christen et al., 2012; Schraml et al., 2015; Feistl et al., 2014; D’Amboise et al., 2021 et al., 2020). Je nach Modellierungsansatz ist es mehr oder weniger möglich, die Wirkung unterschiedlicher Waldstrukturen abzubilden (z.B. Teich et al. 2014); die Entscheidung für einen Ansatz basiert oft auf einem Kompromiss zwischen vollständiger Berücksichtigung der Schutzwirkung (Genauigkeit) und dem damit verbundenem Rechenaufwand, wobei auch hier die „Genauigkeit“, mit der die Wechselwirkungen zwischen Wald und Naturgefahrenprozess simuliert wird, von derzeit verfügbaren physikalischen Studien und Beobachtungen abhängt (z.B. Bebi et al., 2009; Scheidl et al., 2020).

Defizite

Die Berücksichtigung von Schutzwäldern im integralen Risikomanagement, sowie die Entwicklung von risikobasierten Schutzwaldbewirtschaftungskonzepten sind interdisziplinäre Aufgaben, die Wissen, Erfahrung und Methoden aus verschiedenen Forschungs- und Praxisbereichen erfordern. Forschungsdefizite bestehen dabei vor allem in folgenden Bereichen:

- Quantifizierung der Wirkung von Bäumen und Wäldern auf Naturgefahrenprozesse;
- Entwicklung von ganzheitlichen risikobasierten Bewertungsverfahren/Risikoanalysen, welche die Wirkung des Waldes besser einbeziehen/quantifizieren;

SCHUTZWALD – GRUNDLAGEN

- Berücksichtigung von Waldstandorten sowie den sozio-ökonomischen Bedingungen als dynamische (Öko-)Systeme, was längerfristig dynamische Methoden und die Darstellung der damit verbundenen Unsicherheiten erfordert.

Für die oben angeführten Punkte stellen fehlende, inhomogene und nicht aktuelle Datengrundlagen die größte Herausforderung dar. Zum Beispiel wurde beim Erarbeiten der Hinweiskarte Schutzwald in Österreich sehr deutlich, dass die derzeit verfügbaren Geodaten nicht auf die Ableitung von Risiken vor Naturgefahrenprozessen ausgerichtet sind. Insbesondere sind die räumlichen Daten zu den Schutzgütern zur Bestimmung der Exposition, inhomogen, unvollständig und oft nicht aktuell. Bestehende Planungsgrundlagen und Bewirtschaftungsrichtlinien basieren zwar auf dem derzeitigen Stand des Wissens, unterscheiden sich aber teilweise stark und könnten mit mehr Daten von gut dokumentierten Ereignissen überarbeitet werden bzw. müssen mittel- bis langfristig an sich verändernde Situationen angepasst werden.

Fehlende Daten und Studien sind auch ein Grund für bestehende Defizite im Prozessverständnis - besonders in der Interaktion zwischen Naturgefahrenprozess und Wald. Ein fundiertes Prozessverständnis ist jedoch notwendig, um bestehende Modelle zu verbessern oder neue Modellierungsansätze zu entwickeln.

Forschungsthemen

- „Optimale“ Waldstruktur zur Risikominimierung: Vor allem für die Prozesse Lawine, flachgründige Rutschungen und Murgänge fehlen Datengrundlagen, welche durch (länderübergreifende) harmonisierte Aufnahmeprotokolle zur Datenerhebung und -dokumentation, einheitliche Datenspeicherung und Feldstudien ergänzt werden sollten.
- Bewertung von Schutzfunktion und Schutzwirkung: Es fehlen Konzepte und Datenmodelle, um mit Hilfe der bestehenden Geodateninfrastruktur Schutzziele (Schadenspo-

tenziale) standardisiert abzubilden. Diese gilt es zu entwickeln und zu implementieren und die erforderlichen Geodaten zu verbessern sowie Modelle zur großflächigen Schätzung der potenziell möglichen Prozessausbreitung und des Schadenspotenzials weiterzuentwickeln.

- Schutzwirkung und Klimawandel: Die Veränderung der Schutzwirkung nach natürlichen Störungen wie Windwurf, Borkenkäfer oder Feuer sollte in Feldstudien untersucht werden, um daraus Handlungsempfehlungen ableiten zu können.
- Zukünftige Entwicklung des Naturgefahrenrisikos: Risiko ändert sich fortlaufend durch sich ändernde klimatische (z.B. Niederschlagsform und -intensität, natürliche Störungen), ökologische (z.B. Baumartenzusammensetzung, Wild), wirtschaftliche (z.B. Waldbewirtschaftung, Holzpreise), politische (z.B. Richtlinien, Subventionen) und soziale Bedingungen (z.B. Bau neuer Infrastruktur, Ausweitung der Siedlungsfläche, Erweiterung von Skigebieten), die alle Komponenten des Risikos beeinflussen. Deshalb bedarf es dynamischer Methoden auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen, um Entwicklungsszenarien darstellen und fortlaufend aktualisieren zu können.



SCHUTZWALD – GRUNDLAGEN

- Entscheidungshilfen für die Forstwirtschaft: Praktische und anwendbare „Decision Support Tools“ (Karten, Computermodelle, Richtlinien, etc.) für ein risikobasiertes Schutzwaldmanagement müssen durch die Forschung in enger Zusammenarbeit mit der Praxis erarbeitet und von der Politik unterstützt werden.

Literatur

- Bebi, P., Kulakowski, D., Rixen, C., 2009. Snow avalanche disturbances in forest ecosystems – State of research and implications for management. *Forest Ecology and Management* 57, 1883-1892.
- BMLRT, 2021: Hinweiskarte Schutzwald in Österreich. <https://www.schutzwald.at/karten/karte-standort-und-objektschutzfunktion.html>
- Brang, P., Schönenberger, W., Ott, E., Gardner, B., 2001. Forest as protection from natural hazards. In: Evans, J., editor. *The Forest Handbook Volume 2, Applying Forest Science for Sustainable Management*. Blackwell Science. p. 53-81. DOI: 10.1002/9780470757079.ch3
- Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., Thormann, J.J., Wasser, B., 2006. Management of protection forests in the European Alps: An overview. *Forest, Snow and Landscape Research* 80, 23–44.
- Christen, M., Gerber, W., Graf, C., Bühler, Y., Bartelt, P., Glover, J., McArdeLL, B., Feistl, T., Steinkogler, W., 2012. Numerische Simulation von gravitativen Naturgefahren mit „RAMMS“ (Rapid Mass Movements). *Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz* 169, 282 - 293.
- D’Amboise, C. J. L., Teich, M., Hormes, A., Steger, S., Berger, F., 2021. Modeling protective forests for gravitational natural hazards and how it relates to risk-based decision support tools. In: Teich, M., Accastello, C., Perzl, F., Kleemayr, K., editors. *Protective forests as Ecosystem-based solution for Disaster Risk Reduction (Eco-DRR)*. London, IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.99510
- Dorren, L.K.A., Berger, F., Putters, U.S., 2006. Real-size experiments and 3-D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6 (1), 145–153.
- Feistl, T., Bebi, P., Teich, M., Bühler, Y., Christen, M., Thuro, K., Bartelt, P., 2014. Observations and modeling of the braking effect of forests on small and medium avalanches. *Journal of Glaciology* 60(219), 124–38.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Getzner, M., Gutheil-Knopp-Kirchwald, G., Kreimer, E., Kirchmeir, H., Huber, M., 2017. Gravitational natural hazards: Valuing the protective function of Alpine forests. *Forest Policy and Economics* 80, 150–159.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland, 151 S.
- Moos, C., Bebi, P., Schwarz, M., Stoffel, M., Sudmeier-Rieux, K., Dorren, L., 2018. Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. *Earth-Science Reviews* 177, 497–513.
- Perzl, F., 2008. Ein Minimalstandard für die Dokumentation der Schutzwirkungen des Waldes im Rahmen der Österreichischen „Initiative Schutz durch Wald“. In: *Conference Proceedings – Internationales Symposium Interpraevent, Dornbirn*, 551-562.
- Perzl, F., 2014. Der Objektschutzwald. Bedeutung und Herausforderung. *BFW-Praxisinformation* 34, 20-24.
- Perzl, F., Kleemayr, K., 2020. Assessment of forest protection effects and functions for natural hazard processes. *GreenRisks4Alps Report D.T.1.3.2*; 2020. Available from: https://www.alpine-space.eu/projects/greenrisk4alps/deliverables/a.t1_prona/d.t.1.3.2_assessment_of_protective_effects_of_forest_2.pdf
- Perzl, F., Rössel, M., Kleemayr, K. 2019. PROFUNmap. Verbesserung der Darstellung der Österreichischen Wälder mit Objektschutzfunktion. Integration von Geodaten mit Aussagen über die Schutzfunktion des Waldes. BFW, Innsbruck. Projektbericht im Auftrag des BMNT V4. 39 p.
- Poratelli, F., Cocuccioni, S., Accastello, C., Steger, S., Schneiderbauer, S., Brun, F., 2020. State-of-the-art on ecosystem-based solutions for disaster risk reduction: The case of gravity-driven natural hazards in the Alpine region. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 51, 101929.
- Scheidl, C., Heiser, M., Vospernik, S., Lauss, E., Perzl, F., Kofler, A., Kleemayr, K., Bettella, F., Lingua, E., Garbarino, M., Skudnik, M., Trappmann, D., Berger, F., 2020. Assessing the protective role of alpine forests against rockfall at regional scale. *European Journal of Forest Research* 139, 969-980.
- Schraml, K., Thomschitz, B., McArdeLL, B.W., Graf, C., Kaitna, R., 2015. Modeling debrisflow runout patterns on two alpine fans with different dynamic simulation models. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 15(7), 1483–1492.
- Teich, M., Bebi, P., 2009. Evaluating the benefit of avalanche protection forest with GIS-based risk analyses-A case study in Switzerland. *Forest Ecology and Management* 257(9), 1910–9.
- Teich, M., Fischer, J.-T., Feistl, T., Bebi, P., Christen, M., Grêt-Regamey, A., 2014. Computational snow avalanche simulation in forested terrain. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14, 2233–48.
- Teich, M., Giunta, A.D., Hagenmuller, 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. *Forest Ecology and Management* 438, 186-203.

Schutzwaldmonitoring und Geoinformation

Klemens Schadauer, Alexandra Freudenschuß, Ambros Berger und Thomas Gschwantner

Querschnittsmaterie mit Beiträgen aus den anderen Themenbereichen des Berichtes

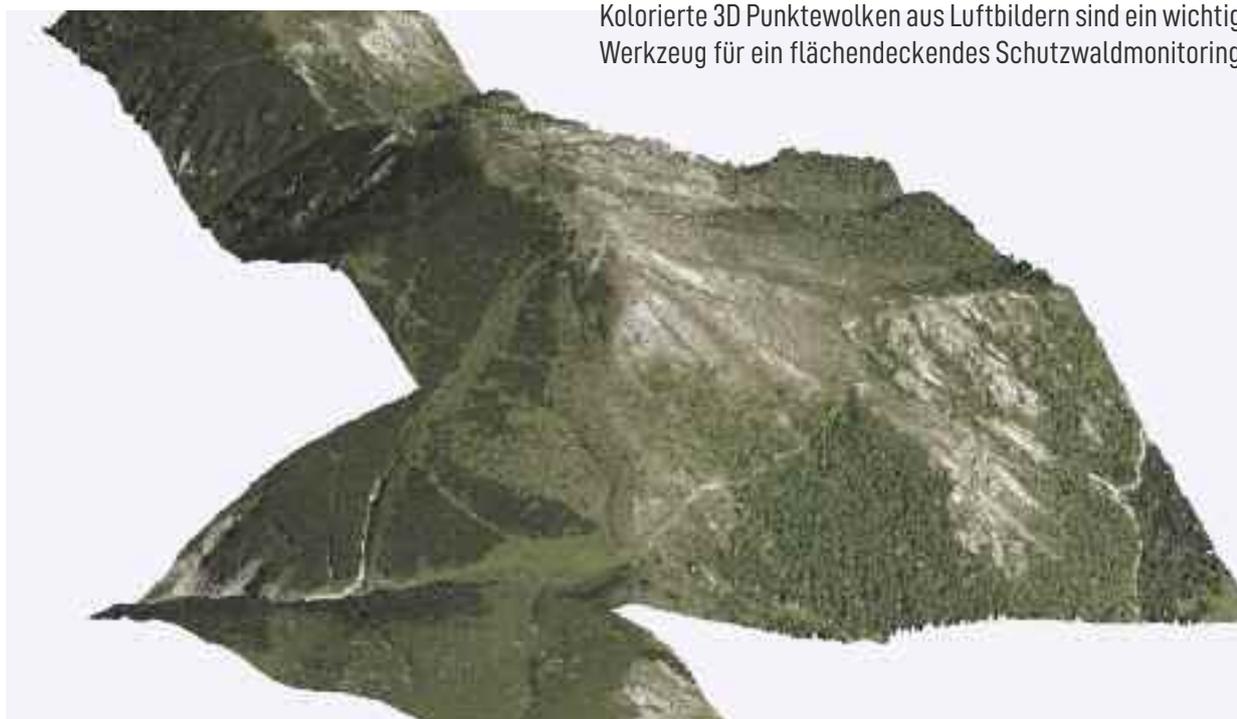
Grundsätzliches

Modernes Naturraummonitoring erfordert eine optimierte Nutzung und Kombination aller relevanten Datenquellen. Wichtig ist, dass die Daten der Funktion eines Monitorings entsprechen, also Veränderungen über der Zeit einheitlich abbilden können. Bei den klassischen Vorortmethoden ist das öfter gewährleistet als beim Einsatz moderner Fernerkundungsmethoden, deren Weiterentwicklung relativ rasch und oft ohne Einfluss der Nutzer vor sich geht. Über das naturräumliche Monitoring des Schutzwaldes hinaus sind auch sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Aspekte und entsprechende Monitoringverfahren wesentlich. Diese sind in den jeweiligen Kapiteln dieses Berichtes behandelt und werden hier nicht weiter ausgeführt.

Wissensstand

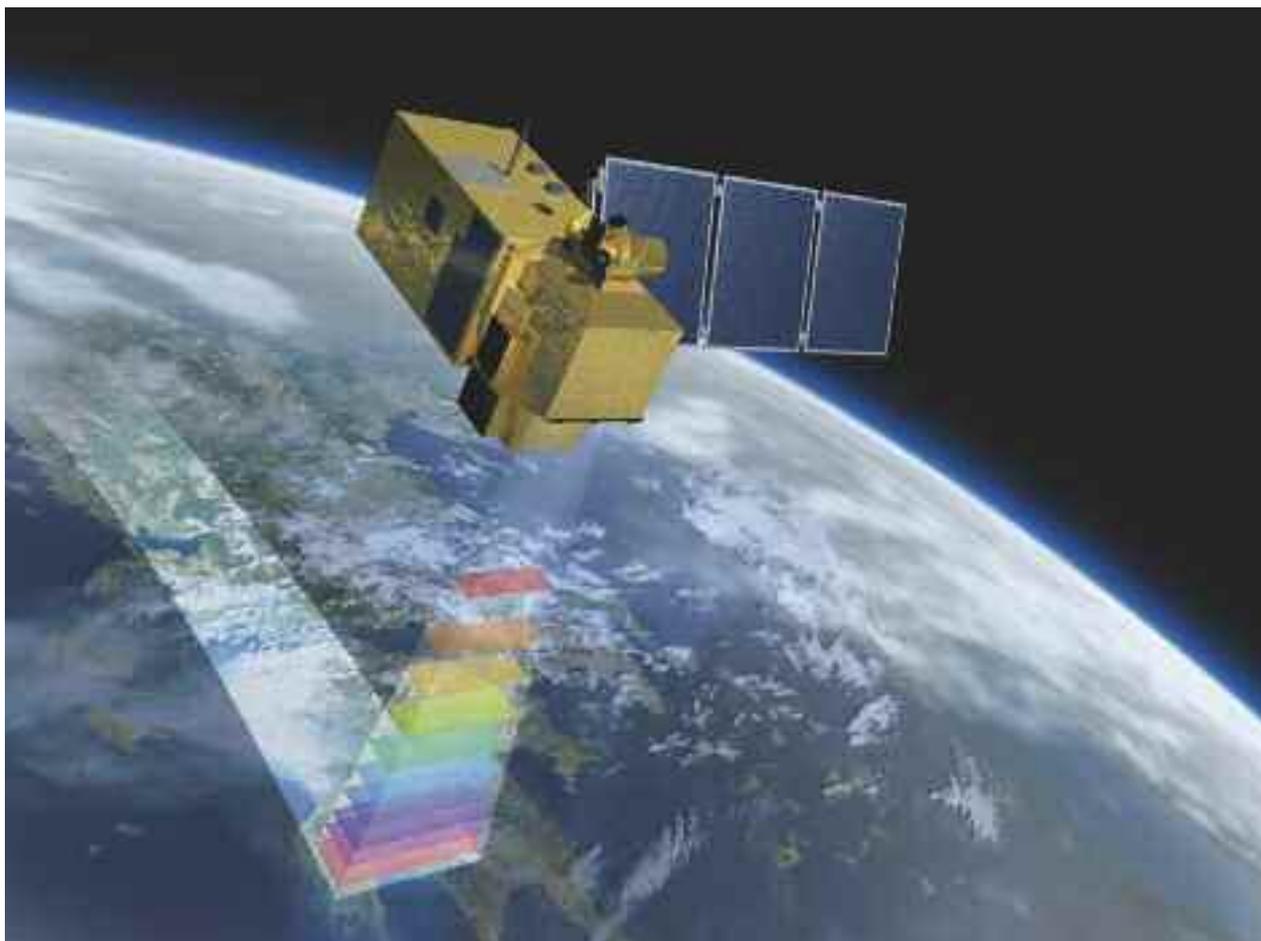
Die Herausforderungen für ein effizientes Schutzwaldmonitoring sind im Allgemeinen bekannt: Die Hauptfrage für jedes Naturraummonitoring betrifft die Kombination aus räumlicher, zeitlicher und sachlicher Skalierung der Daten.

Welche Parameter werden auf welchen Flächen erhoben und wie oft werden die Erhebungen wiederholt? Im Normalfall stehen diese drei Skalen zueinander in Konkurrenz. Je feiner eine Skala gewählt wird, umso gröber müssen die anderen sein, da in der praktischen Umsetzung eines Monitorings hauptsächlich die Kosten der limitierende Faktor sind. Daraus ergibt sich klar die Forderung nach einem Monitoringsystem,



Kolorierte 3D Punktwolken aus Luftbildern sind ein wichtiges Werkzeug für ein flächendeckendes Schutzwaldmonitoring.

SCHUTZWALD – GRUNDLAGEN



Satellitenbilder liefern zeitnahe Informationen über den Waldzustand

das aus verschiedenen Komponenten mit unterschiedlichen Skalierungstiefen besteht und dabei die verfügbaren Mittel optimal einsetzt.

Moderne Technologien ermöglichen die Skalierung der erhobenen Parameter relativ kostengünstig zu verbessern. So liefern z.B. die Sentinel2-Satelliten pro Jahr zwischen 5 und 30 brauchbare Aufnahmen für jedes 10*10 m Pixel, wobei das gesamte Bundesgebiet abgedeckt ist. Die stichprobenbasierten Erhebungen der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) haben dagegen einen Erhebungszyklus von 6 Jahren und decken mit den Probeflächen 0,08 Promille der Waldfläche ab. Dieser im Verhältnis zu Sentinel2 relativ groben Skalierung in Raum und Zeit stehen ein großer sachlicher Umfang mit hoher Detailliertheit und der Stichprobencharakter der Daten gegenüber. Mit Hilfe von statistischen Modellen können sachlich tiefgehende detail-

lierte Daten mit räumlich und zeitlich fein skalierten Daten verknüpft werden. Dadurch erhält man insgesamt ein Monitoringsystem, das in allen drei Skalen hoch aufgelöst ist.

Für ein adäquates Schutzwald-Monitoringsystem ist der sachliche Umfang der ÖWI jedoch bei weitem nicht ausreichend. Es müssen darüber hinaus für verschiedenste Themenbereiche zusätzliche Fachmonitoringverfahren eingesetzt werden. Wenn z.B. die Schutzwirkung des Waldes gegenüber Lawinen laufend evaluiert werden soll, sind die entsprechenden Indikatoren und deren Schwellwerte in einem eigenen Monitoring zu erarbeiten bzw. zu schärfen, damit sie dann großräumig, z.B. bei der ÖWI, eingesetzt werden können.

Für ein Schutzwaldmonitoring gelten spezielle Bedingungen, da steile Lagen sowohl für Vorort-



Auf die Erhebungen vor Ort kann nicht verzichtet werden.

methoden als auch für die Fernerkundung Herausforderungen mit sich bringen. So gelten etwa 25 % der ÖWI-Probeflächen im Standort-Schutzwald als unbegebar. Für die spektrale Fernerkundung mittels Luft- oder Satellitenbildern sind steile Gebiete aufgrund von Schatten ebenfalls mit Schwierigkeiten verbunden, aber auch bei Laserscanningverfahren ist die Lagegenauigkeit im steilen Gelände geringer als im Flachland.

Eine weitere Besonderheit sind einerseits langsam ablaufende Pflanzenwachstums- oder Zersetzungprozesse und andererseits abrupte und täglich mögliche Ereignisse gravitativer Massenbewegungen. Dieses breite Band an zeitlicher Skalierung muss für ein Schutzwald-Monitoringkonzept mitgedacht werden. Für eine feine räumliche Skalierung spielen auch Luftbildbefliegungen in Kombination mit Image Matching und

Laserscanning eine wichtige Rolle. Wie immer bei Fernerkundungsverfahren gibt es hier einen Trade-off zwischen räumlich extrem hochauflösenden Verfahren wie den terrestrischen Methoden (z.B. personengetragenes Laserscanning), oder den Großraumbefliegungen mit größerer Pixelauflösung aber einer bundesweiten Abdeckung. Die drohnengetragenen Systeme stehen hier dazwischen. Generell ist aber die räumliche Auflösung auch schon bei der österreichweiten Befliegung mit Pixelgrößen von 20*20 cm hoch. Bei der Anwendung von Fernerkundungsdaten muss vor allem in orographisch herausfordernden Lagen, wie im Schutzwald, die Datenqualität in Form der räumlichen Lagegenauigkeit und spektralen Homogenität berücksichtigt werden. Dabei spielen auch die großen Datenmengen und deren aufwändige Verarbeitung eine wichtige Rolle.

SCHUTZWALD – GRUNDLAGEN

Neben den klassischen drei Skalen Raum, Zeit und Sache bringt die Kostendimension zusätzliche Herausforderungen mit sich. Kosten-Nutzen-Analysen von Monitoringverfahren sind generell schwierig, vor allem, wenn es auch um die Schaffung von Bewusstsein in der Politik und der Öffentlichkeit geht. Semiquantitative Wirkungsanalysen sind leichter möglich.

Forschungsbedarf

- Entwicklung eines integralen Schutzwald-Monitoringsystems im Objekt- und Standort-schutzwald
 - » Prüfung der Integration von vorhandenen Systemen, z.B. ÖWI, BIN, Biosoil und Hora, Abschätzung des Zusatzbedarfes
 - » Qualitätsanalysen für Kartenprodukte
 - » Kosten- und Wirkungsanalysen verschiedener Monitoringvarianten

Subthemen - Monitoringverfahren:

- Evaluierung der Skalentiefe unterschiedlicher Methoden und Vergleiche mit dem Monitoringbedarf
- Analyse der Wirkung technischer Weiterentwicklung auf die Qualität von Zeitreihen

Subthemen - Sachmonitoring:

Konzepte für Monitorings

- zur Entwicklung neuer und Absicherung bekannter Indikatoren zur Beurteilung der Schutzwirksamkeit getrennt nach Gefahrenprozessen inklusive Verjüngung

- für detailliertere Information zu Gebietsabfluss bei Stark- und Dauerregenereignissen
 - auf Waldbrandflächen
 - von Borkenkäfermassenvermehrungen in schwer zugänglichen Schutzwäldern
 - von Kalamitäten zur Erhebung des Saatgutbedarfes
 - von invasiven Arten und Neobiota – neue biotische Schadfaktoren im Schutzwald
 - von Windschutzanlagen
- und Prüfung der Überlappungen und Synergien zwischen den einzelnen Sachmonitoring-Methoden

Subthemen - Beispiele mit Innovationspotenzial:

- Einsatz von Drohnen für detaillierte Waldstrukturmessungen
- Verjüngungsmonitoring mit automatischen Kameras und photogrammetrischer Auswertung
- Funksensorik im Schutzwald: z.B. Bodenfeuchte, Bodentemperatur

Literatur

Gabler K, Schadauer K. Methoden der Österreichischen Waldinventur 2000/02 - Grundlagen, Entwicklung, Design, Daten, Modelle, Auswertung und Fehlerrechnung. BFW-Berichte; Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft Nr. 35. 132 S. Wien. 2006.

Löw M, Koukal T. Phenology Modelling and Forest Disturbance Mapping with Sentinel-2 Time Series in Austria. *Remote Sensing*. 2020; 12(24):4191. <https://doi.org/10.3390/rs12244191>

Särndal CE, Swensson B, Wretman J. Model Assisted Survey Sampling. 695 S. Springer New York. 1992.





Schutzwald – Ökologie

Ökosystem Bergwald: Wachstums- und Standortfaktoren, Waldtypisierung und Wachstumsmodelle

Michael Englisch, Eduard Hochbichler, Georg Kindermann, Klaus Klebinder, Ralf Klosterhuber, Roland Köck und Thomas Ledermann

Stand des Wissens

Im Ökosystem Bergwald sind das Klima, welches den Wärmehaushalt treibt, der Wasserhaushalt sowie der Nährstoffhaushalt die wesentlichen Faktoren, die das Baumwachstum, das Baumartenartenvorkommen und die Eigenschaften eines Standortes prägen. Von besonderer Bedeutung sind im Bergwald abiotische und biotische Risikofaktoren, die teilweise anthropogen überprägt werden, sowie direkte menschliche Einflüsse.

Diese Faktoren wurden bislang zumindest über eine Umtriebszeit als relativ konstant angesehen; mit dem Klimawandel verändern sich der Wärmehaushalt, der Wasserhaushalt (Transpiration, ggf. Niederschlag und -verteilung) und in geringerem Ausmaß der Nährstoffhaushalt. Zum erwarteten Ausmaß der Veränderung von klimatischen Parametern wird auf das Kapitel Klimawandel verwiesen.

Diese Veränderungen bewirken – rechnerisch – eine Verschiebung der Waldgrenze bzw. der klimatischen Höhenstufen um mehrere 100 m nach oben (+0,65°C~ +100 m). Damit werden wesentliche, laufende Veränderungen der Waldtypen bzw. der Baumartenzusammensetzung, aber auch des Waldwachstums am konkreten Waldstandort in unterschiedlichem Ausmaß in kurzer Zeit erwartet. Generell besseres Wachstum und erhöhte Produktion von Biomasse ist gerade in höheren Bergwaldlagen ebenso zu erwarten wie Veränderungen der Wuchsrelationen und der Konkurrenzsituation zwischen den bestimmenden Baumarten, sowie in der Folge veränderte Schutzfunktionalitäten. Im Bereich des

Schutzwaldes werden sich die Wuchsbedingungen der Fichte verbessern, wie dies neuere Untersuchungen zeigen.

Auch die Baumarten Zirbe und Lärche werden von in diesen Wald-Vegetations-Zonen verbesserten Wuchsbedingungen beeinflusst. Untersuchungen bezüglich der dadurch veränderten Konkurrenzsituation zwischen den drei Hauptbaumarten der österreichischen höheren Bergwaldlagen und zu daraus resultierenden möglichen waldbaulichen Response-Strategien sind für die Entwicklung von nachhaltig stabilen Schutzwäldern von zentraler Bedeutung.

Neben Einzeluntersuchungen über Modellrechnungen stehen für einige Regionen des Bergwaldes auch höher auflösende Informationen zur Resilienz und Vulnerabilität des Bergwaldes zur Verfügung (vgl. Albrich et al. 2020). Rückkoppelungen zwischen einzelnen Störungsfaktoren (z.B. Borkenkäfer, Windwurf) sind zu erwarten (z.B. McDowell et al. 2020).

Kritische, nicht reversible Systemveränderungen im Bergwald (etwa von Nadelwaldgesellschaften zu Laubwaldgesellschaften) können bei einer Temperaturzunahme von 2°C auftreten, wie z.B. Albrich et al. (2020) mit dem Modell iLand für das Stubaital zeigen.

Die klimabedingte Waldgrenze und deren Veränderung können mit vorliegenden Temperaturparametern sehr genau modelliert werden (z.B. Körner 2014); daneben spielen aber edaphische Faktoren und die Nutzungsgeschichte ebenso eine Rolle wie die Vegetationsdynamik. Das Höhersteigen von Gefäßpflanzen wird intensiv



untersucht, eine Aufwärtswanderung von einigen 10-er-Metern gilt als gesichert (Grabherr et al. 1994; Pauli et al. 2007). Bei den Baumarten gilt hier die Zirbe als am besten untersucht, sie ist in einzelnen Regionen bereits 100-200 Höhenmeter bergwärts gewandert (z.B. Nicollussi & Patzelt (2006).

Böden in den Österreichischen Schutzwäldern

Erhöhte Luft- und damit Bodentemperaturen führen im Allgemeinen zu signifikanten Bodenkohlenstoffverlusten durch raschere Umsetzung organischer Substanz bzw. Ausgasung (klima-relevante THG), besonders auf Humusböden der Nördlichen Kalkalpen (Cristophel et al., 2013, 1-3 t.ha⁻¹.a⁻¹), oft verstärkt durch nicht standort-angepasste Bewirtschaftung oder Störungen (Matthews et al., 2017, <10 t.ha⁻¹.a⁻¹). Stickstoffimmissionen spielen nach wie vor eine bedeutende Rolle: Einerseits führen sie zusammen

mit steigenden Temperaturen zu besserem Waldwachstum, teils werden die negativen Effekte historischer Waldnutzungen ausgeglichen; andererseits wird die Zusammensetzung der Bergwaldökosysteme verändert (Dirnböck et al. 2018). Sensible Indikatoren (Flechten, Moose) sind regional bedroht.

Neuere Arbeiten weisen darauf hin (Brandstätter et al. 2020), dass Überschiebungen, Schuttbedeckungen und äolische Einträge im Bergwald eine wesentlich größere Fläche einnehmen als bislang angenommen und daher auch einen entsprechend höheren Stellenwert bei der Beurteilung von Nährstoff- und Wasserhaushalt besitzen.

Dieser Umstand zeigt, dass Boden- und Standortkartierungen speziell auch in Interessensgebieten (Schutzwaldprojekte, Einzugsgebiete für Hochwasser oder Trinkwasser-Gewinnung, etc.) von hohem Wert sind. Vor allem, wenn es um standortsbasierte Entscheidungsgrundlagen für die Schutzwaldbewirtschaftung geht, sind

räumlich explizite Datengrundlagen über Bodenbildung von zentralem Interesse. Die Datendichte bezüglich Bodentypen-Verteilung im österreichischen Bergwald würde damit verbessert werden können.

Neben klimatischen Einflüssen stellt die Pedosphäre eine maßgebliche Größe in der Charakterisierung von Waldstandorten dar. Der Boden und dessen Wasserspeichervermögen ist dabei ein starker Modifikator zum Niederschlagsangebot. Über die Porenverteilung, den Skelettgehalt und die Bodenmächtigkeit wird die Wasserspeicherkapazität eines Standortes beschrieben. Die Charakteristik des Bodens in Bezug auf Infiltration und Perkolation sowie Retention steuern dabei maßgeblich die Dynamik des Wasserhaushaltes.

Hydropedologische Kennwerte können nicht direkt im Bestand festgestellt werden, die Messung dieser Größen ist aufwendig. Pedotransferfunktionen (PTF) sind Modelle, die aus einfach messbaren Bodenkenngößen (Textur, Trockenrohdichte, Humusgehalt) die Ableitung von statischen bodenhydrologischen Kenngrößen der Porenverteilung (Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität, Totwasser) erlauben. In der dynamischen Modellierung des Wasserhaushaltes werden weiters Modelle zur Abbildung des Retentionsverhaltens (van Genuchten 1980) und Leitfähigkeitsverhaltens (Mualem 1976) von Böden eingesetzt, welche ebenfalls aus oben genannten Eingangsgrößen abgeleitet werden.

Vielfach basieren PTF auf der Datenbasis landwirtschaftlich genutzter Einheiten, für Waldstandorte ist deren Einsatz eingeschränkt möglich. Diese Einschränkungen beziehen sich vor allem auf die gegenüber der Landwirtschaft erhöhten Humusgehalte sowie die deutlich geringere Trockenrohdichte von Waldböden. Speziell für Waldstandorte entwickelte PTF (z.B. Puhmann & Wilpert 2011, Teepe 2003) existieren, auf Grund des begrenzten Stichprobenumfanges sowie des regionalgeographischen Datenbestandes lassen sich diese PTF nicht uneingeschränkt auf alle Bodenarten übertragen (Wellbrock et al. 2016, Puhmann und Wilpert

2011). Auch eine Anwendung dieser PTF auf alle Bodentypen, insbesondere auf alpine A-C Bodenformen oder spezielle Auflagehumusformen (z.B. Tangelrendzinen) kann nicht uneingeschränkt erfolgen. Bezüglich der bodenhydrologischen Bewertung problematisch erscheinen weiters Standorte, die durch sehr hohen Skelettanteil geprägt sind. Hier müssen bodenhydrologische Modelle zunehmend durch substratgeologische Modelle ergänzt oder ersetzt werden.

Ein Vergleich unterschiedlicher PTF mit hydro-pedologischen Messgrößen an 75 ungestörten Zylinderproben in der Steiermark zeigt gute Schätzergebnisse mit dem Modell nach Wösten (1999) und Teepe (2003).

Forschungsbedarf besteht, um genannte Limitierungen bestehender PTF einzugrenzen und weitgehend anwendbare PTF für Waldbestände Österreichs zu generieren. Um tragfähige Transfermodelle zu schaffen ist eine standardisierte Zusammenführung bisheriger hydropedologischer Messdaten zu einem validen Datenpool ist erstrebenswert.

Waldwachstumsmodelle

Da die Anwendung von Ertragstafeln in gemischten und ungleichaltrigen Beständen auf Grenzen stößt, wurde in Mitteleuropa etwa ab der Mitte der 1980er Jahre mit der Entwicklung von empirischen Einzelbaum-Waldwachstumsmodellen begonnen. WASIM, MOSES, PROGNAUS und CALDIS sind vier österreichische Vertreter solcher Modelle. Während die Entwicklung von WASIM und MOSES auf Daten von waldwachstumskundlichen Versuchsflächen basiert, wurde für die Entwicklung von PROGNAUS und CALDIS auf die Daten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) zurückgegriffen. Aus diesem Grund sind die beiden Letztgenannten für Anwendungen auf Inventurdaten besonders geeignet und bilden die Basis für österreichweite Projektionen zu Waldentwicklung und Holzaufkommen. Das Modell CALDIS, verwendet im Gegensatz zu PROGNAUS auch Klimaparameter

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

zur Zuwachsschätzung. Beiden gemeinsam ist, dass für ihre Parametrisierung nur die Daten aus dem Ertragswald verwendet wurden.

Neben den genannten Modelltypen steht auch das hybride Waldökosystemmodell PICUS zur Verfügung, das klimasensitiv ist sowie interagierende Störungsmodule für Borkenkäfer und Sturmschäden beinhaltet. PICUS kann sehr gut auf Basis von Inventurdaten (ÖWI) für österreichweite Projektionen eingesetzt werden.

Defizite

Waldtypisierung, Waldstandorte, Waldfunktionen

Erhebliche Wissensdefizite bestehen im Bereich der Waldtypisierung als Grundlage zur nachhaltigen, wissensbasierten Waldbewirtschaftung und Risikoabschätzung im operativen Maßstab, insbesondere im Hinblick auf die zu erwartenden Veränderungen im Klimawandel. Existierende Kartierungen sind nicht flächendeckend; die wissenschaftliche Methodik stammt aus den 50-er- und 60-er Jahren des vorigen Jahrhunderts. Diese wurde in den 90-er Jahren überarbeitet (Englisch & Kilian (Hrsg.) 1998), reflektiert jedoch zwangsläufig den heutigen Stand digitaler Datenverfügbarkeit bei weitem nicht.

Neuere auf Standortserkundung und daraus abgeleiteten Modellierungen basierende Kartierungen umfassen nur die Bundesländer Tirol und Steiermark. Eine dynamische Waldtypisierung ist derzeit nur in der Steiermark in Arbeit.

Wesentliche Wissensdefizite bestehen im Bereich der räumlich expliziten Charakterisierung der standörtlichen Grundlagen: Derzeit fehlen großmaßstäbige geologische Karten für ca. ein Drittel des österreichischen Staatsgebietes. Flächige Informationen zum durchwurzelbaren Substrat, insbesondere Überschiebungen und Schuttbedeckungen, stehen nur aus der Waldtypisierung Tirol, seit neuestem der Steiermark

und - eingeschränkt - in Vorarlberg zur Verfügung. Des Weiteren fehlen flächige Bodeninformationen im Wald in allen Bundesländern außer Tirol, der Steiermark und Wien.

Waldböden in Österreich unterliegen keiner standardisierten Kartierung, flächenhaft vorhandene Information diverser Forsteinrichtungen oder Projekte unterliegen den jeweiligen inhaltlichen und qualitativen Belangen der Betriebe oder Institutionen. Homogene flächenhafte Informationen zur chemischen und physikalischen Charakterisierung der Böden liegen in Österreich nur in den Bundesländern Tirol und Steiermark vor. Diese basieren auf Ansätzen der räumlichen Interpolation auf Grundlage vorhandener Standortaufnahmen.

Die flächenhafte Erstellung von (Boden)Datengrundlagen wird unter den Begriffen der Regionalisierung oder des digital (soil)mappings zusammengefasst. Simon et al. (2020) vergleichen einen random forest Ansatz mit einem GAM (Generalized additive model) Ansatz zur Modellierung von nutzbarer Wasserspeicherkapazität, Humusaufgabe und Bleichhorizonten. In der Steiermark werden aktuell zahlreiche Bodenkennwerte (physikalisch, hydrologisch, chemisch) mit einem KNN (künstlich Neuronale Netze) modelliert.

Basis der Regionalisierung stellen neben qualitativ entsprechenden und mit Zielwerten belegten Standortaufnahmen flächenhaft vorhandene Datengrundlagen dar, welche die Zielvariable erklären können. Im Allgemeinen beschränken sich solche flächenhaft vorhandenen Prädiktoren auf die Themenbereiche Relief/Topographie, Klima, Vegetation/Landnutzung und Geologie. Vor allem geologische Information liegt vielfach nicht in entsprechendem Inhalt vor, die Lockergesteinsgeologie als Basis der Bodenbildung muss beispielsweise über potenzielle Verwitterungsprodukte der Festgesteinsgeologie abgebildet werden. Geologische Information liegt in den meisten Bundesländern Österreichs nicht in einheitlicher Legende in adäquatem (im Rahmen der Forstplanung operativem) Maßstab vor.

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

Bodeninformationen, die chemische und physikalische Analysen beinhalten, stehen im (Berg)wald nur lokal und vereinzelt aus Forschungsprojekten und österreichweit nur aus den Daten der Waldboden-Zustandsinventur, dem Netz von ICP-Forests, Berechnungsversuchen und den Messstellen des hydrographischen Diensts zur Verfügung. Die geringe Anzahl der Messstellen lässt flächige Beurteilung von Bodeneigenschaften nicht sinnvoll zu.

Bodenansprachen mit eingeschränktem Parametersatz sowie ohne chemische und physikalische Daten sind darüber hinaus österreichweit aus den Erhebungen der ÖWI vorhanden. Bodenkundliche Informationen aus Flächen oberhalb der Waldgrenze gibt es kaum, eine begrenzte Anzahl von Bodenanalysen ist im Rahmen des nächsten Erhebungsturnus von LUCAS geplant. Informationen über Permafrost in österreichischen Böden beruhen auf Schätzungen und Annahmen.

Räumlich explizite Darstellungen zur Wasserspeicherung, den Nährstoffvorräten und dem Nährstoffumsatz im Bergwald fehlen daher weitgehend.

Die forstliche Wuchsgebietsgliederung beruht auf einer überholten Klimazeitreihe aus der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts, vor der jüngsten intensiven Erwärmungsphase. Die in der Wuchsgebietsgliederung definierten Höhenstufen-Grenzen orientieren sich an Klimadaten der 1960er Jahre und an zum Teil noch älteren vegetationskundlichen Aufnahmen und Karten. Die statische Darstellung der Wuchsgebietsgliederung von Österreich mit den abgegrenzten Wuchsgebieten und Höhenstufen hinkt demnach hinter dem Erwärmungstrend der letzten Jahrzehnte - in den Alpen im Mittel um ca. 1 °Celsius - hinterher und bedarf einer aktualisierten dynamischen Darstellung. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die nachhaltige Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut von Bedeutung.

Der Nährstoffhaushalt als Wachstums- und Standortsfaktor kann für Standorte gut charak-

terisiert werden und könnte über Pedotransferfunktionen räumlich explizit dargestellt werden, wenn die oben angesprochenen Datendefizite beseitigt würden. Zu Bodenprozessen auf Sonderstandorten existieren nur vereinzelte Untersuchungen (z.B. Bodenbiologie ↔ klimatische Extreme ↔ Verfügbarkeit von Schlüsselnährstoffen; Veränderung des C und N-Kreislaufs durch Bewirtschaftung und Klimawandel; C-Speicherung im Schutzwald; alpine Humusformen; Umsetzung von organischer Substanz im alpinen Raum). Auch hier existieren erhebliche Datendefizite.

Im Kontext des Klimawandels ist über die Dynamik des Ansteigens der Waldgrenze und der Kampfzone als Ursprungsort für viele erosive Prozesse (Lawinen, Muren, Steinschlag, etc.) wenig bekannt, speziell im Hinblick auf mögliche Hindernisse für diesen Prozess. (vgl. z.B. Scheidl et al. 2020).

Die Dynamik des Höhersteigens der Waldgrenze ist von zentralem Interesse für die Schutzwaldbewirtschaftung. In einigen Regionen kann daraus eine verbesserte Schutzwirkung gegen Lawinen, Muren oder Steinschlag resultieren. Daher sind mögliche Hindernisse für das Höhersteigen der Waldgrenze ebenso zu untersuchen (Dullinger et al. 2005) wie mögliche Strategien zur Dokumentation dieses Prozesses und zu möglichen waldbaulichen Response-Konzepten.

Auch bei der Beurteilung der Baumarteneignung existieren Wissenslücken bezüglich Autökologie (Ökophysiologie der Baumarten) wichtiger Baumarten im Schutzwald, ebenso ist die Synökologie wenig erforscht. Welche Mechanismen das Baumwachstum und die V-verjüngung tatsächlich begrenzen, ist Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion. Über Wechselwirkungen und gegenseitige Abhängigkeiten zwischen den Faktoren, die das Baumwachstum neben der Temperatur beeinflussen, und ob es bei verändertem, wärmerem Klima auch andere Wechselwirkungsmechanismen gibt, ist wenig bekannt (z.B. Holtmeier & Broll 2007). Ebenso wenig ist der zeitliche Rahmen, in diese Veränderungen tatsächlich eintreten, bekannt.

Zum Wasserumsatz in Schutzwäldern (Kronenraum und Bodenwasserhaushalt) fehlen geostatistisch fundierte Messansätze, welche die Inputgrößen mit entsprechender räumlicher und zeitlicher Auflösung darstellen können. Interzeptionsgewinne durch Nebelniederschläge und Raueisanhänge im Kronenraum von Schutzwäldern sind kaum quantifiziert (z.B. winterliche Interzeptionsmessung mit Mikrowellenextinktion).

Wenig entwickelt sind Verfahren zur flächigen Erfassung und zum flächigen Monitoring der Bodenfeuchte, von Wasserflüssen in Waldböden und der Erfassung physikalischer Bodeneigenschaften (z.B. Skelettgehalt, Gründigkeit). Dies ist derzeit mit Satelliten-Daten, über Aerogeophysik bzw. andere Verfahren nicht seriös möglich. Flächige Informationen zur Winter- und Schmelzfeuchte im Schutzwald fehlen weitgehend. Der Eintrag von Schneeschmelzwasser in die Böden der Schutzwälder stellt aber im Klimawandel eine zentrale Größe für den Bodenwasserhaushalt dar und sollte demnach in den Fokus von wissenschaftlichen Erhebungen gelangen. Gerade während sommerlicher Trockenperioden, welche im Klimawandel verstärkt auftreten könnten, kann der von Winterniederschlägen gefüllte Bodenwasserspeicher für Schutzwälder während der sommerlichen Wachstumsperiode zu einer entscheidenden Größe werden. Zur Erforschung dieser Prozesse wären terrestrische Erhebungsverfahren wie etwa Schneekurse (Koeck 2008) und beispielsweise Satelliten-basierte Erhebungsverfahren zu kombinieren, was bisher in Österreichs subalpinen Schutzwald-Gesellschaften fehlt.

Die Kenntnis über spezielle Schutzwaldbereiche in Österreichs Bergregionen, wie etwa Trinkwasserschutz- und Schongebiete oder Hochwasser-Risikogebiete, erfordern flächige Kartierungsdaten bezüglich Boden und Vegetation, um räumlich explizite Management-konzepte auf solider Datengrundlage entwickeln zu können. Bislang sind derartige Grundlagen als Wald-Hydrotop-Modell (WHM) für die Wassereinzugsgebiete der Stadt Wien (Koeck et al. 2018; Koeck et al. 2000), der Stadt Waidhofen an der Ybbs (Koeck et al. 2012b) und der Stadt

Steyr vorliegend. Weitere sind in Ausarbeitung, dennoch ist die Frage der Trinkwasser-Versorgungssicherheit (Hoy 2017) und Hochwasserisiko-Entschärfung in Österreich vor allem im Klimawandel von zentraler Bedeutung, weshalb die räumlich explizite und auf flächigen Kartierungen basierende Datengrundlage des WHM auch für weitere Wasserversorger oder Einzugsgebiete Österreichs zur Verfügung gestellt werden sollte.

Waldwachstumsmodelle

Für die Parametrisierung von Waldwachstumsmodellen wurden bislang nur Daten aus dem Ertragswald verwendet, die Daten von etwa 500.000 ha Schutzwald außer Ertrag standen bisher nicht zur Verfügung obwohl gerade in diesem Bereich die Waldfläche stark zugenommen hat. Ob die aus den Versuchen in tieferen Lagen abgeleiteten Behandlungskonzepte auch auf den Berg- bzw. Schutzwald übertragen werden können, ist nicht eindeutig geklärt. Darüber hinaus kommen im Schutzwald oftmals verschiedene Formen der Dauerwaldbewirtschaftung mit kleinflächigen Behandlungseinheiten und Verjüngung aus der Randstellung zur Anwendung. Eine umfassende waldwachstumskundliche Untersuchung solcher Bewirtschaftungsformen fehlt.

Forschungsthemen

Digitalisierung und dynamische Waldtypisierung, Standortskartierung

- Dynamische, digitale Kartierung der Waldtypen im Bergwald im operativen Maßstab als Grundlage zur nachhaltigen Bewirtschaftung und Risikoabschätzung im Bergwald, insbesondere im Hinblick auf die dauernde Erhaltung von Schutzfunktionalitäten.
- Digitale Kartierung (Digital soil mapping) von hochqualitativen Datengrundlagen zum Boden und zum Untergrundssubstrat sowie zum Wassereinfluss (Stau-, Grund- und

Hangwasser) unter Verwendung von datenbasierten Modellen.

- Räumliche explizite Darstellung über die aktuelle und zukünftige Baumarteneignung und die Projektion zonaler Waldgesellschaften im Regionalmaßstab auf Grundlage von Baumartenverbreitungsdaten nationaler Forstinventuren und überregionaler Vegetationskarten und von flächigen Klimaindikatoren („dynamisierte Wuchsgebietsgliederung“).
- Flächige Kartierung von Spezialprojektsgebieten (Schutzwaldprojekte, Wasserschutzwälder, Hochwasserrisikogebiete, etc.) zur Entwicklung von kleinmaßstäblichen Schutzwaldkonzepten, basierend auf Boden- und Vegetationsdaten (WHM-Anwendung).
- Waldtypisierung von Grabenstandorten in Hinblick auf Vermeidung beziehungsweise Milderung von Erosionsprozessen im Zuge von Extremereignissen; Grabenstandorte sind die Bereiche, wo erosive Prozesse während Starkregenereignissen beginnen können – daher ist ihre Stabilisierung mit geeigneter Vegetation von spezifischem Interesse; räumlich explizite Aussagen zur Entwicklung oder Stabilisierung der Bewaldung von Grabenstandorten.
- Dynamik des Ansteigens der Waldgrenze und der Kampfzone der Waldökosysteme, mögliche Hindernisse für diesen Prozess (land use change; Charakterisierung und räumlich explizite Darstellung „neuer“ Waldstandorte); waldbauliche Response-Strategien, um die Neubewaldung von hochsubalpinen Standorten zu ermöglichen beziehungsweise zu unterstützen; Bedeutung für Lawinen- und Hochwasserschutz.

Anlage von Versuchsflächen

- Untersuchungen zum Einfluss der Begründungsstammzahl und der weiteren Stammzahlhaltung auf Wachstum und Stabilität von Schutzwäldern durch Anlage von Versuchsflächen.
- Vergleich von Wachstum, H/D-Wert-Entwicklung und Verjüngung im Plenterwald

sowie bei Femel- und Saumschlagbewirtschaftung.

Waldwachstumsmodellierung

- Aufgrund der standörtlichen Besonderheiten von Neubewaldungsflächen ist es dringend erforderlich, das Waldwachstumsmodell CALDIS dahingehend zu adaptieren. Zuwachsdaten aus dem Schutzwald außer Ertrag stehen ab dem Jahr 2022 laufend zur Verfügung.
- Das Wachstum von Bäumen ist immer ein Kampf um Ressourcen. Ein wichtiger Aspekt in jedem Wachstumsmodell ist daher die Modellierung der Konkurrenzsituation von Bäumen. Ob in der Hochlage der Faktor „Konkurrenz“ die gleiche Wirkung auf das Baumwachstum hat wie in den tiefen Lagen, ist bisher nicht geklärt.
- Wachstumsmodelle für (Natur-)Verjüngung von Bäumen mit einem BHD unter 5 cm zur Abschätzung von Verjüngungszeiträumen insbesondere in Hinblick auf den zeitlichen Verlauf der Schutzwirkung.

Schutzfunktionalität

- Analyse und Entwicklung von Pedotransferfunktionen zur Bewertung der Wasserspeicherkapazität von alpinen Waldböden. Dies betrifft insbesondere Standorte, an denen die Wasserspeicherkapazität vorwiegend über die Humusaufgabe abgedeckt wird.
- Optimierung der zeitlichen und räumlichen Schutzfunktionalitäten im subalpinen Raum in Hinblick auf die Hauptbaumarten (Fichte, Zirbe, Lärche)
- Optimierung der Wasserschutzfunktion von Waldökosystemen (Wasser-Schutzgebiete, Wasser-Schongebiete und Hochwasser-Vermeidungs-Projektgebiete) unter Benutzung des Wald-Hydrotop-Modells (Koeck et al. 2018; Richards et al. 2012).

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

Literatur

- Albrich K., Rammer W. & Seidl R. (2020): Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests *Global Change Biology* 26: 4013–4027.
- Albrich K, Rammer W, Turner MG et al. (2020): Simulating forest resilience: A review. *Global Ecol Biogeogr* 29: 2082–2096. <https://doi.org/10.1111/geb.13197>
- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC) 1096 Seiten Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften Wien Österreich; ISBN: 978-3-7001-7699-2
- Bohn, U. et al (2003): Karte der natürlichen Vegetation Europas, Maßstab 1:2.500.000. Teile 1-3. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup
- Brandstätter, J., Englisch, M., Katzensteiner, K., Klebinder, K., Klosterhuber, R., Proske, H, Vacik, H., Wagner, T., Wilhelmy, M., Winkler, G. 2020: Erfassung und polygonbasierte flächendeckende Ausweisung hydraulischer Substrateigenschaften als Basis für eine Charakterisierung der Pedosphäre, FORSITE – Dynamische Waldtypisierung Steiermark, Tagungsband 22. Geoforum Umhausen, 118-126.
- Braun, M., Fritz, D., Weiss, P., Braschel, N., Büchsenmeister, R., Freudenschuß, A., Gschwantner, T., Jandl, R., Ledermann, T., Neumann, M., Pölz, W., Schadauer, K., Schmid, C., Schwarzbauer, P., Stern, T. (2016). A holistic assessment of greenhouse gas dynamics from forests to the effects of wood products use in Austria. *Carbon Management* 7(5/6): 271-283, DOI: 10.1080/17583004.2016.1230990
- Bugmann H., Seidl R., Hartig F., Bohn F., Bruna J., Cailleret M., Francois L., Heinke J., Henrot AJ., Hickler T., Hulsmann L., Huth A., Jacquemin I., Kollas C., Lasch-Born P., Lexer MJ., Merganic J., Merganicova K., Mette T., Miranda BR., Nadal-Sala D., Rammer W., Rammig A., Reineking B., Roedig E., Sabate S., Steinkamp J., Suckow F., Vacchiano G., Wild J., Xu CG., Reyer CPO (2019): Tree mortality submodels drive simulated long-term forest dynamics: assessing 15 models from the stand to global scale. *ECOSPHERE* 10(2).
- Christophel D., Spengler S., Schmidt B. et al. (2013) Customary selective harvesting has considerably decreased organic carbon and nitrogen stocks in forest soils of the Bavarian Limestone Alps. *Forest Ecology and Management* 305:167-176. DOI10.1016/j.foreco.2013.05.054
- Dirnböck T., Grandin U., Bernhardt-Römermann M., Beudert B., Canullo R., Forsius M., Grabner MT., Holmberg M., Klee-mola S., Lundin L., Mirtl M., Neumann M., Pompei E., Salemaa M., Starlinger F., Staszewski T., Uziębło AK. (2014): Forest floor vegetation response to nitrogen deposition in Europe. *Global Change Biology*, Oxford, (20): 429-440
- Dullinger, S., Dirnboeck, T., Koeck, R., Hochbichler, E., Englisch, T., Sauberer, N., Grabherr, G. (2005). Interactions among treeline conifers: different effects of pine on spruce and larch. *Journal of Ecology* 93, 948-957.
- Eckmüllner, O. (1990). Spielerisch durchforsten lernen: WASIM - Wachstumssimulation. *Holzwirtschaft, Wald & Holz Rundschau*, 46: 24-25.
- Englisch M. & Kilian W. (Hrsg.) 1998: Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich. FBVA-Berichte 104, 112 S.
- Englisch M., Markart G., Kohl B., Kogelbauer I., Lechner V., Nagl F., Niedertscheider K., Wawra A. 2020: Wasser im Boden. 5. Die Messstelle (Plan-Design-Theorie): Sammelband zur quantitativen Erfassung und Auswertung bodenphysikalischer Größen anlässlich 25 Jahre Bodenwasserbeobachtung In: *Wasser im Boden.*, Wien, (5): 61-82
- Fick, S.E. & R.J. Hijmans (2017): WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- GRABHERR G GOTTFRIED M PAULI H 1994: Climate effects on mountain plants, *Nature* volume 369, p.448
- Hasenauer, H. (1994). Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten- Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftenreihe der Univ. für Bodenkultur Wien, Band 8, Wien, 152 p.
- Hijmans et al. (2005): Worldclim 1.4 (historical climate conditions). *International Journal of Climatology* (25): 1965-1978
- Holtmeier, F.-K. & G. Broll (2007). Treeline advance – driving processes and adverse factors. *Landscape Online* 1, 1-33.
- Hoy, A.Q. (2017). Protecting water resources calls for international efforts. *Science* 356, 814-815 (2017).
- Kilian, W., Müller, F. & Starlinger, F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. FBVA-Berichte 82/1994.
- Kindermann, G. (2010). Eine klimasensitive Weiterentwicklung des Kreisflächenzuwachmodells aus PrognAus. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 127(3): 147-178.
- Koeck, R. (2008). Waldhydrologische Aspekte und Waldbaukonzepte in karstalpinen Quellenschutzgebieten in den nördlichen Kalkalpen. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur, Wien.R.
- Koeck, R., E. Hochbichler, H. Vacik (2018). Knowledge Management strategies for drinking water protection in mountain forests in *Handbook of Knowledge Management for Sustainable Water Systems*. M. Russ, Ed. (Wiley, Challenges in Water Management), pp. 175-195.
- Koeck, R., Hochbichler, E. (2012). Das Wald-Hydrotop-Modell als WSMS-Werkzeug im Quellenschongebiet der Stadt Waidhofen/Ybbs. Bericht im Zuge des CC-WaterS Projekts. <https://www.bmlrt.gv.at> – search for: CC-WaterS.
- Koeck, R., Mrkvicka, A., Weidinger, H. (2000). Bericht zur Forstlichen Standortskartierung, Revier Gschöder. Österreichische Nationalbibliothek, Wien.
- Körner, C. 2014: Warum gibt es eine Waldgrenze? *Biologie in unserer Zeit*, 44(4): 250-257
- Ledermann, T. (2006). Description of PrognAus for Windows 2.2. In: H. Hasenauer (Ed.), *Sustainable Forest Management - Growth Models for Europe*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 71-78.

- Ledermann, T., Kindermann, G. (2013). Modelle für die zukünftige Bewirtschaftung der Fichte. BFW-Praxisinfo 31: 16-19.
- Ledermann, T., Kindermann, G. (2017). Wie geht man mit gefährdeten Fichtenbeständen um. BFW-Praxisinfo 44: 19-22.
- Ledermann, T., Kindermann, G., Gschwantner, T. (2017). National Woody Biomass Projection Systems Based on Forest Inventory in Austria. In: Barreiro, S., Schelhaas, M.J., McRoberts, R.E., Kändler, G. (Eds.), *Forest Inventory-based Projection Systems for Wood and Biomass Availability*. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 79-95.
- Ledermann, T., Rössler, G. (2019). Fichtenbewirtschaftung unter veränderten Klimbedingungen – eine Analyse anhand des europäischen Stammzahlhaltungsversuchs in Ottenstein. BFW-Praxisinfo 49: 8-10.
- Leitgeb E., Englisch M. (2020): Waldstandorte im Klimawandel. BFW-Praxisinformation, Wien, (52): 12-14
- Matthews, B; Mayer, M; Katzensteiner, K; Godbold, DL; Schume, H (2017): Turbulent energy and carbon dioxide exchange along an early-successional windthrow chronosequence in the European Alps. *AGR FOREST METEOROL.*; 232: 576-594.
- Mauri, A., Strona, G., San-Miguel-Ayanz, J. (2017): EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. *Scientific Data* (4), 160123. Doi:10.1038/sdata.2016.123
- McDowell N., Allen C., Anderson-Teixeira K. et al. (2020): Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science* 368 (6494)
- Mualem, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12 (3): pp. 513-522
- Nicolussi K. & Patzelt G. (2006): Klimawandel und Veränderungen an der alpinen Waldgrenze aktuelle Entwicklungen im Vergleich zur Nacheiszeit BFW-Praxisinfo 10, 3-5.
- Offenthaler, I; Felderer, A; Formayer, H; Glas, N; Leidinger, D; Leopold, P; Schmidt, A; Lexer, MJ (2020): Threshold or Limit? Precipitation Dependency of Austrian Landslides, an Ongoing Challenge for Hazard Mapping under Climate Change. *SUSTAINABILITY-BASEL.*; 12(15), 6182
- ÖKS15: Climate Scenarios for Austria (1971 - 2100): <https://data.ccca.ac.at/group/oks15>
- Pretzsch, H., Hilmers, T., Biber, P., Avdagic, A., Binder, F., Bončina, A., Bosela, M., Dobor, L., Forrester, D.I., Lévesque, M., Ibrahimspahić, A., Nagel, T.A., del Río, M., Sitkova, Z., Schütze, G., Stajić, B., Stojanović, D., Uhl, E., Zlatanov, T., Tognetti, R. (2020). Evidence of elevationspecific growth changes of spruce, fir, and beech in European mixed-mountain forests during the last three centuries. *Can J For Res* 50(7): 689–703, <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0368>
- Pretzsch, H., Miren del Río, M., Biber, P., Arcangeli, C., Bielak, K., Brang, P., Dudzinska, M., Forrester, D.I., Klädtke, J., Kohnle, U., Ledermann, T., Matthews, R., Nagel, J., Nagel, R., Nilsson, U., Ningre, F., Nord-Larsen, T., Wernsdorfer, H., Sycheva, E. (2019). Maintenance of long-term experiments for unique insights into forest growth dynamics and trends: review and perspectives. *European Journal of Forest Research* 138, 165-185, <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1151-y>
- Puhlmann H, von Wilpert K (2011): Test und Entwicklung von Pedotransferfunktionen für Wasserretention und hydraulische Leitfähigkeit von Waldböden. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 12, S. 61-71..
- REITER K., KLETTNER (2007): Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: Observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel Tyrol Austria *Global Change Biology* 13(1): 147 - 156
- Richards, W.H., Koeck, R., Gersonde, R., Kuschnig, G., Fleck, W., Hochbichler, E. (2012). Landscape-scale forest management in the municipal watersheds of Vienna, Austria and Seattle, USA: commodalties despite disparate ecology and history. *Natural Areas Journal* 32 (2), 199-207.
- Scheidl C., Heiser M., Kamper S., Seidl R. (2020): The influence of climate change and canopy disturbances on landslide susceptibility in headwater catchments. *Science of The Total Environment*, Volume 742, 140588.
- Simon A., Geitner C., Katzensteiner K. (2020): A framework for the predictive mapping of forest soil properties in mountain areas. *Geoderma* 371, 114383 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114383>
- Strith A., Senf C., Seidl R., Bebin P. (2021): The impact of land-use legacies and recent management on natural disturbance susceptibility in mountain forests, *Forest Ecology and Management* 484: 118950
- Teepe R., Dilling H., Beese F. (2003): Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166, pp. 111-119, <https://doi.org/10.1002/jpln.200390001>
- Vacik H., Englisch M., Klebinder K., Klosterhuber R., Formayer H., Katzensteiner K., Lexer M.J., Dorfstetter Y., Wilhelmy M., Winkler G. (2019): Waldtypisierung Steiermark – FORSITE – Erarbeitung der ökologischen Grundlagen für eine dynamische Waldtypisierung. Poster präsentiert: Tagung des österreichischen Forstvereins, 23.-24.5.2019, Stift Seckau
- van Genuchten M.T. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44 (5): pp. 892-898.
- Wellbrock N., Bolte A., Flessa H. (eds) (2016): *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 43, DOI:10.3220/REP1473930232000. Woesten JHM, Lilly A., Nemes A., Le Bas C. (1999): Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90, pp. 169-185, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00132-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00132-3)

Wasserhaushalt und Bodenschutz

Gerhard Markart, Herbert Hager, Klaus Katzensteiner, Helmut Schume und Bernhard Kohl

Einflüsse auf den Wasserhaushalt

Niederschlagsinput auf den Waldboden

Zum Wasserumsatz von Waldbeständen in tieferen Lagen gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen, die z.T. bis ins späte 19. Jhdt. zurückreichen (z.B. Hoppe 1895 u. 1896, Engler 1919, Brechtel 1965, Delfs 1955, Weihe 1968, Schume et al. 2003a, 2003b, 2004). Mit zunehmender Seehöhe waren Ergebnisse solcher

quantitativen Untersuchungen und Messungen lange Zeit spärlich (z.B. Markart 2000, DEIMS-SDR 2021). Abbildung 1 gibt einen Überblick in welcher vielfältiger Art und Weise Bäume den Wasserumsatz am Standort beeinflussen und verändern können.

Waldvegetation reduziert den auf dem Boden ankommenden Niederschlag, in Abhängigkeit von Baumart, Baumartenkombination und Bestandesstruktur, durch den Kronenrückhalt (Kronenspeicherkapazität) um 4-6 mm pro

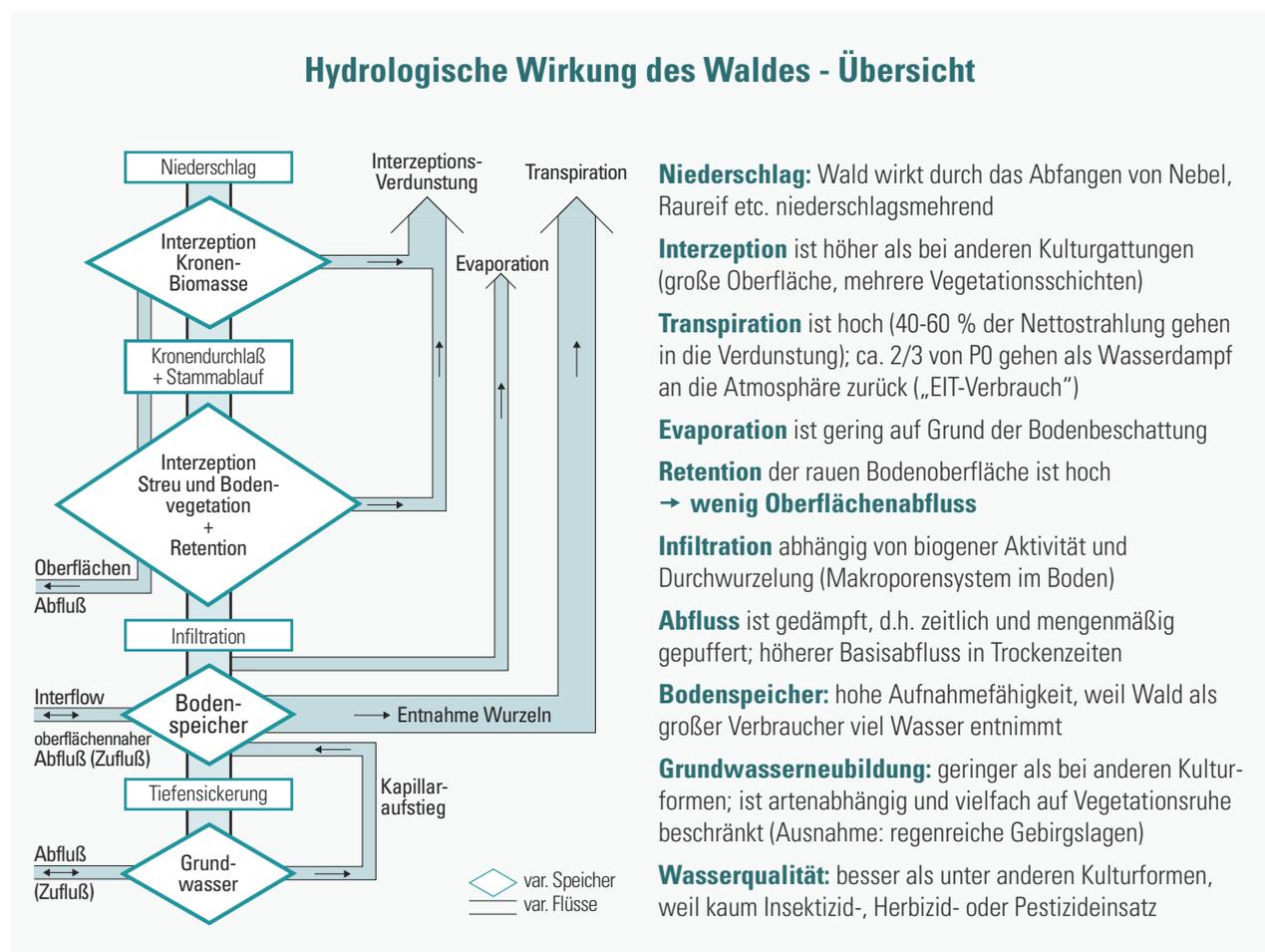


Abbildung. 1: Schematische Darstellung - Effekte des (Schutz)Waldes auf Wasserumsatz und Erosion. Quelle: Hager (2004) verändert nach Katzensteiner und Schume (2020).

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

Niederschlagsereignis (Markart 2000), aus diesem Kronenrückhalt erfolgt dann bei den jeweiligen Niederschlagsereignissen die Interzeptionsverdunstung (oder der Interzeptionsverlust). Bei geringen Niederschlägen, die die Kronenschicht nicht aufsättigen, kann der Interzeptionsverlust 80 % und mehr am jeweiligen Niederschlagsereignis gegenüber Freilandwerten ausmachen. Niederschläge die lange andauern und eine geringe Intensität aufweisen, zeigen einen prozentuell höheren Interzeptionsverlust als solche mit hoher Intensität und kurzer Dauer. Mit steigender Windgeschwindigkeit während des Niederschlagsereignisses nimmt der Interzeptionsverlust ab (Aoki 2003). Wobei über die Vegetationszeit oder das Jahr gesehen Koniferen höhere Interzeptionsverluste aufweisen als Laubbäume. Die Interzeption ist direkt mit der Blattfläche (LAI) korreliert (Abbildung 2).

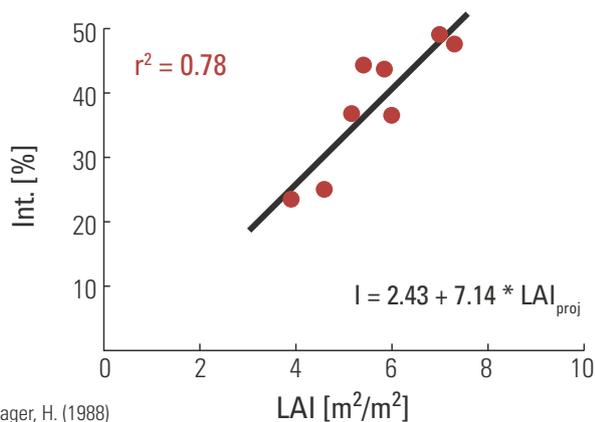


Abbildung 2: Zunahme der Interzeption durch die Baumkronen in Abhängigkeit von der Blattfläche (LAI) des Kronendaches für die Baumart Fichte (nach: Hager 1988).

Mit abnehmendem Überschildungsgrad sinkt der Interzeptionsverlust sowohl bei Einzelereignissen als auch im Jahresschnitt. Bei Häufung von Ereignissen hoher Intensität ist der Interzeptionsverlust geringer als z.B. bei Niederschlägen niedriger Intensität mit wiederholten Unterbrechungen und Abtrocknungsphasen. Bei Jahresniederschlagsmengen um 1000 mm kann der Interzeptionsverlust von Koniferen 300 mm und mehr betragen. Dabei ist der Interzeptionsverlust von Baumvegetation aber auch alpiner Zwergstrauchheide (Alpenrose, Heidelbeere

Baumart	Mittelwert	Standardfehler	n
<i>Abies alba</i>	36	2	2
<i>Picea abies</i>	35	2	25
<i>Pinus sylvestris</i>	40	5	7
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	41	5	4
<i>Betula</i> spp.	17	4	4
<i>Carpinus betulus</i>	27	2	2
<i>Fagus sylvatica</i>	22	1	30
<i>Quercus petraea</i>	23	3	4
<i>Quercus robur</i>	24	2	5

Tabelle 1: Mittlere jährliche Interzeption in Prozent des Freilandniederschlags ausgewählter Nadel- und Laubbaumarten (Literaturreview von Augusto et al. (2002); n = Anzahl der Quellen).

u.a.) im Vergleich zum Freiland (niederwüchsige Vegetation) deutlich höher. Bei Entnahme von mehr als 50% der Holzmasse in Fi/Ta/Bu-Beständen (Raum Tegernsee, Bayern) sank die Interzeption von über 25 % des Jahresniederschlags auf deutlich unter 20 % (Breitsameter 1996). Dabei müssen die Auflichtung oder der Durchforstungsgrad (> 60 %) sehr hoch sein, damit eine längerfristige (> 5 Jahre) Reduktion der Interzeptionsverluste erzielt wird (Hager 1984). Eine Übersicht über durchschnittliche jährliche Interzeptionskapazitäten verschiedener Baumarten gibt Tabelle 1. Die Interzeptionskapazität ist bei Starkregen von untergeordneter Bedeutung, hier ist das Brechen der kinetischen Energie des Niederschlags am wichtigsten. Die beste Wirkung entfaltet sich über die stockwerkartige Ableitung des Niederschlags über ein möglichst gut gestuftes Kronendach, die Strauchschicht, die Krautschicht über den Auflagehumus in den Mineralboden.

Der Stammablauf ist bei Koniferen gering (< 3 %), er liegt bei Baumarten mit glatter Rinde bei 10-15 % des Niederschlags. Dabei ist die Kronenarchitektur (der Astanstellwinkel) neben der Glattborkigkeit von entscheidender Bedeutung für das Auftreten von nennenswertem Stammablauf, auch zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Stammablauf und Kronenprojektionsfläche oder BHD (Aoki 2003). Die Mischung von Nadelgehölzen mit Stammablauf generierenden Laubhölzern kann ent-



Starkregensimulation mit 100 mm/h in einem Fichtenbestand mit dichter Zwergstrauchheide. Die raue Oberfläche und der lockere, stark durchwurzelte Boden ermöglichen rasche Einsickerung, es entsteht kein Oberflächenabfluss.

scheidenden Einfluss auf die Verringerung des Interzeptionsverlustes von Schutzwaldbeständen in der Bergwaldstufe haben und auch die räumliche Verteilung der Zufuhr von Niederschlagswasser zu den Waldböden bzw. deren Aufsättigungsmuster beeinflussen (Hager et al. 1997).

Für das Abfluss- und Infiltrationsgeschehen spielen auch die Interzeption von Schnee und die damit verbundene Interzeptionsverdunstung, die Schneeverteilung unter dem Kronendach und der Einfluss auf den Energiehaushalt (Albedo, siehe Kapitel 2) eine große Rolle (z.B. Storck et al. 2002).

Forschungsbedarf

Die Erfassung von Niederschlägen und Interzeptionsverlusten in Schutzwäldern erscheinen zwar auf den ersten Blick als relative triviale Probleme, jedoch sind bis jetzt die Forschungs- und Messergebnisse dazu eher überschaubar und stark verbesserungs- und verdichtungsbedürftig. Vor allem räumliche und heterogene

Schutzwälder bedürfen geostatistisch fundierter Messansätze, die diese hydrologischen Inputgrößen mit entsprechender räumlicher und zeitlicher Auflösung darstellen können und auch relevanten Flächenbezug aufweisen. Weiters haben die bekannten messtechnischen Probleme in der kalten Jahreszeit dazu geführt, dass sich Forschungsergebnisse zu den hydrologischen Input-Variablen als äußerst mangelhaft darstellen. Ebenso sind auch Erkenntnisse zu Interzeptionsgewinnen durch Nebelniederschläge und Raueisanhänge im Kronenraum von Schutzwäldern in den montanen und subalpinen Höhenstufen kaum dokumentiert oder erforscht. Diese Beiträge zum Wasserhaushalt von Schutzwäldern in der Nebelwaldzone, Gebirgs- bzw. Mittelgebirgslagen könnte man eigentlich als „terra incognita“ bezeichnen.

Wasserumsatz im Waldboden

Aufgrund des höheren Verdunstungsanspruches der Bäume ist bei gleichen Vorbedingungen und Standortsbedingungen in Waldböden die freie

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

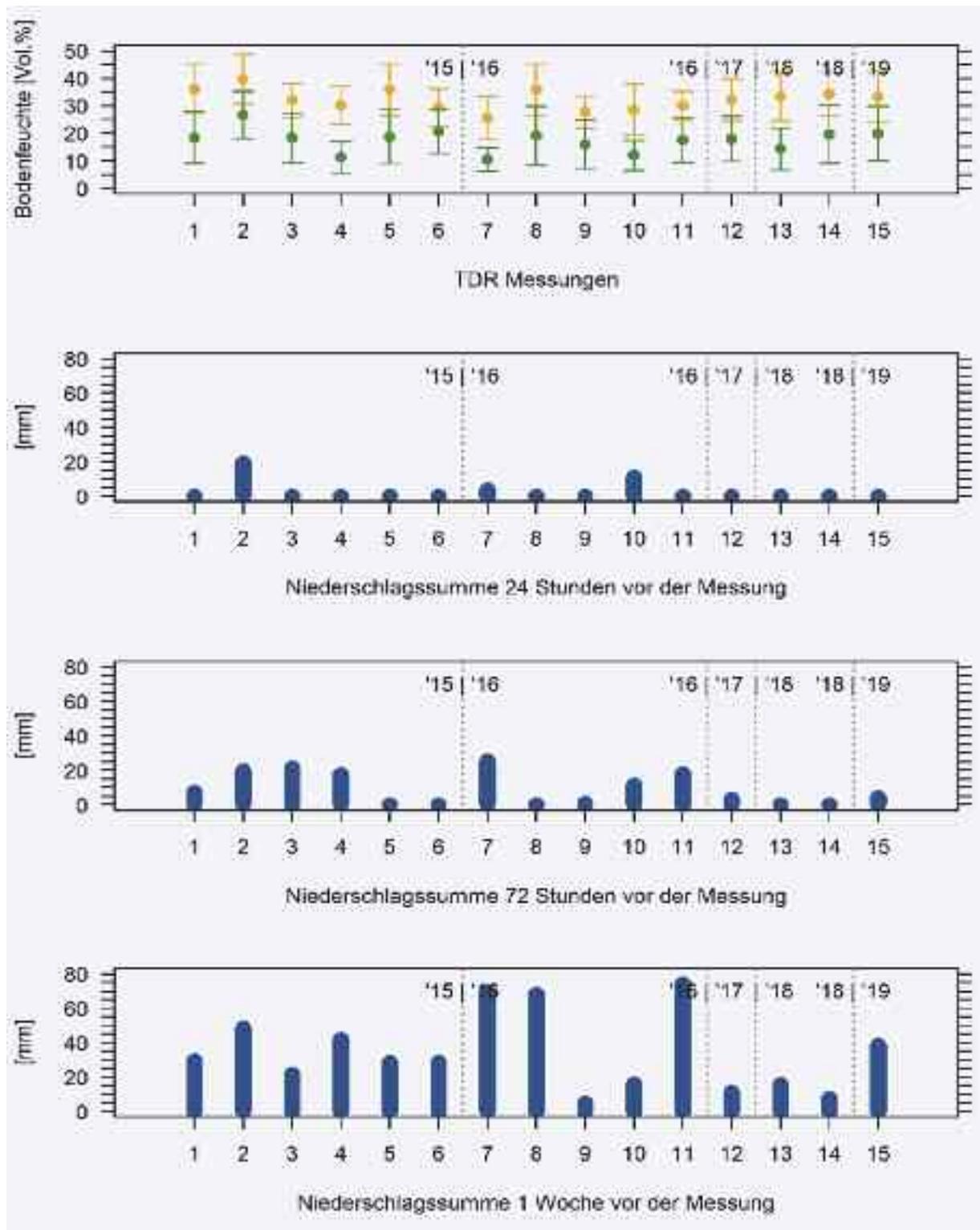


Abbildung 3 Mittlere Bodenfeuchte (0-15 cm Tiefe) in einer Hiebsfläche mit verzögerter Wiederbewaldung (gelb) und dem benachbarten Altbestand (grün) - Einzelmessungen der Jahre 2015-2019 mit den entsprechenden Vorniederschlägen.

Wasserspeicherkapazität höher als in Nichtwaldböden (Katzensteiner et al. 2011). Diese höhere Verdunstungsleistung ist nach Zhang et al. (1999) zu einem großen Teil ein Effekt der größeren Durchwurzelungstiefe in Wäldern in Relation zu anderen, z.B. krautigen Pflanzen. Der Anteil des von der Baumvegetation über die Wurzeln aufgenommenen und über Transpiration an die Atmosphäre abgegebenen Wassers ist doppelt bis viermal so hoch, wie z.B. von kurzwüchsiger alpiner Rasenvegetation. Daher ist i.d.R. auch das Retentionsvermögen von Waldböden bei Starkniederschlägen deutlich höher. Dies zeigen auch vergleichende Bodenfeuchtemessungen von Markart et al. (2020a) in einer Freifläche und benachbartem Fi-Altbestand bei unterschiedlichen Systemzuständen (trockene und feuchte Vorbedingungen, Abbildung 3). Auch ist die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit von Weideflächen und beweideten Wäldern im Vergleich zu Wäldern ohne zusätzliche mechanische Einwirkungen geringer (Chandler et al. 2018).

Hager (1988) beobachtete in seinen Fi-Versuchsflächen ein typisches Aufsättigungsmuster in Abhängigkeit vom Durchforstungsgrad. Je lockerer die Bestände, umso langsamer und weniger tiefgreifend erfolgt die Wasserentnahme aus dem Boden.

Die Jahres-Gesamt-Verdunstung (= Summe aus Interzeption und Transpiration) wird auch stark vom Jahresniederschlag bestimmt. Bei Jahresniederschlägen unter 700 mm verdunsten z.B. Fi-Bestände bis zu 90 %. Bei Jahresniederschlagswerten um 2000 mm sinkt dieser Wert auf knapp über 20 % (nach Mendel 2000).

Der Wasserbedarf der verschiedenen Baumarten ist unterschiedlich. Immergrüne Nadelwälder (z.B. Fichte, Kiefer) transpirieren auch in den zuletzt häufiger auftretenden milden Wintern erhebliche Wassermengen (Raspe et al. 2008), mit deutlich reduzierter Wasserabgabe an die Atmosphäre in den Wintermonaten und stark ansteigendem Wasserverbrauch ab Mitte März. Bei Laubbaumarten, wie Buche oder Eiche, setzt die Transpiration erst mit dem Austrieb Ende April ein (Abbildung 4).

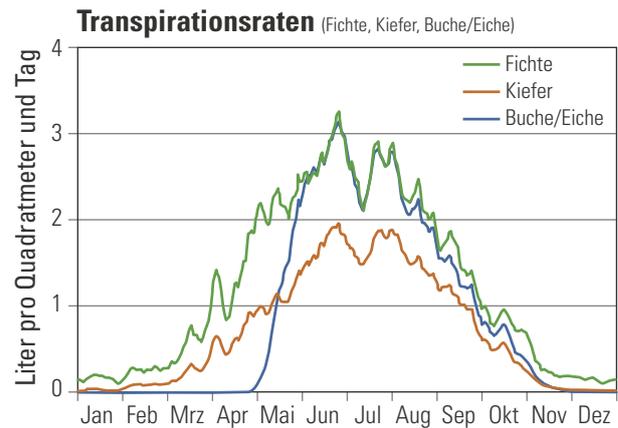


Abbildung 4: Saisonaler Wasserverbrauch verschiedener Baumarten (aus: Zimmermann et al. 2008)

Jedoch ist auch zu beachten, dass der aktuelle Verbrauch von Transpirationswasser durch unterschiedliche Wasserverbrauchsökonomie (water use efficiency WUE) der Baumarten, den jeweiligen Wurzelraum und die dort herrschende Wasserverfügbarkeit beeinflusst wird. So konnten Schume et al. (2003b) zeigen, dass reine Fichtenbestände zwar früher anfangen zu transpirieren und den Bodenwasservorrat auszuschöpfen, jedoch sind sie aufgrund ihres beschränkten Wurzelraums und höherer WUE sparsamere Wasserverbraucher als Laubholz dominierte Waldbestände, die im Vergleichszeitraum höhere Transpirationsleistungen aufweisen und den Bodenwasservorrat bis in größere Tiefen entleeren. Auch ist zu beachten, dass die Wiederauffüllung der Wasservorräte im Waldboden je nach Baumart unterschiedlich erfolgt, weil der Niederschlagsabsatz am Waldboden je nach Baumart unterschiedlich ist und sich daher auch unterschiedliche räumliche Verteilungsmuster ergeben. Bei der Laubbaumart Buche z.B. erfolgt durch den Stammablauf eine präferentielle und tiefreichende Infiltration im stammnahen Bereich, während bei der Nadelbaumart Fichte mehr Niederschlagswasser an der Kronenperipherie abgeleitet wird. Insgesamt gelangt auch durch den höheren Interzeptionsverlust bei Nadelbäumen weniger Wasser zum Waldboden als bei Laubböden.

Der Wasserverbrauch ist auch abhängig vom Bestandesalter. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich,

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

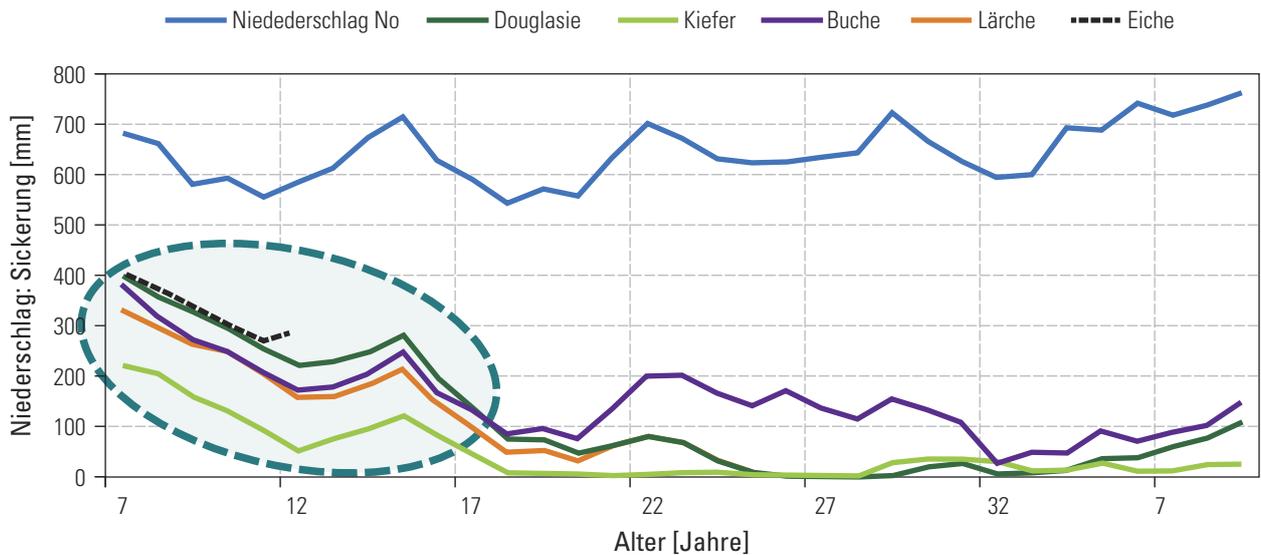


Abbildung 5: Geringerer Wasserverbrauch verschiedener Baumarten in der Verjüngungsphase (bis ca. Alter 20 J.) (aus: Müller 2013).

ist die Tiefensickerung in der Verjüngungsphase (bis ca. 20 Jahre) - unabhängig von der Baumart - aufgrund der geringeren Verdunstungs- und Interzeptionsleistung deutlich höher. Daher ist gerade unter künftigen Klimabedingungen (z.B. vermehrte flüssige Niederschläge im Spätherbst und im Spätwinter) ein Koniferenanteil in Schutzwäldern in tieferer Lage notwendig, um ausreichenden freien Bodenspeicher in diesen Perioden sicherzustellen.

Forschungsbedarf

Für die Kenntnisse zum Bodenwasserhaushalt gilt eigentlich Analoges, wie es bereits bei den Inputgrößen angemerkt wurde: zu spatio-temporalen Verteilungsmustern liegen nur wenige Ergebnisse vor und vor allem für das Winterhalbjahr ist der Informationsstand dürftig.

Abflussbildung

Der Abfluss in einem Einzugsgebiet wird maßgeblich von der pflanzlichen Aktivität, der jährlichen Verdunstung, dem Niederschlag, der Temperatur und der Bodenfeuchte beeinflusst (Ekness und Randhir 2015). Wald und Wald-

boden sind in der Hochwasserminderung entscheidend, da sie die Retention am Ort der Abflussbildung ermöglichen (Puhlmann et al. 2013). Der Zustand des Waldbodens und die Bodenvegetation bestimmen, wie viel vom Niederschlag in den Boden infiltrieren kann. Schon Engler (1919) zeigte eindrucksvoll, dass „bei Gewitterregen der Abflussfaktor für Wald immer bedeutend kleiner als für das Freiland“ ist. Eine Vielzahl von Beregnungsversuchen des BFW (Baldauf 2020, Markart et al. 2004, 2016, 2020a) und des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfU Bayern) belegen eine i.d.R. geringere Abflussdisposition von Waldstandorten gegenüber Freiland mit niederwüchsiger Vegetation (alpine Rasen, Weideflächen u.a.). Beregnungsversuche des LfU Bayern auf Kahl-schlägen ergaben Oberflächenabflusswerte zwischen 10 und 80 %, in Fichtenjungwuchsgebieten zwischen 10 und nur 50 % (Möbmer 2000). Auch für Blößen im Wald hat Rössler (2019) im Vergleich zu erfolgreich wiederbewaldeten Flächen – validiert an Daten aus Beregnungsversuchen – deutlich höhere Abflussspitzen berechnet (Abbildung 6).

Die den Abfluss verzögernde/bremssende Wirkung der Bodenvegetation verschlechtert sich in folgender Ordnung nach ihrem Wirkungsgrad:

Sträucher und Zwergsträucher > Krautschicht > Vergrasung mit hohem Anteil an Totmaterial > dünne Humusschicht mit Nadelstreu (hydrophobe Effekte) >> nackter Boden (Markart et al. 2020b).

Bei Eingriffen in den Bestand muss daher möglichst viel Schlagabraum im Bestand verbleiben und sind Schädigungen des Bodens zu vermeiden. Je rauer die Bodenoberfläche und je geringer die Verdichtung des Oberbodens durch den Eingriff, umso geringer der Anteil des an der Oberfläche abfließenden Wassers.

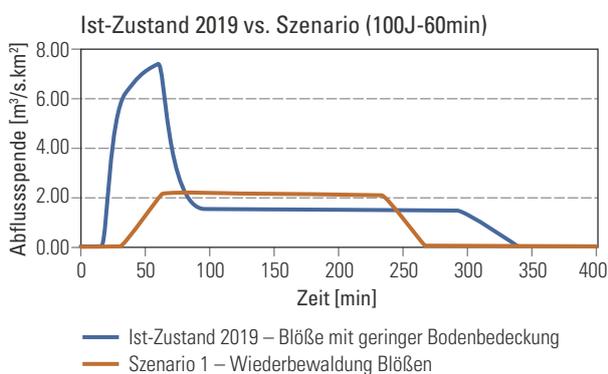


Abbildung 6: Hangskala - Abflussverhalten einer Freifläche mit geringer Bodenbedeckung im Vergleich zum Zustand nach erfolgreicher Wiederbewaldung (N-Szenario für beide Abbildungen: 100 jährl. 60 min Niederschlag = 58,3 mm; aus: Rössler 2019).

Neben den positiven Auswirkungen von Wäldern auf den Oberflächenabfluss können auch oberflächennaher und schneller unterirdischer Abfluss eine erhebliche Rolle spielen, insbesondere bei Böden mit begrenzter Durchlässigkeit oder stauenden Schichten, z.B. periglazialen Deckschichten, flachgründigen Böden über darunter liegendem Festgestein - generell, wenn weiche Schichten über härteren liegen. Sehr oft sind auch Schutzwaldstandorte in steileren Hanglagen durch einen Bodenprofilaufbau gekennzeichnet, der sich aus Hangfließerden und Verwitterungsschutt in mehreren Stockwerken zusammensetzt, wobei durch den Schwerkrafttransport das Grobskelett eingeregelt wird, sodass eine „Abpflasterung“ entsteht und damit ein oder auch mehrere bevorzugte Zwischenabflusshorizonte auftreten können (Holzmann et al. 1998). Auch über dem Staukörper wurden von Jost et al. (2012) in fichten- und buchen-dominierten Waldbeständen auf mäßig geneigten

Pseudogley-Böden Fließgeschwindigkeiten im Untergrund von 5 bis 35 m d⁻¹ gemessen. In Waldböden mit oberflächennahen Makroporen (Wurzeln, Klüfte, Schwundrisse...) sind mittlere Fließgeschwindigkeiten von 500 m d⁻¹ und darüber zu erwarten (Mosley 1982, Weinmeister 1991). Makroporen im Boden (Hohlräume im mm- bis dm-Bereich) ermöglichen rasche Tiefsickerung, jedoch unter Umständen auch den raschen lateralen Zwischenabfluss zum Vorfluter. Für eine entsprechende Reaktion ist jedoch eine Mindestmenge an Niederschlag notwendig (Dauerregenereignisse) (Schwarz 1986).

Untersuchungen von Prenner et al. (2019) in sechs österreichischen Einzugsgebieten belegen, dass der Grad der Vorbefeuhtung ein maßgeblicher Faktor für die Eintrittswahrscheinlichkeit von Wildbachereignissen ist. Bei Ekness und Randhir (2015) hatte ein Anstieg der Feuchte um 1 % einen Anstieg des Abflusses um 5 % zur Folge. Aus der Kombination hohe Vorfeuchte, geringer freier Bodenspeicher und hoher Zwischenabfluss kann eine „Überlastungssituation“ für Waldstandorte entstehen (Abbildung 7). In solchen Fällen nähert sich das Abflussverhalten von Waldflächen jenem der umgebenden waldfreien Bereiche an (Hegg 2006). Doch auch bei sehr hohem N-Angebot ist aufgrund der Druckausbreitung in stark verfüllten Böden eine vollständige Sättigung vor allem bei Waldböden in Hanglage kaum möglich. Durch die makroporösen Strukturen kann das am oberen Hang versickernde Regenwasser „altes“ Wasser aus dem unteren Hang in Bachnähe verdrängen und dem Gewässer zuführen (Rode und Wenk 2005).

Sekundärwälder - d.h. die natürliche oder halbnatürliche Vegetation, die sich nach der Entfernung oder Umwandlung von primärer natürlicher Waldvegetation entwickelt - weisen geringere Abflusskoeffizienten und geringere Oberflächenfließgeschwindigkeiten auf als Plantagenwälder/Aufforstungen, die nur aus einer Baumart bestehen (Wang et al. 2012).

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

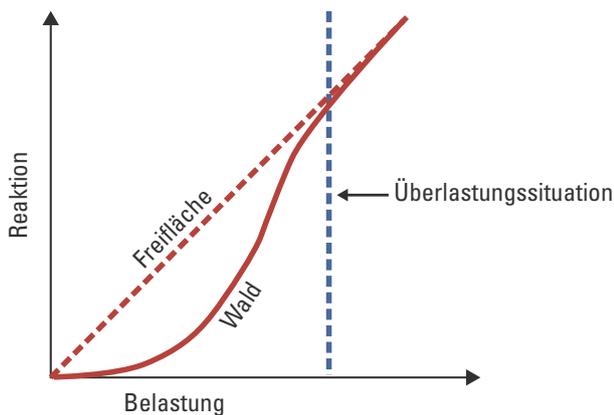


Abbildung 7: Auswirkungen von Wald auf die Abflussbildung im Vergleich zu Freiflächen in Abhängigkeit vom Niederschlagsangebot (Menge und Dauer des Ereignisses = Belastung). Reaktion = Oberflächen- und Zwischenabfluss, der mitunter auch in (flachgründigen) Lockersedimentrutschungen resultiert. Solche Überlastungssituationen, die Hochwasserereignisse auslösen, treten auf, wenn die Kapazitätsgrenzen von Interzeption und verfügbarem Bodenspeicher überschritten werden (nach Hegg (2006) - verändert).

Waldbewirtschaftung und Landnutzung können den Zeitpunkt und die Menge des Wassers, das über die verschiedenen Abflusswege (Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss, Tiefensickerung) in den Vorfluter eingeleitet wird, und vor allem die Fließwege selbst massiv verändern (Eisenbies et al. 2007). So führen z.B. Kahlschläge zu einer Zunahme des Abflusses, insbesondere auf Abfluss empfindlichen Standorten (Breitsamer 1996, Führer 1990, Moeschke 1987, Markart et al. 2020a, 2020b). Zusätzliche Belastungen des Waldbodens, z.B. eine langfristige Beweidung, verschlechtern das Abflussverhalten und die Infiltrationscharakteristik von Waldstandorten deutlich. Entgegen anderen Interpretationen, z.B. stellen Mayer et al. (2004) Rinderweide im Wald bei angepasster Viehdichte als sinnvolles Nutzungssystem dar, konnte bei einer Vielzahl an Berechnungen des BFW kein Unterschied im Abflussverhalten zwischen beweideten Grünlandflächen und intensiv beweideten Wäldern festgestellt werden. Nivellierte Waldböden mit mittlerem bis hohem Feinkornanteil zeigen bei sofortiger Belastung oder bei jahrelanger mechanischer Beanspruchung (Fahrzeugverdichtung, Beweidung) sehr hohe Abflussbeiwerte

(Markart et al. 2004). Dabei sind durchaus Unterschiede in der räumlichen Anordnung und Verteilung von Bodenverdichtung durch Weidegang und den Einsatz von Forstmaschinen zu verzeichnen. Denn der Weidegang erzeugt im geneigten Gelände im Extremfall Verdichtung, die der Hangschichtenlinie folgt, und erzeugt Wasserretention an den sogenannten „Weide- oder Viehgangln“, während Maschineneinsatz zu verdichtenden Fahrspuren führt, die Hangschichtenlinien queren. Im besten Fall haben die Fahrspuren geringes Gefälle, in schlechteren Fällen sind sie steiler abfallend und damit präferentielle Linien für schnelleren Oberflächenabfluss und Bodenerosion. Die Abflussreaktion des Oberbodens bei Starkregen, ist an solchen verdichteten Standorten weitgehend von der des darunter liegenden Substrats entkoppelt. Forststraßen, Rückegassen oder auch Schipisten stellen massive Eingriffe in das Abfluss- und Erosionsverhalten von Hängen dar (Pereira et al. 2015, Wemple et al. 1996).

Waldbestände sind nur begrenzt in der Lage Hangwasser (Oberflächen- und auch Zwischenabfluss) aus höher gelegenen (waldfreien) Bereichen zu puffern, diese Abflüsse werden rasch linear dem Vorfluter zugeführt. Neben dem erhöhten Oberflächenabfluss auf der technisch veränderten Fläche selbst und im Bereich der Entwässerungsanlagen werden auch hohe Anteile des unterirdischen Abflusses aus Hängen „angefahren“. Um 1 ha umgewandelte Waldfläche (eingeebener, gestörter Waldboden) zu kompensieren, bzw. um diese Verschlechterung rechnerisch zumindest teilweise auszugleichen, müsste der Abflussbeiwert auf einer direkt darunter liegenden Waldfläche von mindestens 5 ha von 0,2 auf unter 0,1 gesenkt werden (Kohl et al. 2009). Tatsächlich ist eine Kompensation wesentlich aufwändiger, da der Abfluss auf diesen (teil-)versiegelten Flächen bzw. aus den Entwässerungssystemen oder Durchlässen sofort linear wird (Konzentration in den Tiefenlinien) und die darunter liegenden Flächen linear durchschneidet. Zudem sind Waldbestände nur begrenzt in der Lage konzentrierten Oberflächen- und Zwischenabfluss aus überliegenden waldfreien Oberlieger-Bereichen zu puffern. In der

Regel ist eine sehr lange Fließstrecke notwendig (oft hunderte von Metern), um solche konzentrierten Oberflächenabflüsse zumindest teilweise zu reinfiltrieren (Markart et al. 2020b).

Skalenfrage – von der Baum- über die Hangskala zur Einzugsgebietsebene

Die Waldwirkung ist vom Ausmaß des Ereignisses abhängig. Zahlreichen Studien zufolge ist die retendierende bzw. abflussmindernde Wirkung der Waldvegetation bei Dauerregenereignissen und bei längeren konvektiven Ereignissen in großen Einzugsgebieten ($> 100 \text{ km}^2$) nur gering (z.B. Chandler 2018, Hegg 2006, Soulsby et al. 2017). Jedoch wird in der Literatur immer wieder darauf hingewiesen, dass Hochwasserspitzen in kleinen bewaldeten Einzugsgebieten ($< 10 \text{ km}^2$ Fläche) deutlich verzögert auftreten und generell niedriger sind (z.B. Cosandey et al. 2005, Engler 1919). Feldbeobachtungen nach den katastrophalen Niederschlagsereignissen vom 22./23. August 2005 im Bregenzerwald zeigten, dass entsprechend bewirtschaftete Schutzwälder auch bei Dauerregen oder längeren konvektiven Regenereignissen eine den Abfluss reduzierende und Hang stabilisierende Wirkung ausüben, sie können den Feststoffeintrag aus lateralen Massenbewegungen reduzieren und damit das Potenzial für Murgänge verringern (Markart et al. 2007). Den Ergebnissen aus dem ITAT4041-Projekt BLÖSSEN (Markart et al. 2020a) zufolge ist auch in Einzugsgebieten mit geringem Waldanteil eine deutliche abflussmindernde Wirkung des Waldgürtels zumindest auf Teileinzugsgebietsebene und auf der Hangskala gegeben. Häufig werden jedoch über Jahrzehnte gesetzte Waldverbessernde Maßnahmen durch kurzfristige technische Eingriffe (z.B. Forstraßenbau) egalisiert (Kohl et al. 2009).

Langzeit-Monitoring

Gezieltes Monitoring zum Einfluss der Waldbewirtschaftung auf den Abfluss wird derzeit in Österreich nicht betrieben. Folgende Institutionen betreiben hydrologische Testgebiete (Aufzählung ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- BOKU – Institut für Alpine Naturgefahren (IAN): Lattenbach bei Imst (Murenbeobachtung), Schmittenbach bei Zell am See (Salzburg)

- BOKU – Institut für Waldökologie (Kreisbach bei St. Pölten, Niederösterreich)
- BFW – Institut für Naturgefahren: Lizumbach, Mölsbach (Wattental, Tirol), Gradenbach (Kärnten), Ponholzbach (Bucklige Welt, Niederösterreich)
- Umweltbundesamt (UBA) – Ökosystem- und Luftgütebeobachtung: Zöbelboden (Reichraminger Hintergebirge, Oberösterreich)
- Universität Innsbruck, Institut für Geographie - Brixenbach (Tirol)

Diese Einzugsgebiete ließen sich mit zusätzlichem Aufwand um Untersuchungen zu forsthydrologischen Fragen erweitern.

Die Abt. III/4 des BMLRT und die WLV, Sektion Oberösterreich, planen die Einrichtung eines Testgebietes (Rindbach bei Traunkirchen in OÖ) in dem der Themenkomplex Wald – Klimawandel, Naturgefahren, Jagd & Wildmanagement langfristig und umfassend beobachtet und bearbeitet werden soll.

Das BFW, Institut für Naturgefahren in Innsbruck, hat in ca. 40 Regionen/Einzugsgebieten des Ostalpenraumes Starkregensimulationen durchgeführt. In diesem Datenpool ist auch das Abflussverhalten einer Vielzahl unterschiedlicher Waldflächen dokumentiert.

Forschungsbedarf

- Waldwirkung auf den Gebietsabfluss bei Starkregenereignissen: Diese Wirkung wird derzeit überwiegend nur über Niederschlag-/Abfluss-Modelle, Wasserhaushaltsmodellierungen oder Auswertung von Pegeldata berechnet und in der Literatur insbesondere auf der Meso- ($< 10 \text{ km}^2$) und der Makroskala ($> 100 \text{ km}^2$) kontroversiell diskutiert. Zur Objektivierung dieser Frage wären verstärkt Dauerbeobachtungen in kontinuierlich beobachteten Einzugsgebieten mit entsprechender Messausstattung notwendig.
- Der Effekt invasiver Neophyten (insbes. Drüsiges Springkraut) und ihre Wirkung auf den Wasserhaushalt von Beständen ist ungeklärt. So bildet z.B. das Drüsige Springkraut bei hohem Anteil an oberirdischem

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

Pflanzenkörper nur ein sehr gering entwickeltes Wurzelsystem aus. Derzeitige Beobachtungen lassen verzögerte Wiederbewaldung, höhere Instabilität von steileren Hängen aufgrund höherer Vorbefeuchtung gegenüber Waldbestockung, sowie ein höheres Erosionspotenzial z.B. bei Springkraut aufgrund der verdämmenden Wirkung bei gleichzeitig hohem Abstand der einzelnen Individuen erwarten.

- Eine Verbesserung der Prozesskenntnis zum Komplex Waldwirkung – Rutschungen – Einfluss verschiedener Baumarten / Wurzelsysteme und Bewirtschaftungsarten auf den Zwischenabfluss ist notwendig. Wie entwickeln sich präferenzielle Fließwege im Boden und im oberflächennahen Substrat? Wichtig ist die Entwicklung von Methoden zur Erfassung der Geometrie dieser Makroporensysteme und deren interner Vernetzung. Daraus ableitbar wären neue Erkenntnisse zur Hangstabilisierung durch die Baumvegetation und für die Modellierung rascher Abflüsse im Boden.
 - Aufgrund des Klimawandels (potenziell höhere Waldgrenze) ergibt sich ein höheres Potenzial der Abflussminderung durch Hochlagenaufforstungen. Eine Evaluierung der hydrologischen Wirkung (Änderung des Wasserumsatzes) der bisher durch WLW und Forstdienste erfolgten Hochlagenaufforstungen in Wildbacheinzugsgebieten bzw. in Gebieten mit hohem Abflusspotenzial ist notwendig.
- Eine solche ist bisher lediglich für die von der WLW durchgeführte Integralmelioration im vorderen Zillertal durch das BFW erfolgt.
- Es besteht Forschungsbedarf zu den Auswirkungen von Störungen (Windwurf, Schneebruch, Massenvermehrungen von Schadorganismen, u.a.):
 - » Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse unmittelbar nach dem Ereignis auf den Standort und (Teil)Einzugsgebiete
 - » Regenerationsverhalten von Störungsflächen (insbesondere Windwurfflächen) – Auswirkungen verzögerter/rascher Wiederbewaldung auf die Hang-Hydrologie.
 - » Auswirkungen großflächiger Windwürfe auf die künftige Abflussreaktion und die Stabilität von Hängen in Wildbacheinzugsgebieten (Bsp. Osttirol, Kärnten...)
 - Auswirkungen verzögerter Wiederbewaldung nach Hiebsführung oder Störungen (Windwurf, Schneedruck, Kalamitäten durch Schädlinge) auf den Wasserumsatz, das Abflussgeschehen, die Bodenentwicklung, die Hangstabilität und das Geschiebe-/Murenpotenzial.
 - Nachwirkungen historischer Landnutzung (Waldweide, Streunutzung, Schneitelung u.a.) auf die aktuelle und die künftige hydrologische Reaktion von Schutzwäldern.
 - Zwischenabfluss (ZA) im Schutzwald als Treiber für Hangversagen und als abflusserhöhende Komponente bei Dauerregen.



Abbildung 8: Sekundäre Vegetation an der Waldgrenze beeinflusst Schneeabsatz und Sickerwasserangebot.
© K. Katzensteiner

Mögliche Fließgeschwindigkeiten, mögliche Beiträge aus dem ZA, mögliche Porenwasserdrücke etc., Einfluss unterschiedlicher Baumarten auf Zwischen-abflussprozesse.

- Vorfeuchte und Baumartenkombination – Einfluss auf das Abflussgeschehen im Wald.
- Standortswidrige / klimasensitive Baumarten im Schutzwald – Einfluss auf Bodeneigenschaften, Abflussbildung und Hangstabilität.
- Bedeutung von nicht bewirtschafteten „Pufferstreifen“ auf Abfluss und Sedimentfracht. Anlage von Versuchsflächen für die optimale Zusammensetzung und Gestaltung der Vegetation von Pufferstreifen.
- Bedeutung räumlicher Verteilung sekundärer Sukzession auf Wasserdargebot und Abflussgeschehen (Abbildung 8)

Effekt von Vegetation/Artenzusammensetzung und Bestandesstruktur

Die verschiedenen Baumarten nehmen über ihr Wurzelsystem Einfluss auf:

- die Bodenstruktur und die Größe des nutzbaren Speichervolumens
- die Infiltration und das unterirdische Abflussgeschehen.

Über die Streuqualität beeinflusst die Baumart:

- Humusform und die organische Substanz des Bodens
- das Bodenleben und den Porenraum des Bodens

Neben dem Kronendach können große Niederschlagsmengen auch im Auflagehumus gespeichert werden. Dieses Speichervermögen ist direkt proportional zur Masse (Mächtigkeit) der Auflage. Das Speichervermögen von Humusauflagen unter Koniferen ist in der Regel höher (vgl. Abbildung 9), es wird im Ereignisfall maßgeblich vom Grad der Vorbefeuchtung beeinflusst.

Heinkele et al. (2020) beobachteten für die Baumarten Ei, Fi, Ki durchwegs sehr kurze Eindringzeiten der Wassertropfen (nur wenige

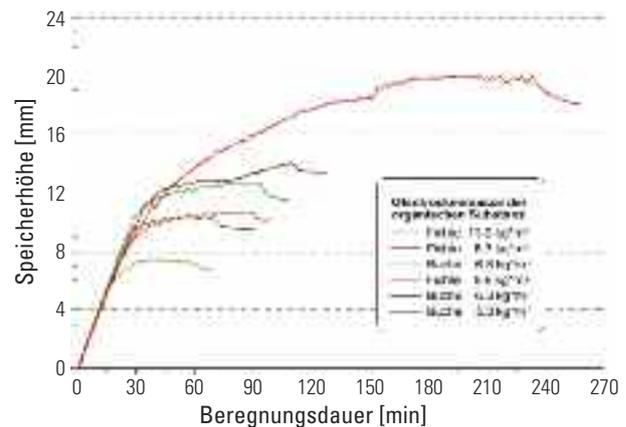


Abbildung 9: Speicherauffüllung von Auflagehumus unter Fichte und Buche in Abhängigkeit von Masse (Mächtigkeit) der Humusdecke. Beregnungsintensität 20 mm h⁻¹; Ausgangsfeuchte 40 % der max. Speicherhöhe. Aus: Hager et al. (1997).

Sekunden) durch die F- und H- Horizonte des Auflagehumus in den Mineralboden. Auf Einzelstandorten lagen diese Werte jedoch für Ei und Ki jeweils bei über einer halben Stunde, bei Fi über 15 min je Humusschicht. Luef (1997) hat in Beregnungsversuchen von unterschiedlich mächtigen Streudecken festgestellt, dass eine Streudecke, wenn die Anfangsfeuchte zu Beginn des Niederschlagsereignisse 20 % der maximalen Sättigungsfeuchte der Streu unterschreitet, stark hydrophob wird und damit die „Strohdacheigenschaften“ besonders hervortreten. D.h. es tritt eine markante Hysterese gegenüber der Wiederbefeuchtung auf. In diesem Zusammenhang verweisen Markart et al. (2004) bei dicht gelagerter Humusaufgabe von Fi auf die Ausbildung eines regelrechten Strohdacheffektes (*Piceetum nudum*, insbesondere in Phasen extremen Dichtstandes). Der Abflussprozess wird vom unterliegenden, eigentlich aufnahmefähigen Mineralboden entkoppelt, auf solchen Standorten wurden bei Beregnungen bis zu 100 % Oberflächenabfluss gemessen. Es ergibt sich daher ein hohes Abfluss- und Erosionspotenzial bei Starkregen.

Durch flächenwirtschaftliche Maßnahmen (Reduktion von Weideflächen, Aufforstungen, Meliorationsdüngung früherer Plünderwälder, u.a.) kann das Abflussverhalten von bewaldeten Ein-

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

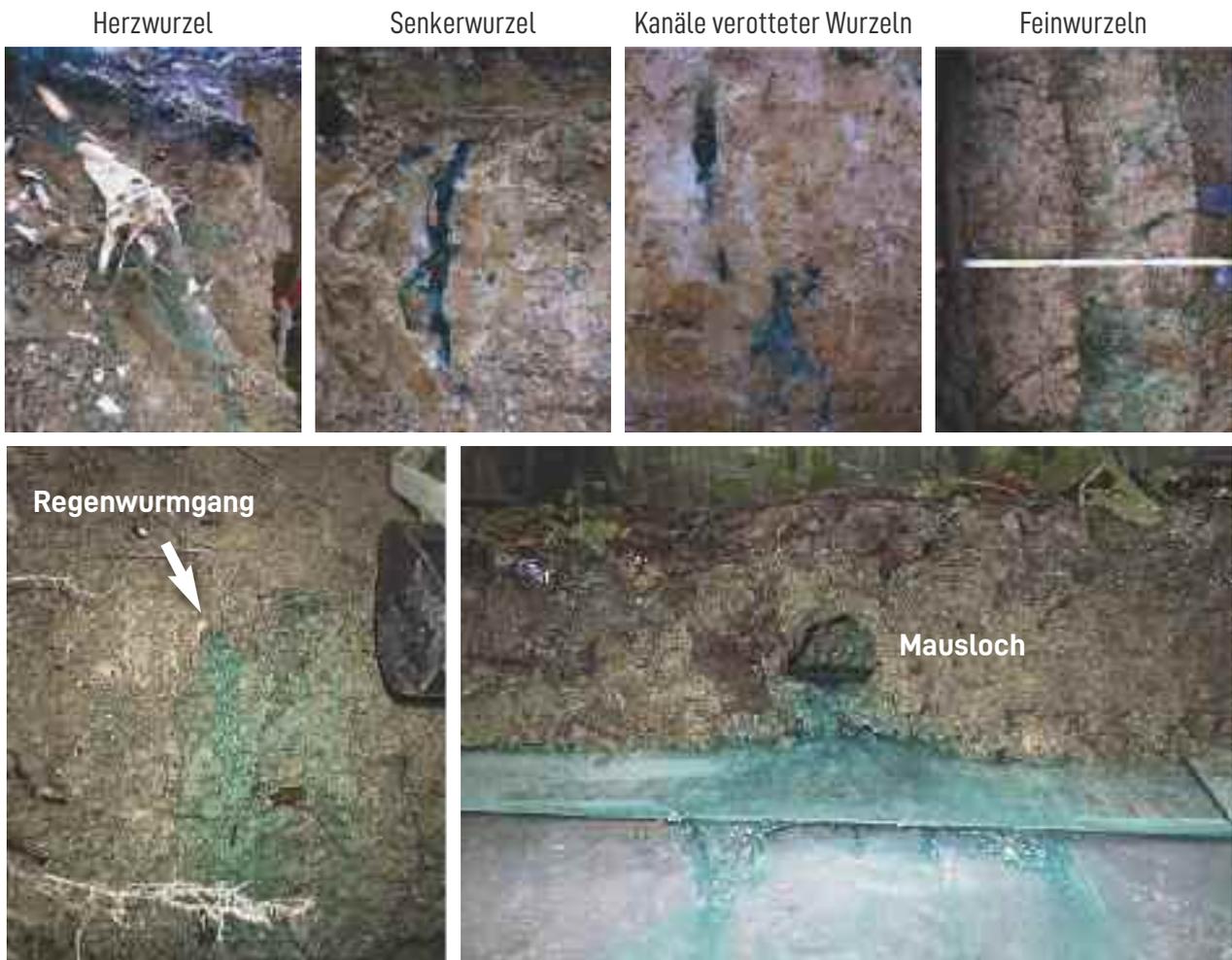


Abbildung 10: Präferenzielle Fließwege im Boden.

Oben: Die Einsickerungspfade des Niederschlagswasser entlang des Wurzelsystems einer Buche, sichtbar gemacht mit Brilliant Blue (aus: Schwärzel et al. 2012).

Unten: Ableitung von Sickerwasser während eines Beregnungsversuchs in Hohlräume von Bodenwühlern (aus: Jost et al. 2012).

zugsgebieten deutlich verbessert werden (Kohl et al. 2004, Ristić et al. 2011). Ein großer Teil des Niederschlages sickert entlang von Wurzeln in den Boden ein. Daher bestimmt die jeweilige Baumart über ihr Durchwurzelungsmuster die Wasserverteilung im Boden und die rasche Tiefensickerung entscheidend mit, wie die unterschiedliche Aufschließung des Bodens durch verschiedene Wurzeltypen in Abbildung 10 zeigt.

Biogene Tätigkeit und tiefreichende, intensive Durchwurzelung erhöhen die Infiltrationsrate sowie die Aufnahmekapazität des Bodens. Bei deren Überschreitung tritt Oberflächenabfluss ein.

Die Infiltrationsmuster in Abbildung 11 verdeutlichen, dass bei hohen Niederschlagsintensitäten der Wassertransport in Waldböden hauptsächlich über präferentielle Fließwege (Makroporen) erfolgt. Im Gegensatz zu den Waldböden reichen z.B. in Ackerflächen kaum Makroporen unter den Pflughorizont.

In den oben genannten Beregnungsversuchen von Jost et al. (2012), durchgeführt in einem Buchen- und einem Fichtenbestand unter gleichen Standortbedingungen (Nordhang 18 %, ausgeglichenes Relief, tonreicher Mull-Stagnogley) nach Aufsättigung der Böden, wurde der Baumarteneinfluss auf das Abflussgeschehen

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

Acker

Jungaufforstung

Altaufforstung

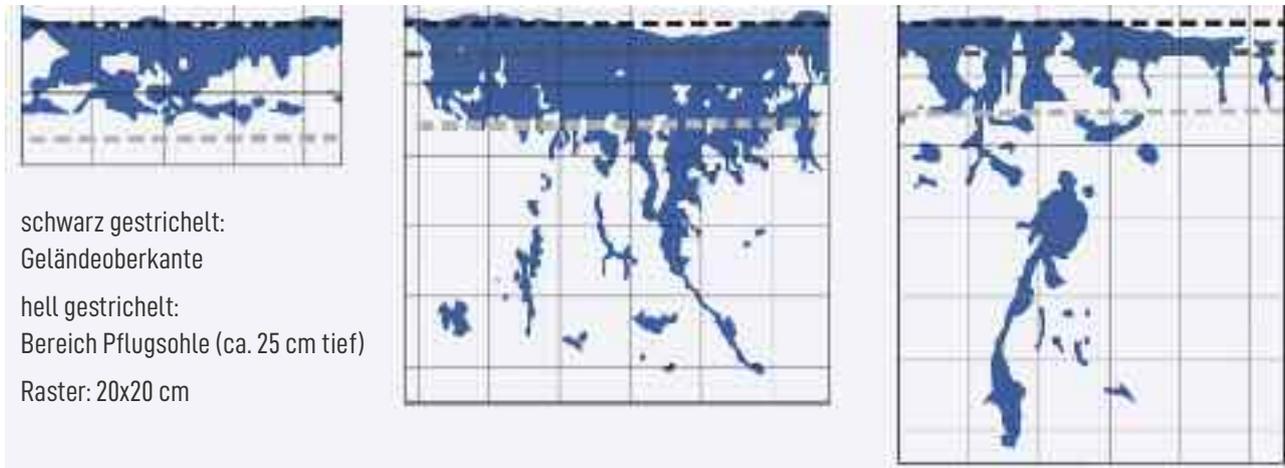


Abbildung 11: Infiltrationsmuster in Böden unter unterschiedlich alten Aufforstungen im Vergleich zu einem Ackerboden. (aus: Wahren et al. 2009, verändert)

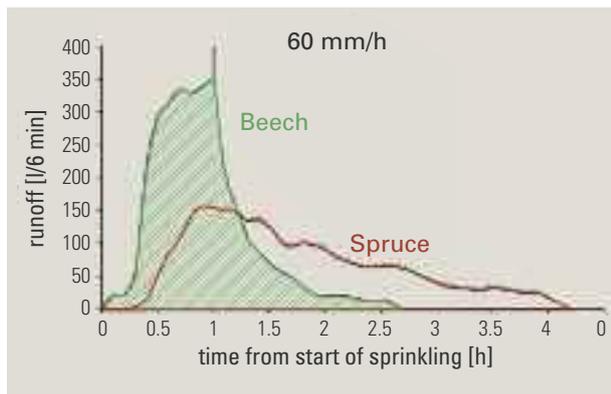


Abbildung 12: Abflussganglinien unter Buche (grün) und Fichte (rot) bei einer Beregnungsintensität von $60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Beregnungsdauer: 1 Stunde (aus: Jost et al. 2012).

deutlich. Das größere Makroporenvolumen unter Buche leitete das Wasser rascher im Boden ab, während unter Fichte der Abfluss deutlich länger hinausgezögert wurde und mit einer niedrigeren Spitze einherging (Abbildung 12).

Dieses grundsätzlich positive Verhalten wurde aber durch eine erhöhte Neigung zu Oberflächenabfluss stark relativiert. Die auf diesem Substrat standortsfremde Fichte bildete in Konkurrenz mit Buche ein sehr flaches Wurzelsystem aus, das durch das Schwanken der Bäume im Wind den Oberboden lockerte und den Unterboden verdichtete. Der Boden unterhalb

von 40 cm war in das Abflussgeschehen nicht involviert. Der Oberboden musste das gesamte Wasser ableiten, während unter Buche ein Gutteil des Abflusses im Unterboden stattfand (vgl. Abbildung 13).

Im Fichtenbestand kam es durch die Auffüllung des Porenvolumens im Oberboden zum Oberflächenabfluss, während sich im Buchenbestand nahezu ein Fließgleichgewicht im Unterboden einstellte, wodurch es nur zu geringfügigen sichtbaren Wassergehaltsänderungen kam.

Auch in räumlich-zeitlichen Analysen der Bodenwasservorratsänderungen (Schume et al. 2004) wurde der Einfluss der beiden genannten Hauptbaumarten Fichte und Buche auf den Bodenwasserhaushalt offenkundig (Abbildung 14). Der Austriebszeitpunkt der Buche ließ sich an den Messungen genauso ablesen, wie die tieferreichende Austrocknung des Bodens unter Buche. Die Ergebnisse legen nahe, dass aufgrund der stärkeren Speichorentleerung unter Buche die Wasseraufnahmekapazität im Fall von Starkniederschlägen höher ist. Die Unwägbarkeiten in dem Zusammenhang liegen im Eintrittszeitpunkt des Ereignisses in Zusammenspiel mit der Niederschlagsintensität und dem Austrocknungsgrad des Bodens (Schrumpfrisse bei tonigen Böden!).

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

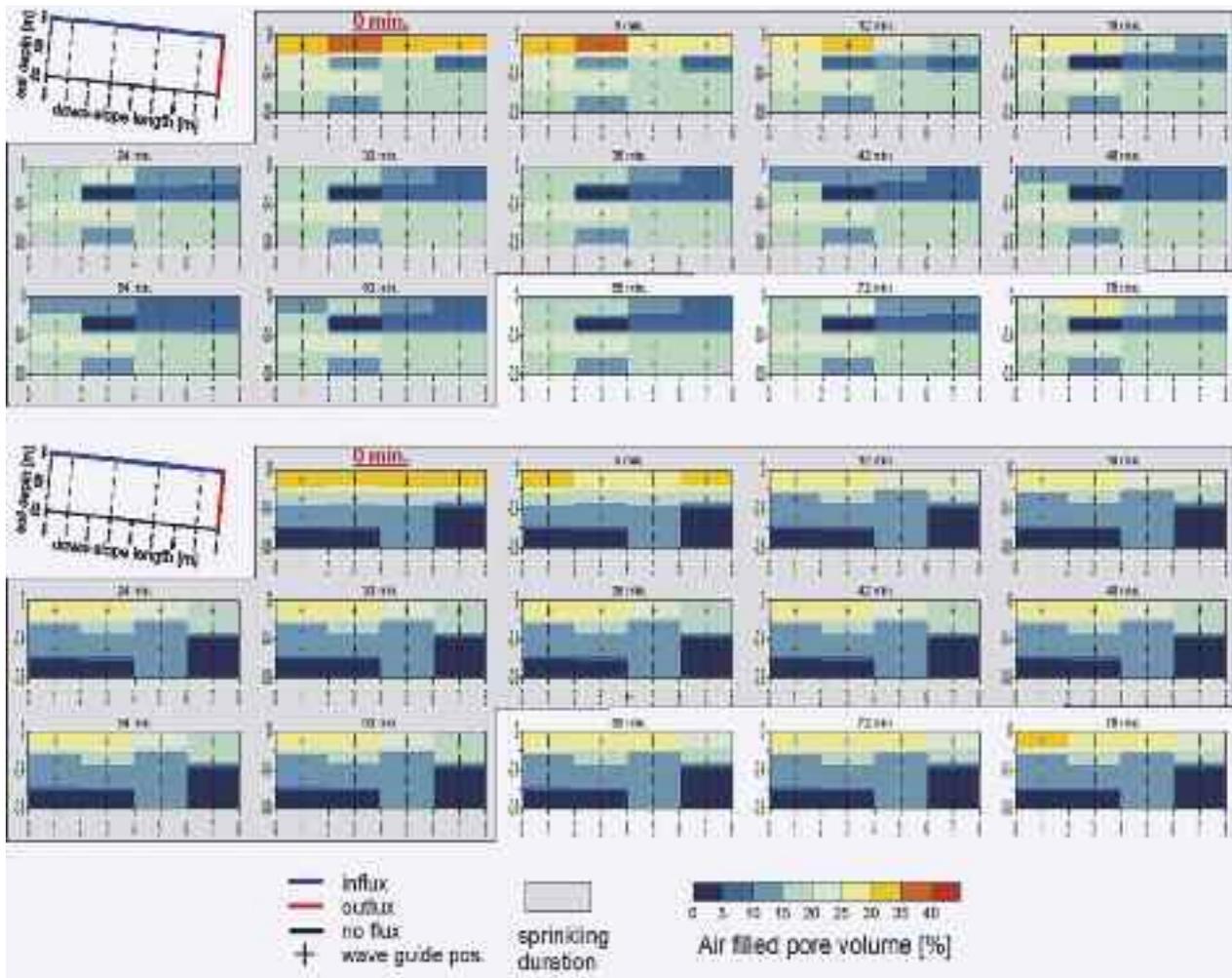


Abbildung 13: Zur Wasseraufnahme verbleibendes Restporenvolumen während des Beregnungsversuches mit 60 mm h^{-1} Intensität; Dauer: 1 h. Oben: Seitenansicht des Bodenblockes unter Buche, unten: Fichte. Während des gesamten Versuches wurde der volumetrische Bodenwassergehalt an 48 Positionen von der Bodenoberfläche bis in 80 cm Tiefe im 6 Minutenintervall gemessen und mit Hilfe des ermittelten Porenvolumens ins dargestellte Restporenvolumen umgerechnet (aus: Jost et al. 2012).

Stednick (1996) publizierte einen Literaturreview über „Paired Catchment Studies“ in den Vereinigten Staaten. 53 dieser paarweisen Einzugsgebietsstudien wurden herausgegriffen, und die Auswirkungen forstlicher Nutzung auf den mittleren Jahresabfluss ausgewertet (Abbildung 15). Die Größen der Einzugsgebiete waren höchst unterschiedlich (5 bis 700 ha), ebenso wie die getesteten Eingriffsstärken. Es zeigte sich, dass Eingriffe, bei denen weniger als 20 % des Bestandes entfernt wurden, zu kaum einer Abflusssteigerung führten, besonders dann nicht, wenn die kahlgeschlagenen Flächen weit vom Vorfluter entfernt lagen. Die Nutzung des gesamten Einzugsgebiets hatte im Mittel eine Abfluss-

steigerung um 17 % zur Folge, wobei die Variabilität angesichts der Standortvielfalt innerhalb dieser Untersuchung enorm groß war (10-95 %).

Nach der Hiebsführung ist das Wasserangebot im Boden erhöht, die anschließende „Rückkehr“ in Richtung zum Abflussniveau und dem Grad der Vorbefeuchtung vor der Ernte ist von einer raschen Wiederbewaldung, dem Wachstum der Verjüngung, dem Überschirmungsgrad und der Bodenmächtigkeit abhängig (Cornish 1993). Bei natürlicher Wiederbewaldung nimmt der Anstieg der Vorfeuchte im Boden rasch ab und verschwindet in den meisten Fällen innerhalb von 3-10 Jahren, kann aber in manchen Situationen

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

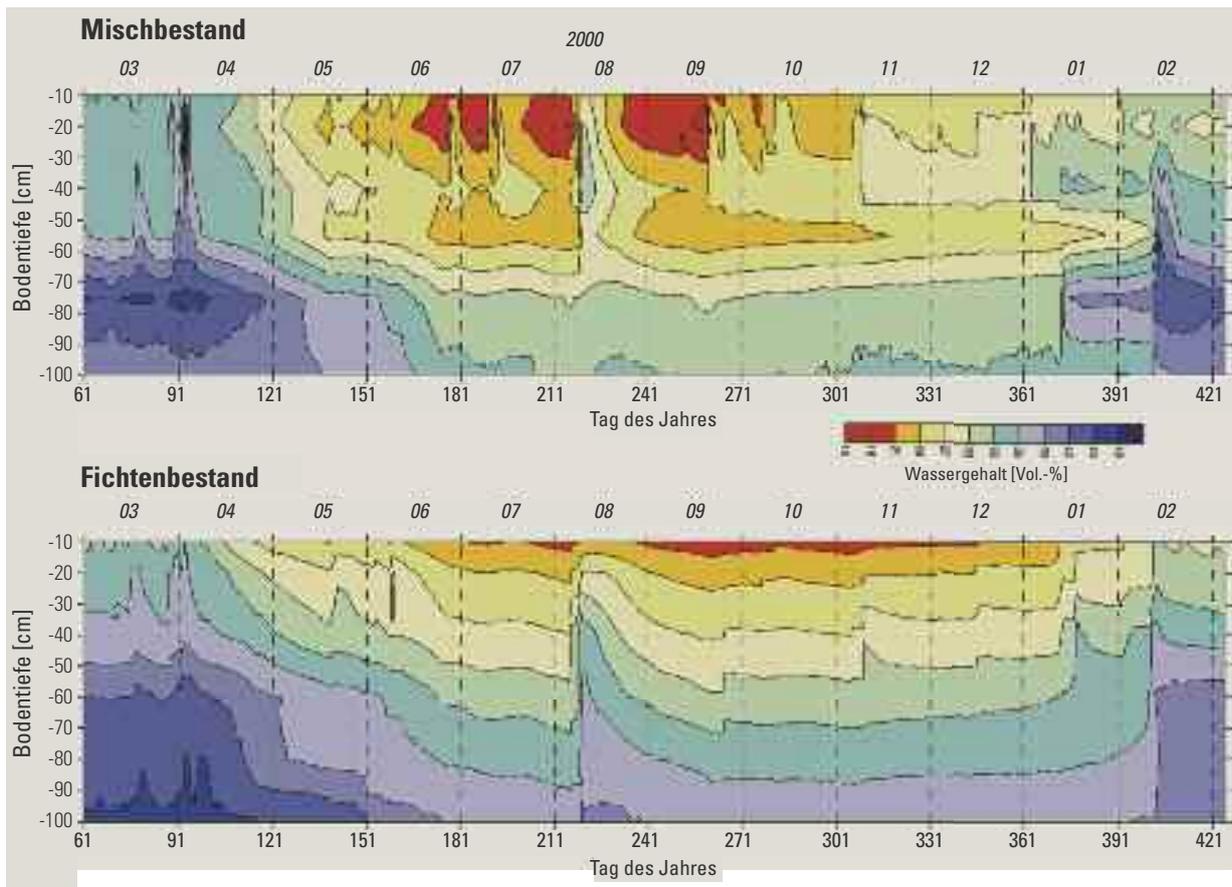


Abbildung 14: Entwicklung des Bodenwassergehalts im buchdominierten Mischbestand und im Fichtenbestand, während der Saison 2000/2001; Grundlage sind stündliche Messungen in jeweils einer geschlossenen Profilgrube im Bestand (Quelle: Schume et al. 2004).

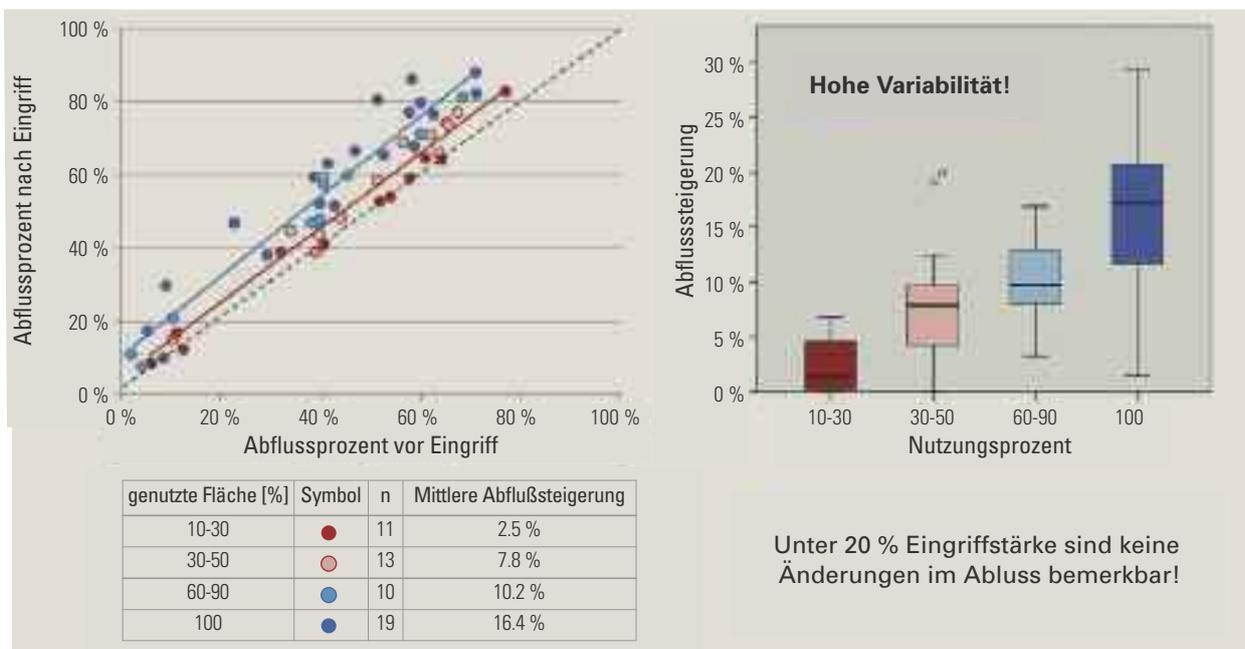


Abbildung 15: Ergebnisse von 53 paarweisen Einzugsgebietsstudien aus den USA über alle Waldstufen und Regionen nach Eingriffsstärke klassifiziert; die Abflüsse sind in Prozent des mittleren Jahresniederschlags angegeben (Quelle: Stednick 1996).

auch Jahrzehnte andauern (Hornbeck et al. 1993). Der anfängliche Anstieg des Wasserertrags nach der Holzernte steht in direktem Zusammenhang zur entnommenen Grundfläche (Breitsameter 1996, Cornish 1993).

Im Zuge des Klimawandels ist vermehrte Trockenheit in tieferen und mittleren Höhenlagen, also vermehrte Sommertrockenheit – vergleichbar dem Jahr 2003 – zu erwarten. Insbesondere auf Ki- und Ei-Standorten wird Trockenheit bis Ende des 21. Jhdt. zunehmen. Viele Standorte in tieferen Lagen werden nur mehr für Ki und vor allem Ei (Flaumeiche) tauglich sein (Scherler et al. 2016). Baumarten mit hoher Toleranz gegenüber Trockenheit (z.B. Flaumeiche) wurzeln tiefer und weisen eine höhere Wurzelmasse und damit ein besseres Wurzel-/Spross-Verhältnis auf als empfindliche Baumarten, wie z.B. Bergahorn (Arend et al. 2016). Bei diesen Arten mit geringer Trockenheitstoleranz, bewirkt schon ein geringer Anstieg der Wasserspannung im Boden eine deutliche Minderung der Wasserleitfähigkeit (Choat et al. 2012). Trockenheit ist somit im Klimawandel der bedeutendere Faktor für das Baumwachstum und die Artenverteilung als höhere Temperatur (Arend et al. 2016).

Langzeit-Monitoring

Folgende Institutionen betreiben Dauerbeobachtungen zum Wasserumsatz von Waldbeständen:

- BOKU – Institut für Waldökologie (Kreisbach bei St. Pölten, Niederösterreich)
- BFW – Institut für Waldökologie und Boden: Mühleggerköpfl bei Achenkirch (Tirol), langjährige Bodenfeuchtemessungen in Jochberg (Tirol), Mondsee (OÖ), Murau (Stmk.), Mürzschlag (Stmk.), Wechsel (Stmk.)
- Umweltbundesamt (UBA) – Ökosystem- und Luftgütebeobachtung: Zöbelboden (Reichraminger Hintergebirge, Oberösterreich)

Forschungsbedarf

- Wichtige Forschung zu den Wirkmechanismen von Trockenstress bei unterschiedlichen Baumarten:

- » Nachweis physiologischer Schäden durch (vermehrte) Trockenperioden in der Vergangenheit bei verschiedenen Baumarten.
- » Festlegung von Bodenfeuchte-Schwellenwerten (Unterschreitungsgrenzen) über einen längeren Zeitraum als Indikatoren für erlittene Vorschädigungen (Zuwachsverluste, Absterben von Feinwurzeln, Gewebeschäden...). Ab welchen Schwellenwerten über einen längeren Zeitraum ist auf unterschiedlichen Substraten und vor allem unter welchen Standortverhältnissen (z.B. Hanglagen, Exposition, Neigung, Bodenmächtigkeit, Skelettgehalt, etc.) mit Schäden an verschiedenen Baumarten zu rechnen, die sich bei weiteren Trockenperioden ggf. letal auswirken bzw. die Disposition für Sekundärschädlinge deutlich erhöhen können (Weiterführung und Ergänzung der Arbeiten von Minerbi et al. 2006).
- Verbesserung der empirischen Datenbasis für bestandeshydrologische Modelle zur Anwendung für Klimawandelszenarien. Siehe Bsp. FORSITE-Stmk.: Koppelung von historischen Klimadaten und BROOK 90 mit Dendrochronologie (incl. Isotopen-Analyse).
- Standortswidrige / klimasensitive Baumarten im Schutzwald – Einfluss auf Bodeneigenschaften, Abflussbildung und Hangstabilität.
- Weiterentwicklung von Verfahren zur flächigen Erfassung und zum flächigen Monitoring der Bodenfeuchte und von Wasserflüssen in Waldböden. Dies ist derzeit mit Satelliten-Daten, über Aerogeophysik bzw. andere Verfahren nicht seriös möglich (aufwendige Vegetationskorrekturen notwendig, mit limitierter Aussagekraft). Alle diesbezüglich durchgeführten Projekte in den letzten Jahren brachten hier keinen Durchbruch (GeoPUB, 4DFormat, BMon, etc.).
- Weiterführende Untersuchung der Rolle von Baumartenwechsel für Wasser- und Energieumsatz (auch indirekt über VOC Emissionen).

Interaktion Wasser und Energiehaushalt

Die meisten Waldökosysteme sind im Vergleich zu andern Landnutzungsformen große Wasserverbraucher. Umgelegt auf den Energiehaushalt bedeutet das, dass in Wäldern ein Großteil der netto zugestrahlten Energie (R_n) in die Verdunstung von Wasser fließt. Das Bindeglied zwischen der Wasser- und der Energiebilanz ist die Verdunstungswärme oder latente Energie (L.E.), die mit etwa der Hälfte bis zwei Drittel die Energiebilanz eines Waldökosystems dominiert. In fast allen Untersuchungen stellt der Term L.E. die Summe aus Bodenevaporation, Interzeption und Transpiration dar, da diese Größen messtechnisch (Eddy Kovarianzmessung) kaum zu trennen sind. Der hohe Anteil des Verdunstungswärmestromes ist ein wichtiger Grund für die im Forstgesetz angesprochene ausgleichende Wirkung des Waldes auf Klima und Wasserhaushalt. Eine anschauliche Größe, die den Energieumsatz an einer Oberfläche gut zum Ausdruck bringt, ist das Bowen-Verhältnis (Bowen Ratio β). Es stellt den Quotienten zwischen sensiblem (H) und latentem Wärmestrom (L.E.) dar.

Wilson et al. (2002) werteten die Ergebnisse von 27 FLUXNET Standorten (i.e. Standorte, an denen turbulenter Austausch zwischen der Vegetation und der Atmosphäre gemessen wird) in Europa und den US für die „warme Jahreszeit“ (Juni bis August) aus. Das mittlere Bowen-Verhältnis von 19 Laubwaldbeständen der mittleren Breiten (40–65°N) lag bei 0.42 (min. 0.11 Pappelbestand in Island, max. 0.79 Buchenbestand in Deutschland), jenes von 26 Nadelwaldbeständen bei 1.07 (min. 0.46 Seestrandkiefer in Frankreich, max. 2.22 Sitkafichte in U.K.). Das bringt zum Ausdruck, dass Laubwälder größere Wasserverbraucher sind als Nadelwälder, ein Umstand, der auch durch Saftstrommessungen immer wieder belegt wird.

Störungen, wie z.B. flächige Windwürfe, führen dazu, dass die transpirierende Vegetation zunächst fast vollständig verschwindet, die Verdunstungswärme (L.E.) treibt nur mehr die

Bodenevaporation (E). Der photosynthetische Wärmefluss (β) geht dementsprechend gegen null, während der Bodenwärmestrom (G) bzw. die Erwärmung des freigelegten Auflagehumus, des Gesteins an der Oberfläche und des Schlagabraumes (J) stark ansteigen (Abbildung 16). Die Größe von L.E. und damit das Bowen-Verhältnis sind stark abhängig vom Wassergehalt der Auflage bzw. des Oberbodens und später dem Zustand der aufkommenden Vegetation. Zum Beispiel stieg auf einer 30 ha großen Windwurflläche im Hölleengebirge (Matthews et al. 2017) das Bowen-Verhältnis von 1.23 im Mittel einer 4-tägigen Schönwetterperiode im August auf den Wert von 2.38 im Mittel einer ebenso langen Schönwetterperiode Anfang Oktober aufgrund fortschreitender Austrocknung des Oberbodens (Tabelle 2). In jedem Fall dominiert auf Kahlflächen der sensible Wärmestrom (H) die Energiebilanz, sodass Kahlflächen zusätzlich zu ihrer Eigenschaft als starke Kohlenstoffquelle auch noch erwärmend auf das Lokalklima wirken.

Es ist jedoch anzumerken, dass die Wärmeströme in den Boden (G) und in die Biomasse und in Humus und Gestein (J) längerfristig, das heißt im Jahresschnitt, gegen null tendieren und fühlbarer (H) und latenter Wärmestrome (L.E.) den gesamten Energieumsatz dominieren. Durch die Tatsache, dass auf Windwurfllächen im Wärmehaushalt mehr Energie in den fühlbaren Wärmestrom als in die Verdunstung investiert wird (d.h. Bowenverhältnis > 1.0) kommt es dazu, dass die bodennahe Luft stärker erwärmt wird, während die Wasserdampfzufuhr gedämpft bleibt. Dadurch steigert sich das Sättigungsdefizit. Dies bedeutet, dass auf derartigen Flächen heiße und trockene Luftpakete entstehen, die für bestehende Vorverjüngung erhöhten Wasserstress erzeugen oder die im Wege der Advektion für angrenzende Althölzer zusätzliche Wasserstressbelastung bedeuten.

Auf regionaler Skalenebene üben Wälder direkt über ihre Albedo (es bestehen große Unterschiede zwischen Grasland, Laubwald, Nadelwald; mit und ohne Schneebedeckung, aber auch nach dem Bestandesalter, siehe z.B. Halim et al. 2019) einen starken Einfluss auf den

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

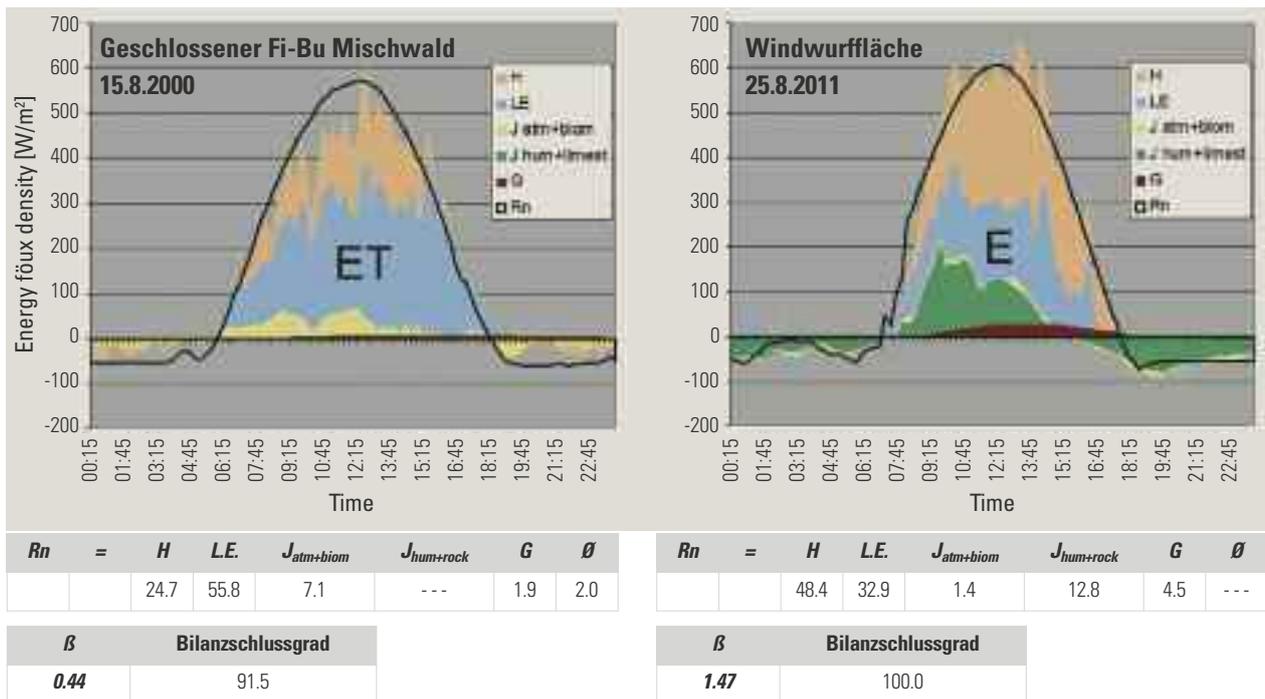


Abbildung 16: Aufgliederung der Energieflüsse an einem sommerlichen Schönwettertag - links: für einen geschlossenen Fi-Bu-Mischwald (Schume et al. 2005) und rechts: für eine Windwurflläche 2 Jahre nach dem Ereignis (Matthews et al. 2017). Alle Werte in Prozent, außer dem dimensionslosen Bowen-Verhältnis (β).

	R_n	=	H	$L.E.$	$J_{atm+biom}$	$J_{hum+rock}$	G	\emptyset	β	Schlussgrad
23.08. – 26.08.2011		=	45.2	36.8	1.7	13.2	4.6	---	1.23	101.5
30.09. – 03.10.2011		=	52.7	22.1	1.7	15.0	6.8	---	2.38	98.3

Tabelle 2: Aufgliederung der Energiebilanzgleichung für einer eine Windwurflläche im Hölleengebirge für zwei viertägige Schönwetterperioden (nach Matthews et al. 2017). Die Werte sind Periodenmittelwerte. Alle Werte in Prozent, außer dem dimensionslosen Bowen-Verhältnis (β).

Energie- und damit Wasserumsatz aus. Insbesondere für Interzeptionsverdunstung und Schneeschmelze wirkt sich dieser Faktor besonders gravierend aus. Im Hinblick auf spontane Wiederbewaldung und Hochlagenaufforstung von Almflächen, aber auch im Hinblick auf Baumartenwahl als Anpassungsmaßnahme an Klimaänderung sind diese Einflüsse zu beachten.

Einen weiteren Effekt hat die indirekte Wirkung der Emission von Terpenen durch Waldbestände (e.g. Tunved et al. 2006). Diese können zur Wolkenbildung beitragen (Riccobono et al. 2014) und damit auch regional, z.B. beim Aufgleiten von Luftmassen über bewaldeten Berggebieten den Wasser- und Energiehaushalt beeinflussen (Tudoroiu et al. 2018).

Interaktion Wasser und Stoffhaushalt

Die Auswirkungen von Störungen

Im Kalkalpin sind die Böden vielfach flachgründig mit entweder einer mächtigen Humusaufgabe oder hohem Humusanteil im oberen Mineralboden. Beide Horizonte weisen meist hohe Gesamtporenvolumina auf (> 60 Vol%), das ist im Vergleich zu üblichen Mineralböden sehr hoch. Die für Pflanzen nutzbare Feldkapazität (etwa 25 %) ist aber aufgrund des hohen Anteils an Makroporen niedrig (Weis et al. 2014). Diese Wälder auf reinen Kalken und Dolomiten sind sehr empfindlich gegenüber Bodendegradation (Reger et al. 2016). Untersuchungen von Mayer et al. (2016) nach großflächigen Windwürfen auf Karbonatstandorten im Hölleengebirge (OÖ) belegen einen dramatischen Humusschwund innerhalb weniger Jahre nach Eintreten der Störung. Berechnungen ergaben, dass innerhalb von 10 Jahren aufgrund verzögerter Wiederbewaldung über 80 % des Kohlenstoffvorrates abgebaut waren (Abbildung 17). Es kam auch zu beträchtlichen Kohlenstoffverlusten an die Atmosphäre. Dieser Humusschwund ist gekoppelt mit einer starken Abnahme des Wurzelraumes und bedeutet massive Nährstoffverluste (Standortdegradation). Die Erfolgchancen für Naturverjüngung und künftige

Aufforstungen sind deutlich reduziert, gleich wie Nährstoff- und Wasserspeicherkapazität. Damit verbunden sind erhöhtes Sickerwasserangebot (Auswaschung von Nährstoffen), geringere Filterwirkung des Bodenkörpers und erhöhtes Erosionspotenzial (Gefahr von Bodenverlusten).

Mehr Licht und Energie am Boden beschleunigen den C- Umsatz. Die Bodenvegetation als möglicher Nitratspeicher fehlt jedoch weitgehend. Daher wird z.B. verstärkt Nitrat ausgewaschen. Jedes NO_3^- -Molekül nimmt jedoch bei der Auswaschung jeweils auch äquivalente Mengen an Kationen (z.B. Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}) mit. Dieser Auswaschungsprozess bedeutet also auch eine zunehmende Verarmung der Böden an basischen Kationen. Abbildung 18 zeigt deutlich, dass die NO_3^- -Auswaschung unmittelbar nach der großflächigen Störung (z.B. Windwurf) bzw. dem großflächigen Eingriff (Kahlschlag) am stärksten ist. Bei kleinflächigen (z.B. femelartigen) Eingriffen erfolgt dieser Austrag mit deutlicher zeitlicher Verzögerung bzw. wird dieser Austrag durch lateralen Zwischenabfluss und ggf. Aufnahme in Waldbeständen im Unterliegerbereich kompensiert. Je rascher die flächendeckende Wiederbewaldung erfolgt, umso geringer ist dieser Auswaschungseffekt.

Besonders gravierende Auswirkungen auf den Wasserhaushalt können bestandszerstörende Waldbrände ausüben. Neben dem Verlust der

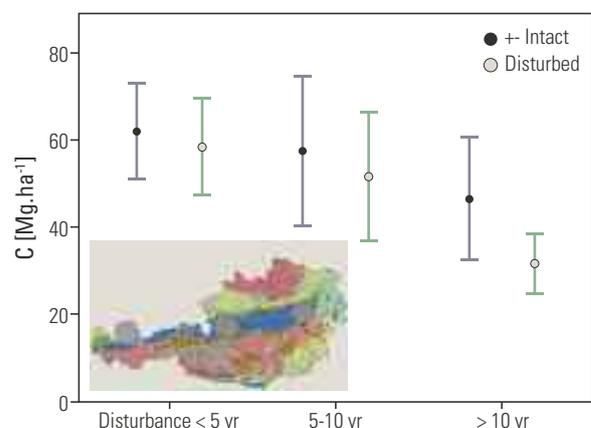


Abbildung 17: Linkes Bild: 30 ha Windwurf Fläche im Hölleengebirge auf flachgründigen OC-Böden und Rendzinen. Rechtes Bild: Humusschwund – bei verzögerter Wiederbewaldung sind bereits nach 10 Jahren 60 % des Kohlenstoffvorrates abgebaut; die Auflagemächtigkeit verringert sich von durchschnittlich 12 auf 4 cm! (aus: Katzensteiner et al. 2018).

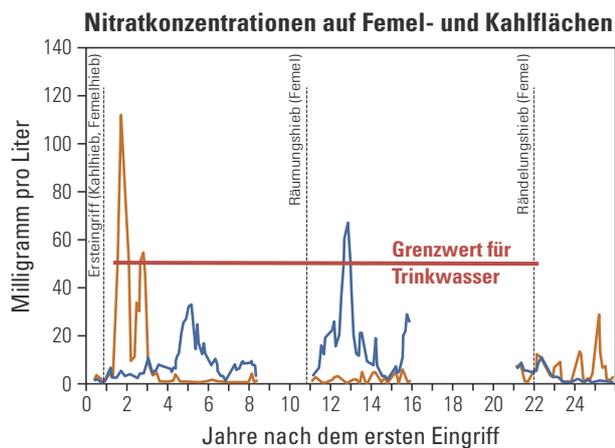


Abbildung 18: Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von Kahlschlag- (orange) und Femelflächen (blau) nach dem Eingriff (Quelle: Weis et al. 2008).

Vegetation können Waldbrände die Auflagehumusschicht und damit die Wasser- und Nährstoffversorgung von Humus-Karbonatböden vollständig zerstören (Katzensteiner et al. 2018). Die Erosionsraten betragen bis zu $30 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Die Verjüngungszeiträume dauern in solchen Fällen oft viele Jahrzehnte und länger (Abbildung 19). In vielen Fällen bleiben solche Flächen kahl und verkarsten. Nach Sass et al. (2019) besteht keine direkte Korrelation zwischen dem seit dem Brandereignis vergangenen Zeitraum und dem Regenerationsgrad von Waldbrandstand-



orten. So sind viele Brandhänge im Tiroler Karwendelgebirge auch 200 Jahre später noch weit von vollständiger Regeneration entfernt.

Zum Zeitpunkt des Eintritts einer Störung und unmittelbar danach können fruktifizierende Überhälter, z.B. Bergahorn oder Lärche, einen wesentlichen Beitrag zur Wiederbewaldung von Windwurf Flächen leisten. Ebenso können auch zum Zeitpunkt der Katastrophe bestehende und überlebende Verjüngungshorste für eine rasche Erholung sorgen. Daher machen forstliche Eingriffe wie Lichtungshiebe und eingeleitete Vorverjüngung Schutzwaldbestände resilienter gegen Humusschwund und Nährstoffaustrag im Katastrophenfall. Temperatur- und Wasserhaushalt unter 10-jähriger Naturverjüngung sind bereits mit den Verhältnissen in einem Altbestand vergleichbar (Pröll et al. 2016).

Trockenstress und Stoffhaushalt

Nach Rohner et al. (2016) limitieren Trockenheit und geringe Nährstoffverfügbarkeit das Wachstum von Bu, Es, Ta und Fi sehr stark, dagegen von Ki und Ei nur wenig. Es ist zu erwarten, dass der Effekt der CO_2 -Düngung auf das Baumwachstum durch Nährstoffungleichgewichte, die aus hohen N- Depositionsraten resultieren,

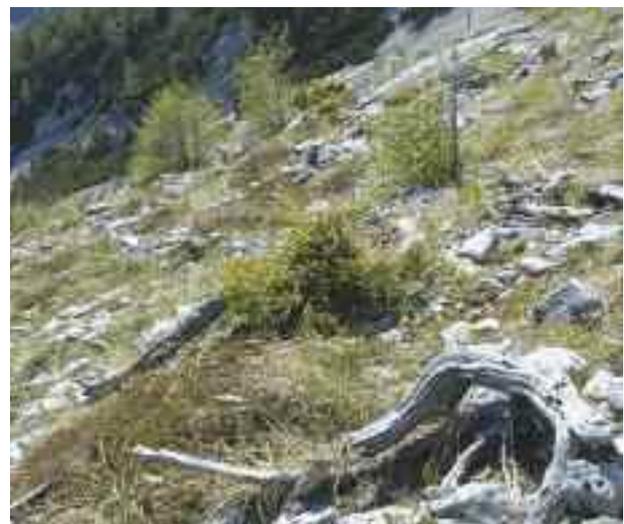


Abbildung 19: Zwei benachbarte Waldbrandflächen im Sengsengebirge – Boden- und Vegetationszustand 10 (links) bzw. 63 Jahre (rechts) nach dem Ereignis. © Katzensteiner

durch den gegenläufigen Effekt des zunehmenden Wasserdefizits begrenzt wird. Diese Faktoren wirken auf komplexe Weise zusammen und bedürfen vor allem in ihrer Interaktion mit jeweiligen Standortsverhältnissen einer entsprechenden Analyse und Klärung. So haben Klimawandel und Stickstoffdeposition zusätzliche Auswirkungen auf die Streufalldynamik und die nachfolgenden Zersetzungs- und Nährstoff-mineralisierungsprozesse (González des Andrés 2019).

Forschungsbedarf

- Weiterentwicklung von Methoden der dynamischen Standortsmodellierung mit „Distributed Hydrological Model“ Ansätzen zur Charakterisierung der Wasserumverteilung im gegliederten Gelände.
- Auswirkungen von Störungen (Windwurf, Schneebruch, Käferkalamitäten, u.a.) auf die Wasserqualität, z.B. Feststoffbelastung, Eutrophierung von Quellwässern aufgrund von verstärktem Humusabbau nach dem Ereignis, unter dem Aspekt unterschiedlicher Standortsverhältnisse.
- Auswirkungen verzögerter Wiederbewaldung nach Hiebsführung oder Störungen (Windwurf, Schneedruck, Kalamitäten durch Schädlinge) auf Wasserumsatz, Bodenentwicklung, Nährstoffmobilisierung, Erosion...
- Hydrologische Auswirkungen des Humus- und Bodenschwundes nach katastrophalen Zusammenbrüchen von Schutzwaldbeständen unter unterschiedlichen Standortsbedingungen, insbesondere auch auf Karbonatstandorten, nach Störungen und/oder durch Extreme infolge des Klimawandels (geringere Speicher- und Filterfähigkeit wegen rasch abnehmender Bodenmächtigkeit) - Verkarsungsgefahr, Nährstoffverluste, Verluste von Wurzelraum. Wie rasch laufen solche Prozesse ab? Gefahr der Belastung von Quellen durch Feststoffe, N-Auswaschung, Keime, u.a. Entwicklung von Strategien zur Minderung der Bodenverluste und von Konzepten für rasche Wiederbewaldung.
- Standortsabhängigkeit der Auswirkung von Waldbränden auf Erosion, Wiederbewaldung und Rückkoppelung auf den Wasserhaushalt

Interaktion Wasserhaushalt und Erosionsprozesse

Eine wesentliche Erosionsquelle im Wald sind Forstwege und die angrenzenden Böschungen. Waldwege weisen ein deutlich verändertes Infiltrationsverhalten auf. In Relation zu Waldböden (Infiltrationsraten mit Ausnahme bindiger Substrate > 90%) beobachtete Zemke (2014) in Beregnungsversuchen mit einer Intensität von 60mm h⁻¹ auf Forstwegen Infiltrationsraten zw. 7 und 14%. Auch in den Spuren von Rückegassen ist die Infiltration deutlich reduziert (nur ca. 30 Vol%). Zemke beobachtete Bodenerosionsraten zwischen 27,3 und 93,5 t ha⁻¹ a⁻¹ auf Wegoberflächen, das entspricht der Größenordnung von Erosionsraten intensiv ackerbaulich genutzter Flächen.

Waldböden reagieren auf mechanische Belastung (z.B. Befahren, Beweidung) mit Porenverlust. Besonders die für eine rasche Infiltration wichtigen Makroporen gehen verloren. Die Verdichtung, die feinteilreiche Böden besonders betrifft, äußert sich in oberflächlichem Wasserstau, Oberflächenabfluss und erhöhtem Erosionspotenzial (Abbildung 20), aber auch in mangelhaftem Gasaustausch. Gaertig et al. (2000) konnten Letzteres anhand erhöhter CO₂-Konzentrationen im Oberboden zeigen, die mit dem Absterben von Feinwurzeln einhergingen (Abbildung 21).

Nur durch Minimierung der Anzahl an Überfahrten (Einhalten der räumlichen Ordnung in der Holzernte!), effektive und sorgfältige Abdeckung mit Schlagabraum, Unterlassen des Befahrens bei widrigen Witterungsverhältnissen u.a. präventiven Maßnahmen können solche Effekte geringgehalten werden.

Um den Oberflächenabfluss und damit auch das flächige und lineare Erosionspotenzial im Wald zu reduzieren ist eine Überschildung von 0,7-0,9 durch die Baumvegetation bei ausreichender Bodendeckung durch eine Mittel-, Unter-, Zwergstrauch- oder Krautschicht und belassen des Schlagabraumes auf der Fläche

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE



Abbildung 20: Linkes Bild: Rückegasse mit Eintiefung, Verdichtung und Wasserstau nach dem Durchreißen der tragenden Wurzelarmierung (aus: Borchert et al. 2013). Rechtes Bild: Schon in gering geneigtem Gelände können aus ungesicherten und falsch angelegten Rückegassen massive Erosionsschäden resultieren (aus: Bildarchiv-Boden.de 2020).

Voraussetzung (Markart et al. 2020b). Zudem können Bestände mit mehreren Vegetationsschichten an steilen Hängen das Risiko von Rutschungen verringern und durch Regentropfen hervorgerufene Erosion wirksam reduzieren. Der Klimawandel und durch den Klimawandel zunehmende natürliche Störungen, wie Windwurf und Insektenbefall, werden die Wirksamkeit von Schutzwäldern bei der Verhinderung von flachen Erdbeben beeinträchtigen. Modellberechnungen

von Scheidl et al. (2020) ergaben, dass die Rutschungswahrscheinlichkeit in Relation zu historischen Bedingungen nur bei einem Erwärmungsszenario bei gleichzeitig zunehmender Trockenheit abnehmen wird. Bei allen anderen Klimaszenarien steigt das Rutschungspotenzial. Die Analyse von fast 11.000 Einzugsgebieten in den Ostalpen hat gezeigt, dass eine Erhöhung der Waldbedeckung um 25 % die Wahrscheinlichkeit von Wildbachbedingungen

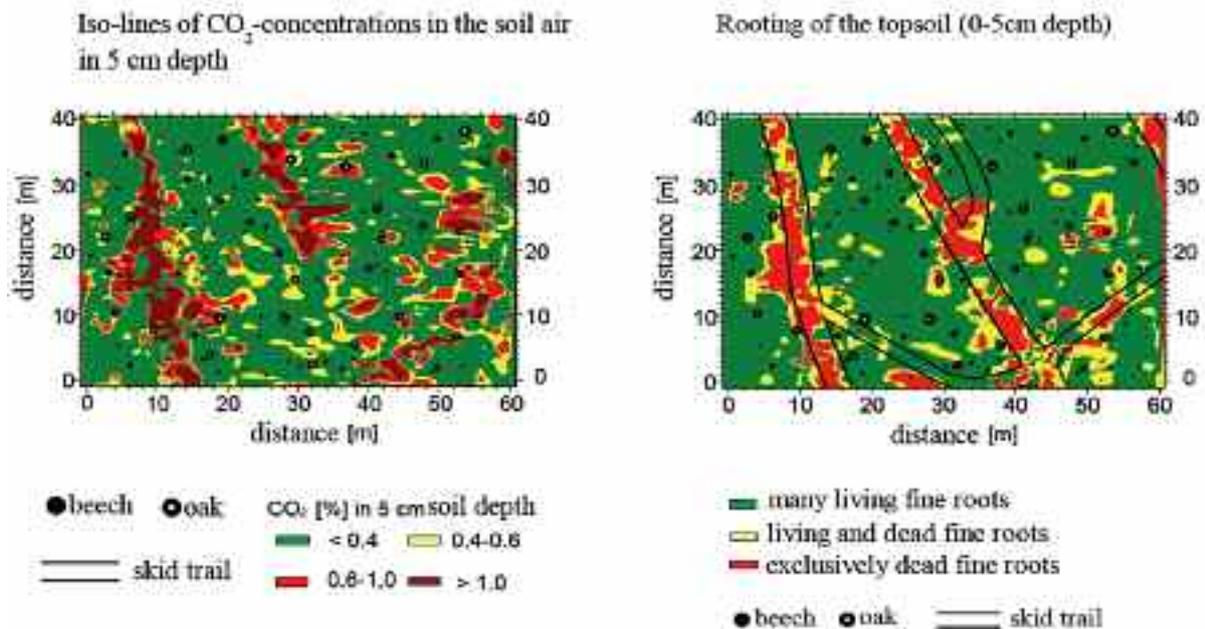


Abbildung 21: CO₂-Konzentration in 5 cm Bodentiefe und Feinwurzelmortalität in einer Schlepperspur und dem unbeeinflussten Waldboden (aus: Gaertig et al. 2000).

Naturgefahren um $8,7 \% \pm 1,2 \%$ reduziert (Sebald et al. 2019). Scheidl et al. (2020) schlagen daher eine Abkehr von der flach wurzelnden Fichte zu Wäldern mit höheren Anteilen an Herz- und Pfahlwurzeln vor.

In einer Analyse von Großschadensereignissen von Steinacher et al. (2009) zeigen Trends, dass in den meisten Fällen die vollständige Abholzung von rutschgefährdeten Hängen einen geringen Einfluss auf die Hangstabilität hat, jedoch der Abbau der Wurzeln innerhalb von wenigen Jahren zu einer Abnahme des Sicherheitsfaktors führt. Auf leicht geneigten Hängen kann sogar der Massenverlust durch die Entnahme des Bestandes eine Abnahme des Sicherheitsfaktors bewirken. Selbst wenn eine Abholzung - vielfach wird auch der Begriff „Hangentlastung“ verwendet - zunächst die Hangstabilität erhöht, kann dies auf vielen Standorte bereits kurzfristig durch den Wegfall der Interzeptionsverdunstung des Baumbestandes und durch höhere Bodendurchfeuchtung, dies gilt besonders für Standorte auf Schiefergesteinen, die Stabilisierung konterkarieren. Außerdem führt dies langfristig zu noch größeren Problemen aufgrund der reduzierten Wurzelkohäsion, zunehmender Oberflächenerosion und Bodendegradation. Auf mögliche negative Auswirkungen sogenannter Hangentlastungen wird schon von Beinsteiner (1981) verwiesen. Die Zugfestigkeit der Wurzeln nimmt mit der Anzahl der Jahre nach der Beseitigung des Bestandes kontinuierlich ab (Ammann et al. 2009). D.h., das Wurzelsystem von Schutzwäldern verliert innerhalb von 15 bis 20 Jahren nach der Entfernung des Altbestandes den größten Teil seiner bodenstabilisierenden Funktion. Die rasche, gezielte Wiederaufforstung von waldfreien Hangrutschungsflächen ist daher zwingend, um labile Übergangsphasen im Sinne der Abflussprävention und der Hangstabilität möglichst kurz zu halten (Markart et al. 2020b).

Schwarz (2011) weist darauf hin, dass in vielen Fällen die seitliche Wurzelausbreitung viel mehr zur Stabilisierung gegen flache Erdrutsche (Größe: $1000\text{-}2000 \text{ m}^2$) beiträgt als die vertikale Wurzelentwicklung. Daher ist das Vorhanden-

sein einer stabilisierenden Baumvegetation die Grundvoraussetzung, um bei Starkregenereignissen Lockermaterial an steilen Hängen überhaupt in Position zu halten. Im Falle einer verzögerten Wiederaufforstung geht dieser stabilisierende Effekt allmählich verloren. Die Eigenschaften des Oberbodens und die Dichte des Bestandes und ihre lokale Artenzusammensetzung sind eng korreliert (Paluch und Gruba 2012). Bereits drei Jahre nach dem Kahlschlag von Waldstandorten ist nur noch ein Drittel der Wurzelbiomasse der ursprünglichen Altbestände vorhanden (Ziemer 1981). Durch das Entfernen der Bäume wird der Porenwasserdruck in Tiefen von $0,8\text{-}5,8 \text{ m}$ erhöht (Briggs et al. 2013). Der unterirdische Fluss und die daraus resultierenden Bodendrücke steigen beträchtlich, z.B. um 400% bzw. 35% innerhalb der ersten vier Jahre nach dem Kahlschlag (Caspar Creek, Kalifornien, USA; Keppeler und Brown 1998). Wurzelsysteme schaffen ein Netzwerk von Kanälen im Boden, beeinflussen dadurch die Strömung im Boden. Diese Hohlraumsysteme vermindern den Porendruck und wirken dadurch Hang stabilisierend (Ghestem et al. 2011).

Forschungsbedarf

- Auswirkung von Störungen (Windwurf, Schneebruch, Käferkalamitäten, technische Maßnahmen, u.a.):
 - » Auswirkungen großflächiger Windwürfe auf die künftige Abflussreaktion und die Stabilität von Hängen in Wildbacheinzugsgebieten (Bsp. Osttirol, Kärnten...).
 - » Waldbrandflächen: Auswirkung von verzögerter Wiederbewaldung, kurz- und langfristigen Maßnahmen auf Nährstoffhaushalt, Abfluss- und Erosionsgeschehen.
 - » Quantifizierung der hydrologischen Auswirkungen der Durchschneidung von Waldbeständen durch anthropogene Maßnahmen (z.B. (Forst)Straßen, Schipisten u.a.), z.B. Änderung der Abflusswege, Quantifizierung der Abflusskonzentrationen und der Erosionspotenziale, Ableitung von Optimierungsvorschlägen und Möglichkeiten der Kompensation erhöhten Abflusses aus Forststraßen und Schipisten.

- Hydrologische Auswirkungen des Humus- und Bodenschwundes, insbesondere auf flachgründigen, stark geneigten Standorten, nach Störungen und durch den Klimawandel (geringere Speicher- und Filterfähigkeit wegen rasch abnehmender Bodenmächtigkeit) - Verkarstungsgefahr, Nährstoffverluste, Verluste von Wurzelraum. Wie rasch laufen solche Prozesse ab? Gefahr der Belastung von Quellen durch Feststoffe, N-Auswaschung, Keime, u.a. Entwicklung von Behandlungskonzepten zur Minderung der Bodenverluste und von Strategien für rasche Wiederbewaldung.
- Steile Grabeneinhänge: Auswirkungen von Räumungen, Hangentlastungen, schlagweiser Hiebsführung auf Hangstabilität (spontane Lockersedimentrutschungen), Oberflächenerosion, Oberflächen- und Zwischenabfluss in Relation zu kleinflächiger, bzw. dauerwaldartiger Bewirtschaftung. Anlage von Versuchsflächen zur Ableitung optimaler Vegetationszusammensetzung bzw. Bebuschung von steilen Grabeneinhängen mit den Zielen: geringe Auflast durch den Vegetationsverband, optimale Hangstabilität und bestmöglicher Erosionsschutz.
- Standortwidrige / klimasensitive Baumarten im Schutzwald – Einfluss auf Bodeneigenschaften, Abflussbildung und Hangstabilität.
- Verstärkte Berücksichtigung hydrologischer Kriterien in Handlungs- und Bewirtschaftungsanleitungen:
 - » Bestehende Handlungs- bzw. Bewirtschaftungsanleitungen (z.B. Frehner et al. 2005, Markart et al. 2020b): gezielte Weiterentwicklung und Optimierung in Richtung hydrologisch optimierte Waldbewirtschaftung, gezielte Verankerung in der Praxis.
 - » Hydrologisch optimierter Forststraßenbau – es existiert weltweit eine Vielzahl von sehr guten Anleitungen zum Forststraßenbau, z.B. Beguš und Pertlik (2017), Hagauer et al. (2014), aber keine dieser Anleitungen erfolgt unter dem Blickwinkel eines minimalen hydrologischen Impacts auf die Standorts- / Einzugsgebietshydrologie und die Entwicklung von Feststoffpotenzialen.

Wasserhaushalt / Stressphysiologie von Bäumen

Bäume schränken in Trockenphasen den Wasserverlust durch Reduktion der Stomataöffnung ein, dadurch wird auch der Biomassezuwachs eingeschränkt. Bei steigenden Temperaturen und abnehmenden Sommerniederschlägen dürfte daher die Biomasseproduktion auch an Standorten mit moderater Trockenheit zurückgehen (Arend et al. 2016). Nach Rohner et al. (2016) limitieren Trockenheit und geringe Nährstoffverfügbarkeit das Wachstum von Bu, Es, Ta und Fi sehr stark, dagegen von Ki und Ei nur wenig.

Trockenheitstolerante Baumarten schränken das Wachstum später ein, sie bleiben länger physiologisch aktiv (Arend et al. 2016). Manche Baumarten verfügen über sehr gute Wasser-Sparstrategien (z.B. Ki und Fi), nicht jedoch z.B. die Lärche, sie schränkt auch in Trockenphasen ihren Wasserverbrauch nur unwesentlich ein (Schuster et al. 2016). Schuster et al. argumentieren daher, dass vermehrte künftige Trockenperioden ein Problem für die Lärche darstellen können. Wieser et al. (2015) schließen aus Bodenerwärmungsexperimenten in einer Zirbenaufforstung, dass der Wasserverlust der Bäume mit der Bodenerwärmung zunehmen wird, was den Wasserhaushalt innerhalb der Baumgrenze in den österreichischen Zentralalpen in einer zukünftigen Erwärmung verändern kann.

Bei ausreichender Wasserversorgung erfolgt eine Kühlung der Krone durch Transpiration – bis zu 50 % der Sonnenenergie können auf diese Weise abgeführt werden. Trockenheit bedeutet daher erhöhte Kronentemperatur, diese steigt je nach Baumart beträchtlich (Scherrer et al. 2011).

Trockenheit selbst ist jedoch oft nicht ursächlich für die Mortalität von Bäumen (Arend et al. 2016), aber für massive Schäden am Zellsystem. Bei Baumarten mit geringer Trockenheitstoleranz, wie z.B. dem Bergahorn, bewirkt bereits eine Wasserspannung von -2,4 MPa eine Verringerung der hydraulischen Leitfähigkeit um die Hälfte, dieses Spannungsniveau tritt bei der



Abbildung 22: Trockenheitsschäden nach dem Trocken-Sommer 2003 an Kiefern im Raum Brixen (Südtirol) (aus: Minerbi et al. 2006).

wesentlich trockenheitstoleranteren Flaumeiche erst ab $-3,5$ MPa auf. Auswertungen des interkantonalen Walddauerbeobachtungssystems in der Schweiz von Etzold et al. (2016) zeigen, dass Mortalität bei erwachsenen Bäumen nicht abrupt erfolgt, sondern ein schleichender Prozess ist, der Jahre dauern kann. Untersuchungen von Minerbi et al. (2006) im Brixner Raum (Südtirol) ergaben, dass viele der im extremen Trocken-sommer 2003 abgestorbenen Weißkiefern (Abbildung 22) eine Vorschädigung aufgrund längerer Trockenheit im Jahr 1976 aufwiesen. Daher ist anzunehmen, dass nachfolgende extreme Trockenperioden (z.B. 2003, 2015) zu weiteren, teils massiven Vorschäden bei verschiedenen Baumarten geführt haben und führen werden. Trockenheit wird daher im Klimawandel bedeutender für das Baumwachstum und die Artenverteilung sein als erhöhte Temperaturen (Arend et al. 2016).

An der Waldgrenze sind aufgrund höherer Temperaturen und weiterhin ausreichender Niederschlagsmengen höhere Zuwächse zu erwarten. Jedoch stellen Standortfaktoren wie Wind oder kurzfristige Temperatureinbrüche (Frühfröste, Spätfröste) weiterhin limitierende Wachstumsfaktoren dar und werden den raschen Anstieg der Waldgrenze bremsen. Eine rasche, flächige Ausbreitung von Baumarten ist nur über die Hebung des Windfeldes durch die unterliegenden Bestände zu erwarten, d.h. erst wenn junge

Bäume eine Höhe von mehreren Metern erreicht haben kann sich darüber anschließend ein weiterer Streifen junger Bäume etablieren, siehe z.B. die Ergebnisse aus der Hochlagenaufforstung Haggen im Sellrain (Kronfuß und Havranek 1999).

Auch sollte unter den Auspizien des Klimawandels in den subalpinen Waldgrenzlagen nicht auf die spätwin-

terlichen Stressoren der Frosttrocknis vergessen werden, vor allem mit welchen Häufigkeiten es bereits ab dem Hochwinter in diesen Lagen zu Warmluftadvektionserscheinungen kommen kann. Diese können Auslöser von Frosttrocknis sein und damit die Verjüngung der Schutzwälder in solchen Lagen enorm beeinträchtigen.

Forschungsbedarf

- Trockenheit: Nachweis physiologischer (Vor)Schäden durch (vermehrte) Trockenperioden in der Vergangenheit bei verschiedenen Baumarten. Festlegung von Bodenfeuchte-Thresholds (Unterschreitungsgrenzen) über einen längeren Zeitraum als Indikatoren für erlittene Vorschädigungen (Zuwachsverluste, Absterben von Feinwurzeln, Gewebeschäden...). Ab welchen Schwellenwerten über einen längeren Zeitraum ist auf unterschiedlichen Substraten mit Schäden an verschiedenen Baumarten zu rechnen, die sich bei weiteren Trockenperioden ggf. letal auswirken bzw. die Disposition für Sekundärschädlinge deutlich erhöhen können (Weiterführung und Ergänzung der Arbeiten von Minerbi et al. 2006).
- Wachstum limitierende Bedingungen an der Waldgrenze im Climate Change – ausreichend Wasser auch unter CC-Bedingungen? Geänderte Wetterlagen und deren Häufigkeiten, die zur Frosttrocknis beitragen und Schutzwaldverjüngung beeinträchtigen.

Literatur

- Ammann, M., Böll, A., Rickli, C., Speck, T., Holdenrieser, O. (2009): Significance of tree root decomposition for shallow landslides. *For. Snow Landsc. Res.* 82, 1, 79–94.
- Aoki, K. (2003): Stammablauf und Interzeption an zwei Waldbeständen in Abhängigkeit von meteorologischen Variablen. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Arend, M., Braun, S., Buttler, A., Siegwolf, R.T.W., Signarbieux, C., Körner, C. (2016): Ökophysiologie: Reaktionen von Waldbäumen auf Klimaänderungen. In: Pluess, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Hsg.): *Wald im Klimawandel – Grundlagen und Adaptionsstrategien*, 77–92.
- Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D. and Rothe, A. (2002): Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59(3), 233–253.
- Baldauf, E. (2020): Runoff processes on ski slopes – Analyses based on rain simulation experiments. Master thesis, Department of Civil, Geo and Environmental Engineering, Technical University of Munich.
- Beguš, J., Pertlik, E. (2017): Guide for planning, construction and maintenance of forest roads. FAO, 49 p.
- Beinsteiner, H. (1981): Waldbauliche Beurteilung der Waldabbrüche im Osttiroler Katastrophengebiet. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Borchert, H., Kremer, J., Huber, C.L. (2013): Schutz des Waldbodens beim Einsatz von Forstmaschinen. *LWF-Wissen* 72, 39–45.
- Brechtel, H.M. (1965): Methodische Beiträge zur Erfassung der Wechselwirkung zwischen Wald und Wasser. *Forstarchiv*, 35. Jg., Nr. 11, 229–241.
- Breitsameter, J. (1996): Untersuchungen zum Feststoffaustrag aus unterschiedlich dicht bewaldeten Kleineinzugsgebieten im Flysch und in den Kalkalpen der Tegernseer Berge. *Forstliche Forschungsberichte München*, 154.
- Briggs, K.M., Smethurst, J.A., Powrie, W., O'Brien, A.S., Butcher, D.J.E. (2013): Managing the extent of tree removal from railway earthwork slopes. *Ecol. Eng.*, 690–696.
- Chandler, K.R., Stevens, C.J., Binley, A., Keith, A.M. (2018): Influence of tree species and forest land use on soil hydraulic conductivity and implications for surface runoff generation. *Geoderma*, 310, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.011>.
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Rhaskar, R., Bucci, S.J., Feild, T.J., Gleason, S.M., Hacke, U.G., Jacobsen, A.L., Lens, F., Maherali, H., Martinez-Vilalta, J., Mayr, S., Mencuccini, M., Mitchell, P.J., Nardini, A., Pittermann, J., Pratt, R.B., Sperry, J.S., Westoby, M., Wright, J.J., Zanne, A.E. (2012): Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, Vol. 491, 752–755.
- Cornish, P.M. (1993): The effects of logging and forest regeneration on water yields in a moist eucalypt forest in New South Wales, Australia. *Journal of Hydrology* 150, 301–322.
- Cosandey C., Andréassian V., Martin C., Didon-Lescot J.F., Lavabre J., Folton N., Mathys N., Richard D. (2005): The hydrological impact of the Mediterranean forest: a review of French research. *J. Hydrol.*, 301, 235–249.
- DEIMS-SDR - Dynamic Ecological Information Management System - Site and dataset registry (2021): LTER Zöbelboden – Austria. <https://deims.org/8eda49e9-1f4e-4f3e-b58e-e0bb25dc32a6>. Datum der Abfrage: 25.2.2021
- Delfs, J. (1955): Die Niederschlagszurückhaltung in den Beständen (Interzeption). In: *Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Aus dem Walde – Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung*, 76–107.
- Eisenbies, M.H., Austa, W.M., Burgera, J.A., Adams, M.B. (2007): Forest operations, extreme flooding events and considerations for hydrologic modelling in the Appalachians - A review. *Forest Ecology and Management*, 242, 77–98.
- Ekness, P., Randhir, T. O. (2015): Effect of climate and land cover changes on watershed runoff: A multivariate assessment for storm water management, *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 120, 1785–1796. doi:10.1002/2015JG002981.
- Engler, A. (1919): Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Vers.wes.* 12, 1-626.
- Etzold, S., Wunder, J., Braun, S., Rohner, B., Bigler, C., Abegg, M., Rigling, A. (2016): Mortalität von Waldbäumen: Ursachen und Trends. In: Pluess, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Hsg.): *Wald im Klimawandel – Grundlagen und Adaptionsstrategien*, Haupt-Verlag, 177–198.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R. (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald - Weileitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern, 564.
- Führer, H.W. (1990): Einflüsse des Waldes und waldbaulicher Maßnahmen auf Höhe, zeitliche Verteilung und Qualität des Abflusses aus kleinen Einzugsgebieten - Projektstudie im Krofdorfer Buchenforst. *Forstliche Forschungsberichte München*, 106.
- Gaertig, T., Puls, C., Schack-Kirchner, H., Hildebrand, E. E. (2000): Die Beurteilung der Bodenstruktur in Waldböden: Feldbodenkundliche Merkmale und ihre Relevanz für die aktuelle Bodenbelüftung auf Lösslehm-Standorten. *Allg. Forst Jagdztg.* 171, 227–234.
- Ghestem, M., Sidle, R.C., Stokes, A. (2011): The Influence of Plant Root Systems on Subsurface Flow: Implications for Slope Stability. *BioScience*, Vol. 61, No. 11, 869–879.
- González des Andrés, E. (2019): Interactions between Climate and Nutrient Cycles on Forest Response to Global Change: The Role of Mixed Forests. *Forests*, 10(8), 609, <https://doi.org/10.3390/f10080609>.
- Hagauer, D., Zöscher, J., Chalatahshvili, D. (2014): Best Practice Guidelines Forest Road Planning and Construction – State of the Art, Technical Best Practice Guidelines for Georgia. Report in the Frame of the FAST-Start-Project

- “Adaptive Sustainable Forestry Management in Borjomi”, WP 2.4: Assessment forest infrastructure and harvesting practice, 92 p.
- Hager, H. (1984): Die Entwicklung von Blattflächenindex und Wasserhaushaltskomponenten durch 3 Jahre nach unterschiedlicher Stammzahlreduktion. In: Dr. F. Sauberer Gedächtnissymposium. Univ. Bodenkultur, 128-131.
- Hager, H. (1988): Stammzahlreduktion – Die Auswirkungen auf Wasser-, Energie- und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen. Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien, 189 p.
- Hager, H. (2004): Forest Management and its Impact upon Hydrological Processes and Water Quality, Vortrag (Key-note address), Bordeaux.
- Hager, H., Holzmann, H., Sereinig, N., Pichler, M., Waldingbrett, A., Rom, S., Kovar, W., Osenberg, M., Luef, L., Stephan, B., Pöckl, W. (1997): Hydrologische Funktionen ausgewählter naturnaher Waldökosysteme in einem Flusseinzugsgebiet. Projekt-Endbericht an die Österr. Akademie der Wissenschaften, Hydrologie Österreichs – Beitrag Österreichs zum Internat. Hydrol. Programme (IHP). 197 p.
- Halim, M.A., Chen, H.Y.H., Thomas, S.C. (2019): Stand age and species composition effects on surface albedo in a mixedwood boreal forest. *Biogeosciences Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/bg-2018-501>.
- Hegg C. (2006): Waldwirkung auf Hochwasser. *LWF Wissen*, 55, 29–33.
- Heinkele, T., Knoche, D., Gemballa, R., Petzold, R. (2020): Hydrologische Eigenschaften von Waldhumusformen: Wasserspeicherpotenziale, Wiederbefeuchtungs- und Versickerungsverhalten. *Waldökologie, Landschaftsplanung und Naturschutz*, Heft 19, 5-19.
- Holzmann H., Hager, H., Pichler, M., Sereinig, N. (1998): Assessment of hillslope runoff processes on a local scale emphasizing forest vegetation effects. In: Tappeiner U. (ed.): *Proceedings: Hydrology, Water Resources and Ecology*, 171-175.
- Hoppe E. (1895): Untersuchungen über den Einfluß der Bestandesdichte auf die Bodenfeuchte. *Cbl. Ges. Fortsw.*, 21, 99–103.
- Hoppe E. (1896): Regenmessung unter Baumkronen. *Mitt. Forstl. Verswes. Österr.*, XXI., W. Frick, Wien, 75 p.
- Hornbeck, J.W., Adams, M.B., Corbett, E.S., Verry, E.S., Lynch, J.A. (1993): Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. *Journal of Hydrology* 150,323–344.
- Jost G., Schume H., Hager H., Markart G., Kohl B. (2012): A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff process during intense rainfall. *J. Hydrol.*, 420–421, 112–124.
- Katzensteiner K., Klimo E., Szukics U., Delaney C.M. (2011): Impact of forest management alternatives on water budgets and runoff processes. In: Raulund-Rasmussen K., De Jong, J., Humphrey J.W., Smith M., Ravn H.P., Katzensteiner K., Klimo E., Szukics U., Delaney C., Hansen K., Stupak I., Ring E., Gundersen P. Loustau, D. (eds): *Papers on impacts of forest management on environmental services*, EFI Technical Report 57, 27–55.
- Katzensteiner, K., Darabant, A., Mayer, M., Matthews, B., Pröll, G., Schaufler, G. (2018). *Open Wounds in Thin Skin. Soil Processes after Natural Disturbances*. 6th Symposium for Research in Protected Areas, 2 to 3 November 2017, Faculty of Natural Sciences, University of Salzburg, Austria. Conference Volume, 273-276. doi:https://doi.org/10.1553/np_symposium2017.
- Katzensteiner, K., Schume, H. (2020): *Unterlagen zur Lehrveranstaltung „Wasser-, Nähr-, und Schadstoffmanagement in Waldökosystemen“*. Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Keppeler, E. and D. Brown (1998): *Subsurface Drainage Processes and Management Impacts*. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-168, 25–34.
- Kohl, B., S. Sauer Moser, D. Frey, L. Stepanek und G. Markart (2004): Steuerung des Abflusses in Wildbacheinzugsgebieten über flächenwirtschaftliche Maßnahmen. *Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT*, Tagungspublikation, Band 1, Thema III, 159–169.
- Kohl, B., Perzl, F., Markart, G., Klebinder, K., Pirkl, H., Riedl, F., Stepanek, L. (2009): *Hochwasser Paznaun (2005): Wald – Abfluss – Potentiale*. Bericht der Wildbach- und Lawinerverbauung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 192 p.
- Kronfuß, H., Havranek, H. (1999): Effects of Elevation and Wind on the Growth of *Pinus cembra* L. in a Subalpine Afforestation. *Phyton (Austria) - Special Issue: „Eurosilva“*, Vol. 39, Fasc. 4, 99-106.
- Luef, S. (1997): *Interzeption der Streuschicht von Fichte und Buche*. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Markart, G. (2000): *Zum Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen – am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain*. FBVA-Bericht, Nr. 117.
- Markart, G., Kohl, B., Sotier, B., Schauer, T., Bunza G., Stern R. (2004): *Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0)*. BFW Dokumentation, Nr.3.
- Markart, G., Perzl, F., Kohl, B., Luzian, R., Kleemayr, K., Ess, B., Mayerl, J. (2007): *Schadereignisse 22./23. August 2005 - Ereignisdokumentation und -analyse in ausgewählten Gemeinden Vorarlbergs*. BFW-Dokumentation, No. 5.
- Markart, G., Kohl, B., Sotier, B. (2016): *Bergwälder als Abflussregulatoren*. BFW Praxis-Info, Heft 40, 16–19.
- Markart, G., Klingsbigl, D., Lechner, V., Perzl, F., Rössel, M., Rössler, T., Bunza, G., Graf, A., Kohl, B., Meißl, G., Nagl, F., Scheidl, C., Suntinger, K., Werner N. (2020a): *Endbericht Projekt ITAT4041-BLÖSSEN - Auswirkungen verzögerter Wiederbewaldung im Schutzwald auf die Sicherheit vor Naturgefahren (insbesondere Abflussbildung)*. Bericht des BFW - Institut für Naturgefahren an die Auftraggeber: Landesforstdienste Tirol und Südtirol.+

Markart, G., Perzl, F., Lechner, V., Kohl, B., Hauser, P., Geitner, C., Meißl, G., Pircher, G., Scheidl, C., Stepanek, L., Teich M. (2020b): Handlungsanleitung – Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern. Interreg Italia-Österreich, European Regional Development Fund, BFW. doi:10.13140/RG.2.2.19306.06083. https://www.bfw.gv.at/wp-content/uploads/BFW_Handlungsanleitung_Optimierung_hydrologischer_Wirkung_Schutzwaldern_2020.pdf

Matthews, B., Mayer, M., Katzensteiner, K., Godbold, D.L., Schume, H. (2017): Turbulent energy and carbon dioxide exchange along an early-successional windthrow chronosequence in the European Alps. *Agric. For. Meteorol* 232, 576–594. <https://doi.org/10.1016/j.agrfo.rmet.2016.10.011>.

Mayer, A. C., Stöckli, V., Gotsch, N., Konold, W., Kreuzer, M. (2004): Waldweide im Alpenraum. Neubewertung einer traditionellen Mehrfachnutzung. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 155/2, 38–44.

Mayer, M., Matthews, B., Katzensteiner, K. (2016): Humusdynamik auf Waldstandorten in den nördlichen Kalkalpen. In: Katzensteiner, K., Ewald, J., Göttlein, A. (Hsg.): *Wälder der Kalkalpen – Strategien für die Zukunft – StratAlp*. Forstl. Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, Band 21, 39–60.

Mendel, H.G. (2000): *Elemente des Wasserkreislaufs - Eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung*. Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hsg.), Analytica, 244 p.

Minerbi, S., Cescatti, A., Cherubini, P., Hellrigl, K., Markart, G., Saurer, M., Mutinelli, C. (2006): Scots Pine dieback in the Isarco valley due to severe drought in the summer of 2003. *Forest Observer*, Vol. 2/3, 89–144.

Moeschke, H. (1987): *Abflussgeschehen im Bergwald. Untersuchungen in drei bewaldeten Kleinzugsgebieten im Fylsch der Tegernseer Berge*. Forstl. Forschungsberichte München, Bd. 169.

Mosley, M.P. (1982): Subsurface flow velocities through selected forested soils, South Island, New Zealand, *J. Hydrol.* 55, 65–92.

Mößmer E.M. (2000): *Wilde Wasser zähmt der Wald*. In: *Wald-Wasser-Leben*. Stiftung Wald in Not, 2000, p. 3-12. http://www.naturschutz-freiberg.de/index_htm_files/Wald-Wasser-Leben.pdf.

Müller, J. (2013): Die Bedeutung der Baumarten für den Landschaftswasserhaushalt. 15. Gumpensteiner Lysimeter-tagung 2013, 49–56.

Paluch, J.G., Gruba, P. (2012): Effect of local species composition in mixed stands with silver fir (*Abies Alba Mill.*). *Forestry*, 413-426, Vol. 84, No. 4.

Pereira, P., Gimeñez-Morera, A., Novara, A., Keesstra, S., Jordán, A., Mastro, R. E., Brevik, E., Azorin-Molina, C., Cerdà, A. (2015): The impact of road and railway embankments on runoff and soil erosion in eastern Spain. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 12, 12947–12985, doi:10.5194/hessd-12-12947-2015.

Prenner, D., Hrachowitz, M., Kaitna, R. (2019): Trigger characteristics of torrential flows from high to low alpine regions in Austria. *Science of the Total Environment*, 658, 958–972.

Pröll, G., Kohlpaintner, M., Göttelein, A., Katzensteiner, K. (2016): Untersuchungen zur Verjüngung im Bergwald der nördlichen Kalkalpen. In: Katzensteiner, K., Ewald, J., Göttlein, A. (Hsg.): *Wälder der Kalkalpen – Strategien für die Zukunft – StratAlp*. Forstl. Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, Band 21, 61-95.

Puhlmann, H., von Wilpert, K., Sucker, C. (2013): Können Wälder sicheren Hochwasserschutz bieten? *AFZ-Der Wald*, 13, 9–11.

Raspe, S., Häberle, K.H., Zimmermann, L., Grimmeisen, W. (2008): Was bedeuten milde Winter für den Wasserhaushalt unserer Wälder? In: FVA Freiburg (2008): *Tagungsbericht. Kolloquium des DBG-Arbeitskreises Waldböden und der Sektion Wald und Wasser im Verband Forstlicher Versuchs- und Forschungsanstalten in Freiburg am 24. und 25. April 2008*.

Reger, B., Göttlein, A., Katzensteiner, K., Ewald, J. (2016): Risikoabschätzung für Standortsdegradation. In: Katzensteiner, K., Ewald, J., Göttlein, A. (Hsg.): *Wälder der Kalkalpen – Strategien für die Zukunft – StratAlp*. Forstl. Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, Band 21, 9-38.

Riccobono, F., Schobesberger, S, Scott, CE orcid.org/0000-0002-0187-969X et al. (52 more authors) (2014): Oxidation products of biogenic emissions contribute to nucleation of atmospheric particles. *Science*, 344 (6185). pp. 717-721. ISSN 0036-8075 <https://doi.org/10.1126/science.1243527>.

Ristić R., Radić B., Nikić Z., Trivan G., Vasiljević N., Dragičević S., Živković N., Radosavljević Z. (2011): Erosion Control and Protection from Torrential Floods in Serbia – Spatial Aspects. *SPATIUM*, 25, 1–6, doi:10.2298/SPAT1125001R.

Rode M., Wenk G. (2005): Zwischenabfluss/hypodermischer Abfluss. Fallbeispiel: Zwei kleine hydrologische Untersuchungsgebiete im unteren Harz. In: Bronstert A. (Hsg.): *Prozesse der Abflussbildung*. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 13, 05, 69–78.

Rohner, B. Braun, S., Weber, P., Thürieg, E. (2016): Wachstum von Einzelbäumen: das Klima als Baustein im komplexen Wirkungsgefüge. In: Pluess, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Hsg.): *Wald im Klimawandel – Grundlagen und Adaptionsstrategien*, Haupt-Verlag, 137–155.

Rössler, T. (2019): Hydrologische Beurteilung unterschiedlicher Reaktionseinheiten mit dem Fokus auf Waldstandorten und Übertragung der beobachteten Unterschiede auf zwei Einzugsgebiete (Istanzbach bei See i.P.; Tanaser Bach bei Laas im Vinschgau). Masterarbeit, Institut für Geographie, Universität Innsbruck.

- Sass, O., Stöger, F., Weber, F., Juraschek, R., Sarcletti, S. (2019): Die Regeneration der Waldbrandhänge des Karwendelgebirges – Bestandsaufnahme und Ermittlung der Steuerfaktoren. In: Sass, O. (Hsg.): Waldbrände in den Nordtiroler Kalkalpen. Innsbrucker Geogr. Studien, Bd. 41, 129-177.
- Scheidl, C., Heiser, M., Kamper, S., Seidl, R., Rammer, W., Thaler, T., Klebinder, K., Nagl, F., Lechner, V., Markart, G. (2020): The influence of climate change and canopy disturbances on landslide susceptibility in steep forested headwater catchments. STOTEN - Science of the Total Environment. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140588>.
- Scherler, M., Reumund, J., Walthert, L. (2016): Wasserhaushalt von Wäldern bei zunehmender Trockenheit. In: Pluess, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Hsg.): Wald im Klimawandel – Grundlagen und Adaptionsstrategien, Haupt-Verlag, 39–60.
- Scherrer, D., Bader, M.K.F., Körner, C. (2011): Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies. *Agric. For. Meteorol.* 151, 1632–1640.
- Schume, H., Hager, H. & Jost, G. (2005): Water and energy exchange above a mixed European Beech – Norway Spruce forest canopy: a comparison of eddy covariance against soil water depletion measurement. *Theor. Appl. Climatol.* 81, 87–100. <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0086-z>.
- Schume, H., Hager, H., Jost, G. (2003a): Soil water dynamics and evapotranspiration in a spruce monoculture and a mixed broadleaf-Conifer stand. *Ecologia* 22 (3), 86–101.
- Schume, H., Jost, G., Hager, H. (2004): Soil water depletion and recharge patterns in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. *Journal of Hydrology*, 289, 1-4, 258-274; 0022-1694.
- Schume, H., Jost, G., Katzensteiner K. (2003b): Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) - European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. *Geoderma*, 112, 3-4, 273–287.
- Schuster, R., Oberhuber, W., Gruber, A., Wieser, G. (2016): Soil drought decreases water-use of pine and spruce but not of larch in a dry inner alpine valley. *Austrian Journal of Forest Science*, 133. Jg., Heft 1, 1–17.
- Schwarz M. (2011): Hydro-mechanical characterization of rooted hillslope failure: from field investigations to fiber bundle modelling. Diss ETH No. 19124.
- Schwarz, O. (1986): Zum Abflussverhalten von Waldböden bei künstlicher Beregnung. In: Einsele, G. (Hsg.): Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch, VCH-Forschungsbericht, 161–180.
- Schwärzel, K., Ebermann, S., Schalling N. (2012): Evidence of double-funneling effect of beech-trees by visualization of flow pathways using dye tracer. *Journal of Hydrology*, 470-471, 184-192.
- Sebold 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, doi.org/10.1088/1748-9326/ab4937.
- Soulsby C., Dick J., Scheliga B., Tetzlaff D. (2017): Taming the flood – How far can we go with trees? *Hydrological Processes*, 31: 3122–3126. [doi:10.1002/hyp.11226](https://doi.org/10.1002/hyp.11226)
- Stednick, J.D. (1996): Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of Hydrology*, 176, 79–95.
- Steinacher, R., Medicus, G., Fellin, W., Zangerl, C. (2009): The Influence of Deforestation on Slope (In)-Stability. *Austrian J. Earth Sciences*, Vol. 102/2, 90–99.
- Storck P. Lettenmaier D.P., Bolton S.M. (2002): Measurement of snow interception and canopy effects on snow accumulation and melt in a mountainous maritime climate, Oregon, United States. *Water Resources Research* 38/11, 1223 <https://doi.org/10.1029/2002WR001281> .
- Tudoroiu et al. 2018, M., Genesio, L., Gioli, B., Schume, H., Knohl, A., Brümmel, C., Miglietta, F. (2018): Solar dimming above temperate forests and its impact on local climate. *Env. Res. Lett.*, 13, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aac4e0/pdf>.
- Tunved, P. et al. (2006): High Natural Aerosol Loading over Boreal Forests. *Science* 312/14, 261-263. [doi:10.1126/science.1123052](https://doi.org/10.1126/science.1123052).
- Wahren, A., Feger, K.H., Schwärzel, K., and Münch, A. (2009): Landuse effects on flood generation-considering soil hydraulic measurements in modelling. *Adv. Geosci.*, 21, 99-107. <https://doi.org/10.5194/adgeo-21-99-2009>
- Wang, S., Zhang, Z., McVicar, T.R., Zhang, J., Zhu, J., Guo, J. (2012): An event-based approach to understanding the hydrological impacts of different land uses in semi-arid catchments. *J. Hydrol.*, 416-417: 50–59.
- Weihe, J. (1968): Niederschlagszurückhaltung durch den Wald, *Allg. Forstzeitung*, 522–525.
- Weinmeister, H.W. (1991): Die Bedeutung der flächenwirtschaftlichen Maßnahmen für die Wildbach- und Lawinerverbauung. In: Waldsanierung, Ideen-Vorschläge-Lösungen. Beiträge zur Hochschultagung, Wien / Österreich, Oktober 23-24, Univ. f. Bodenkultur, 1–12.
- Weis, W., Blumental, B., Göttlein, A. (2014): Wälder der nördlichen Kalkalpen: Ernährung, Wasser- und Stoffhaushalt - Angespannte Nährstoffversorgung typisch für viele Gebirgsstandorte. *LWF-aktuell* 99, 21. Jg, Ausgabe 2, 38-41
- Weis, W., Huber, C., Göttlein, A. (2008): Wald und Wasser – Waldverjüngung und Wasserqualität. *LWF aktuell* 66, S 9–12.
- Wemple, B.C., Jones, J.A., Grant, G.E. (1996): Channel network extension by logging roads in two basins, Western Cascades, Oregon. *Water Resources Bulletin*, Am. Water Res. Assoc., 32, 6, 1195–1207.

Wieser, G., Grams, T.E.E., Matyssek, R., Oberhuber, W., Gruber, A. (2015): Soil warming increased whole-tree water use of *Pinus cembra* at the treeline in the Central Tyrolean Alps. *Tree Physiology*, 1–10, doi:10.1093/treephys/tpv009.

Wilson, K. B., et al. (2002): Energy partitioning between latent and sensible heat flux during the warm season at FLUXNET sites, *Water Resour. Res.*, 38 (12), 1294, doi:10.1029/2001WR000989.

Zemke, J.J. (2014): Messung, Simulation und Modellierung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf Wirtschaftswegen in bewaldeten Einzugsgebieten. Dissertation, Fachbereich 3: Mathematik/Naturwissenschaften, Universität Koblenz-Landau.

Zhang, I., Dawes, W.R., Walker, G.R. (1999): Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Technical Report 99/12.

Ziemer, R.R. (1981): Roots and the stability of forested slopes. In: *Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*. I.A.H.S. Publ. No. 132 (Christchurch).

Zimmermann, L., Raspe, S., Schulz, C., Grimmeisen, W. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern, LWF-Wissen 66, 16–20. <http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/bodenklima/dateien/a66-wasserverbrauch-von-waeldern.pdf>.

Internet:

Bildarchiv-Boden.de (2021): Bildarchiv Boden (bildarchiv-boden.de), Datum der Abfrage: 17.3.2021.

Schutzwald und Immissionen – Waldsterben

Torsten W. Berger, Alfred Fürst, Herbert Hager und Robert Jandl

Ist-Zustand bzw. Stand des Wissens

In inneralpinen Inversionslagen sowohl im Nahbereich von Emittenten als auch in emittententfernen Gebieten wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl von Studien zur Höhe des Schadstoffeintrags sowie zur Auswirkung dieses Eintrages auf den Wald und den Boden durchgeführt z.B.; Arnoldstein (Halbwachs 1982), Lavanttal, Aichfeld/Murboden, Brixlegg (Kutschera et al. 2004), Leoben/Donawitz, Hochfilzen, Gleinalm (FBVA 1989, 1989b, 1990, 1991, 1995), Höhenprofil Zillertal und Achenkirch (Glattes und Smidt 1987, Stöhr 1988, Berger 1995, Herman und Smidt 1995, 1996, Berger and Katzensteiner 1996), FIW-Studien Glein, Böhmerwald und Außerfern (Führer und Neuhuber 1994, 1998). An-

hand dieser, durch das Waldsterbens der 80er Jahre initiierten Forschungen, konnten wichtige Kenntnisse zur kleinräumigen Heterogenität der Schadstoffbelastung und Sensibilität des Bergwaldes gewonnen werden, welcher einen Großteil des Schutzwaldes umfasst.

An aktuellen flächigen Erhebungen gibt es in Österreich verschiedene Biomonitoringerhebungen, z.B., das Bioindikatornetz und das Moosmonitoring. Mit dem Österreichischen Bioindikatornetz (<http://www.bioindikatornetz.at/>, Fürst et al. 2003, Fürst 2019) lassen sich mittels Blatt- und Nadelanalysen Schwefelimmisionswirkungen sowie Veränderungen in der Nährstoffversorgung und die Schwermetallbelastung (z.B., Quecksilber, Chrom, Nickel) im österreichischen Wald feststellen. Es liegen die Ergebnisse von 505 Punkten ab 1983 bis heute vor.



Abbildung 1: Phosphorgehalte 2019 beim Gesamtnetz – Bundesgebiet (alle Baumarten).

Quelle: Österreichisches Bioindikatornetz – WEB Datenbank - *BIN online*.



Nadelprobenahme im Herbst (Österreichisches Bioindikatornetz)

Während Schwefel als primärer Schadstoff deutlich an Bedeutung verloren (Fürst 2020) hat (33,1% der Punkte mit Grenzwertüberschreitungen der Schwefelgehalte in den Nadeln bzw. Blättern im Jahr 1983, 0,8% im Jahr 2019), beeinflussen andererseits nach wie vor Stickstoffeinträge, der gestiegene Kohlendioxidgehalt und längere Vegetationszeiten infolge der Klimaerwärmung das Wachstum der Bäume (Sterba 1996). Durch die damit verbundene verstärkte Bildung von Biomasse werden Nährstoffmängel – insbesondere Phosphor (Abbildung 1) und teilweise Magnesium und Zink – induziert, die mittelfristig ein Problem für das weitere Baumwachstum darstellen (Glatzel et al. 1992, Stefan and Gabler 1998, Fürst 2015, Jonard et al. 2015).

Das Moosmonitoring (Zechmeister et al. 2016) ist eine vergleichsweise sehr kostengünstige Methode des Umweltmonitorings. Seit 1995 kam es in 5-jährigen Intervallen zu flächendeckenden Untersuchungen. Internationale Maßnahmen zur Reduktion der Schwermetall Emissionen spiegeln sich auch im Moosmonitoring wider: Bis auf Arsen (Schwerpunktgebiet im Nordosten Österreichs aufgrund des landwirtschaftlichen Einsatzes von Pestiziden) und Chrom (ebenfalls Schwerpunktgebiet im Osten Österreichs, zurück zu führen auf durch Düngemittel bedingtes Chrom) ist ein Rückgang der Schwermetalldepositionen zu verzeichnen. An dieser Stelle sei betont, dass viele Wälder im landwirtschaftlich genutzten Nordosten Österreichs häufig auf „Flugsand- oder Flugerdeböden“ stocken und deshalb im Sinne des Bundesgesetzes als Standortsschutzwälder ausgeschieden wurden.

Die atmosphärische Deposition (Regen und Schnee) im Wald wird in Österreich auf derzeit 16 ICP-FORESTS/Level II Standorten ab 1995 erfasst (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests - ICP Forests; <http://www.waldmonitoring.at/>). Auf den meisten Standorten zeigt sich bis heute eine Abnahme der Schwefeldeposition, die Stickstoffeinträge bleiben zumeist gleich, auf manchen Flächen kommt es allerdings zu Zunahmen (Neumann et al. 2001

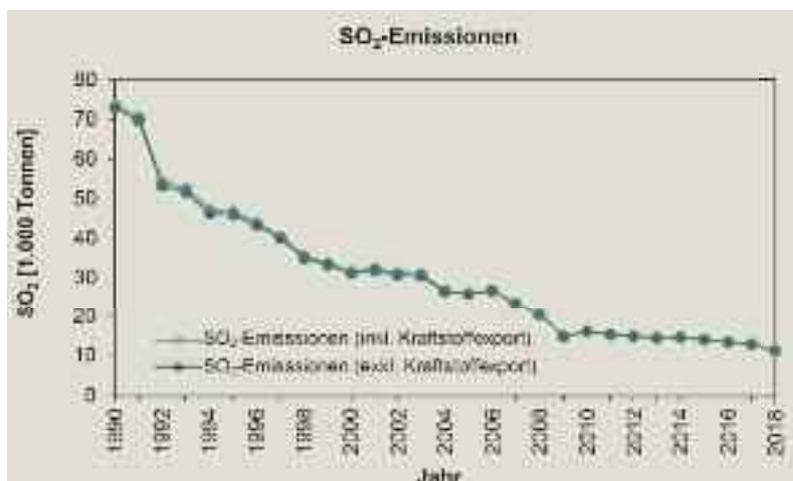


Abbildung 2: Trend der österreichischen Schwefeldioxid- Emissionen (inkl. und exkl. SO₂ aus Kraftstoffexport). Quelle: Umweltbundesamt 2020.

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE



Despositions-messung im Winter

und 2016). Diese Depositionsdaten spiegeln den Trend der Emissionen von Schwefeldioxid (SO_2) und Stickoxiden (NO_x) wider. So sind die Emissionen in Österreich von 1990 bis 2018 für SO_2 um 84 % (von 73.700 t auf 11.800 t) und für NO_x um 31 % (von 217.200 t auf 150.900 t) gesunken (Abbildung 2; Umweltbundesamt 2020). Europaweit haben im Kronendurchlass die Schwefel-flüsse um 60-70%, die Stickstoff-flüsse um 20-40% von 1997 bis 2017 abgenommen (FOREST EUROPE 2020).

Die Stoffkreisläufe (inklusive Flüsse via Bodenwasser und Streufall) werden auf 6 ICP-FORESTS/Level II Core Plots nur punktuell erfasst (Neumann et al.

2001 und 2016). Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt auf dem LTER (long term ecological research) Standort Zöbelboden im Kalkalpin mit Messserien seit 1992 zeigen, dass Boden und Waldbestand große Mengen an Stickstoff speichern können und Verluste über Nitratauswaschung kein großflächiges Problem darstellen, solange keine Waldstörungen auftreten (Dirnböck et al. 2020). Auf seichtgründigen Kalkstandorten können Störungen (Windwurf, Borkenkäfer, etc.) oder Schlägerungen durch gemeinsame Auswaschung des Nitrats mit Kalium die verfügbaren Kaliumvorräte rasch erschöpfen, da die Freisetzung aus der Verwitterung minimal ist (Katzensteiner 2003).

Aus dem Vergleich von Bodendaten der Österreichischen Waldzustandsinventur der Jahre 1987-1989 (FBVA 1992) mit einer Wiederholungsaufnahme im Rahmen des EU Projektes BioSoil der Jahre 2006-2007 (BFW 2013) anhand von 139 Waldbeständen Österreichs sind Luftreinhaltmaßnahmen ableitbar. Die Abnahme der Sauren Deposition (Saurer Regen aus den korrespondierenden Säuren Schwefel- und Salpetersäure) hat zu einer Erholung der Böden geführt. So sind die Boden pH-Werte auf den

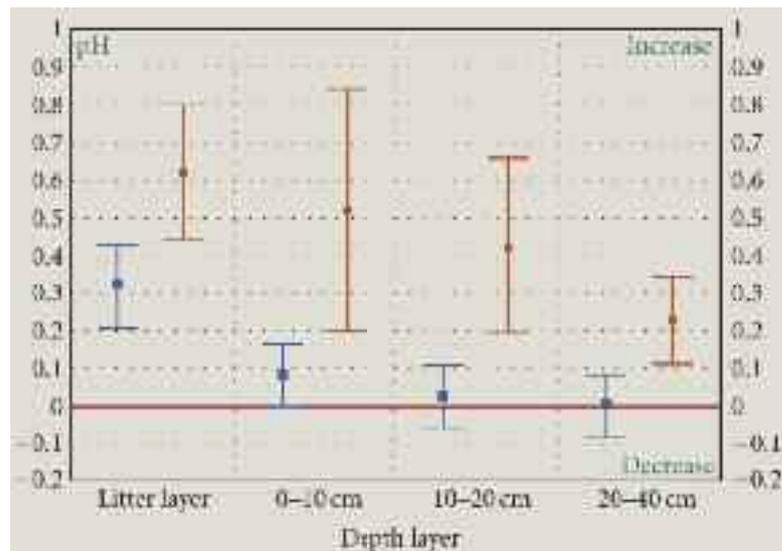


Abbildung 3: pH-Wert Änderung österreichischer Waldböden zwischen 1987 und 2007 für verschiedene Bodentiefen (Auflage und Mineralbodentiefen in cm), unterteilt in carbonatfreie (silikatisch, linke blaue Balken) und carbonatbeeinflusste (rechte rote Balken) Böden. Quelle: Jandl et al. 2012.

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

carbonatbeeinflussten Flächen bis in 40 cm Tiefe signifikant, auf den silikatischen Böden jedoch nur bis 10 cm Tiefe gestiegen (Abbildung 3; Jandl et al. 2012, Mutsch und Leitgeb 2009). Aus dem Vergleich von Bodenanalysen von 97 Buchenbeständen im Wienerwald zwischen den Jahren 1984 und 2012 folgern Berger et al. (2016) ebenfalls, dass sich der Oberboden leicht erholt hat, aber die Versauerung in tieferen Horizonten aufgrund der gegenwärtigen Freisetzung von historischem Schwefel im Ökosystem sogar teilweise weiterhin voranschreitet. Negative Input-Output Bilanzen von Sulfatschwefel werden für unsere Wälder für die nächsten Jahrzehnte prognostiziert (Dolschak and Berger 2020), weshalb das „Saure Regen“ Problem auch heute noch aktuell ist.

Ein weiterer Grund für die abnehmenden Nährstoffgehalte der Nadeln bzw. Blätter (siehe oben) mag in der Tatsache begründet sein, dass aufgrund der abnehmenden Säureeinträge die Ionenkonzentrationen der Bodenlösung (insbesondere K, Mg und Ca) verdünnt werden und die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor abnimmt

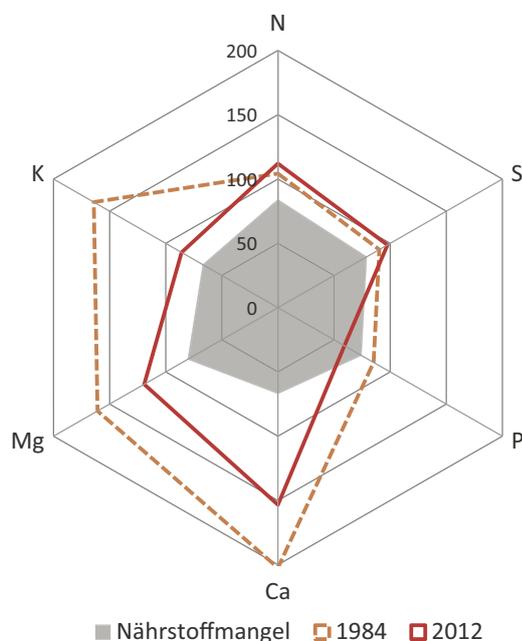


Abbildung 4: Mittlere Gehalte der Makronährstoffe von frischen Buchenblättern in Prozent der optimalen Ernährung in den Jahren 1984 und 2012. Graue Fläche: Nährstoffmangel. Quelle: Berger et al. 2016b.

(Abbildung 4; Berger et al. 2016 und 2016b, Jonard et al. 2012).

Die Kronenverlichtung, ein häufig verwendeter Indikator für den Gesundheitszustand des Waldbaumes, hat sich in Europa auf 72% der Flächen von 2010 bis 2018 nicht verändert (Verschlechterung: 19%; Verbesserung: 9%). Allerdings zeigten 26% der untersuchten Bäume Verlichtungsgrade über der kritischen Stufe von 25% auf (FOREST EUROPE 2020). Die Kronenverlichtung ist ein wertvolles Frühwarnsystem auf Reaktionen des Waldökosystems auf vielfältige Umweltveränderungen (z.B., Trockenstress, Wetterextreme, Insektenkalamitäten, Pilzbefall), weshalb die Daten nicht unmittelbar mit Deposition und Aufnahme von Schadstoffen in Zusammenhang gebracht werden können.

Die Filterwirkung (trockene Deposition) des (Schutz)waldes kann methodisch aus dem Vergleich von chemischen Stoffflussmessungen unter dem Kronendach und einer benachbarten Freifläche geschätzt werden (z.B., Berger et al. 2008). Stäube, die häufig den Schwermetallen zuzuordnen sind, können über Blattanalysen oder Streufalldaten ermittelt werden. Der Schwermetalleintrag in den Wald wurde/wird im Nahbereich von Emittenten mittels Bioindikation überwacht z.B.: Arnoldstein, Brixlegg (Fürst 2016), Treibach, Görtschitztal (Fürst et al. 2017), Leoben/Donawitz, aber auch der diffuse Hintergrundeintrag in den Waldboden über Streufall wird auf den 6 ICP-FORESTS/Level II Core Plots erfasst. So werden pro Jahr rund 750 kg Quecksilber nur als Hintergrundbelastung mit dem Streufall in den Österreichischen Wald eingetragen (Abbildung 5; Fürst und Tatzber 2020).

Schwermetalle werden in Österreich im Rahmen von nationalen bzw. europäischen Monitoringprogrammen (Nationales Depositionsmessnetz, Österreichisches Bioindikatornetz, Europäisches Moosmonitoringnetz (UN-ECE/ICP-Vegetation), Europäisches Waldmonitoring (UN-ECE/ICP-FORESTS), Waldbodenzustandsinventur bzw. BioSoil (EU), erfasst. Die Untersuchungen von Smidt et al. (2011) sowie Türtscher et al. (2017, 2017b) zeigen, dass eine unmittelbare und akute

SCHUTZWALD – ÖKOLOGIE

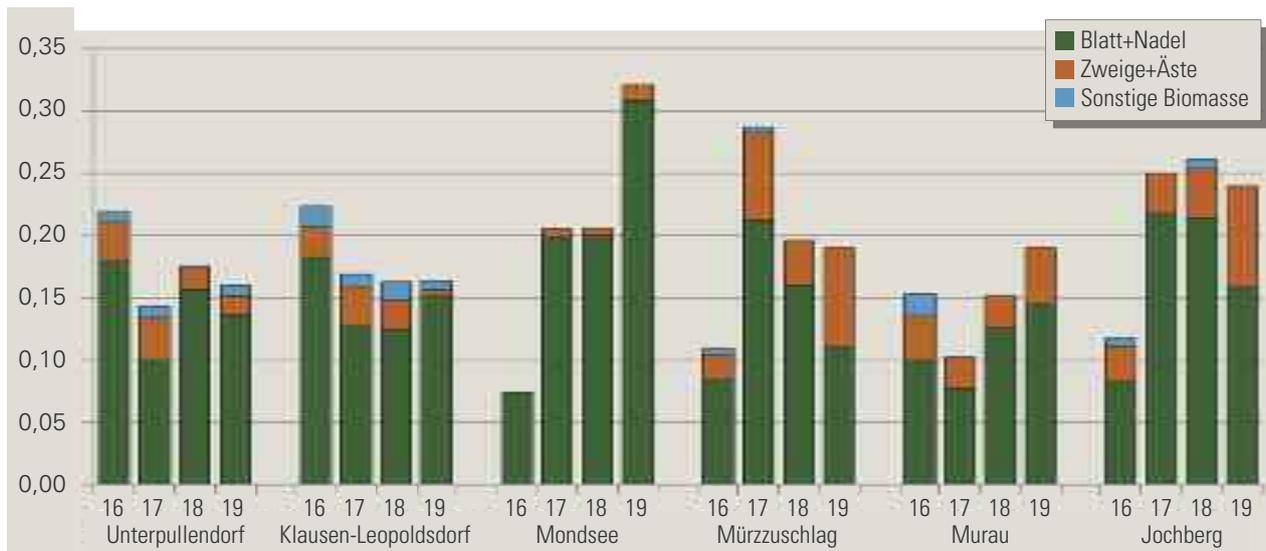


Abbildung 5: Eintrag von Quecksilber auf den Level II Flächen aus dem Streufall von 2016 bis 2019 (in g Hg/ha.a).
Quelle: Fürst und Tatzber 2020

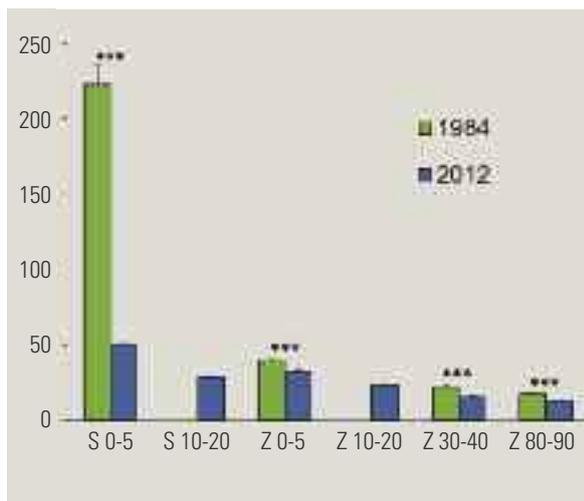


Abbildung 6: Mittlere Gehalte von Pb (mg kg⁻¹) in unterschiedlichen Bodentiefen im Stammfußbereich (S 0-5, S 10-20) und im Zwischenflächenbereich (Z 0-5, Z 10-20, Z 30-40 und Z 80-90) von 97 Buchenbeständen in den Jahren 1984 und 2012. Fehlerbalken sind ± Standardfehler. Alle Unterschiede zwischen den Jahren (paarweise t-Tests) waren hoch signifikant ($p < 0.001$). Quelle: Türtscher et al. 2017b.

Gefährdung der Waldvegetation durch Schwermetalleinträge nur an „hot spots“ zu erwarten ist. Trotzdem ist nicht auszuschließen, dass vor allem akkumulierende Schwermetalle (z.B., Quecksilber, Cadmium, Blei) langfristig gesehen auch in wenig immissionsbelasteten Gebieten zu physiologischen Beeinträchtigungen führen könnten.

Ebenso sollten die Altlasten aus den Zeiten der Verwendung von verbleiten Kraftstoffen (Abbildung 6), die vor allem Humus und Oberböden an vielen Waldstandorten an hochfrequentierten Verkehrsrouten belasten, in ihrer möglichen Langzeitwirkung nicht vernachlässigt werden.

Defizite

Fast alle der eingangs erwähnten Erhebungen wurden zwar im Wald, ohne aber speziell auf den Schutzwald einzugehen, durchgeführt. Auswertungen nur auf Schutzwaldflächen - auch nach forstlichen Wuchsgebieten und Seehöhenstufen - stratifiziert fehlen (z.B.: beim Bioindikatornetz). Mit dem verfügbaren Datenmaterial sollen die Schutzwaldflächen und die Punkte der Monitoringprogramme verschnitten werden. Wiederholungsaufnahmen der historischen Studien zur Feststellung der heutigen Ist-Situation fehlen im Schutzwald. Manche der angeführten Untersuchungen (z.B., Schwermetalleinträge über Streufall auf belasteten Standorten im Schutzwald) wurden bis dato nicht erhoben. Wir fassen somit zusammen, dass Kenntnisse über folgende Forschungsthemen für eine nachhaltige Schutzwaldbewirtschaftung fehlen:

Forschungsthemen

Waldernährung und atmosphärische Einträge

- Bioindikationsverfahren
- Langzeitwirkung und Erholung von historischen Schadstoffeinträgen
- Kritische Phosphor-, Magnesium und Zink Versorgung
- Schwermetallkontaminationen

Monitoring der Bodenchemie als Indikator für atmosphärische Einträge

- Veränderung der Basensättigung und pH-Werte als Folge der Deposition
- Phosphorversorgung und Bindungsformen
- Untersuchung von Kalkstandorten auf Kaliummangel

Filterwirkung des Schutzwaldes

- Vergleich traditioneller Luftschadstoffgebiete mit gering belasteten Hintergrundstandorten
- Windschutzstreifen in Hinblick auf Filterwirkung von Agrarchemikalien.

Literatur

Berger, T.W. 1995. Eintrag und Umsatz langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Waldökosystemen der Nordtiroler Kalkalpen. In: Ökosystemare Studien im Kalkalpin, Höhenprofile Achenkirch, Ergebnisse aus dem Bereich Rhizosphäre. FBVA Berichte, Nr. 87, 133-143.

Berger, T.W. and Katzensteiner, K. 1996. Deposition of atmospheric pollutants and its impact on forest ecosystems of the Northern Tyrolean Limestone Alps. *Phyton*, 36, 131-144.

Berger, T.W., Untersteiner, H., Schume, H., Jost, G. 2008. Throughfall fluxes in a secondary spruce (*Picea abies*), a beech (*Fagus sylvatica*) and a mixed spruce-beech stand. *For. Ecol. Manage.* 255, 605-618.

Berger, T.W., Türtscher, S., Berger, P., Lindebner, L. 2016. A slight recovery of soils from Acid Rain over the last three decades is not reflected in the macro nutrition of beech (*Fagus sylvatica*) at 97 forest stands of the Vienna Woods. *Environ. Pollut.* 216, 624-635.

Berger, T.W., Türtscher, S., Berger, P., Lindebner, L. 2016b. Was blieb vom Sauren Regen? - Teil 2. *Forstzeitung* 127 (11/16), 36-37.

BFW 2013. Projekt BioSoil-Europäisches Waldboden-Monitoring (2006/07). BFW-Berichte 145-I und 145-II, Bundesforschungszentrum für Wald, Wien.

Dirnböck, T., Brielmann, H., Djukic, I., Geiger, S., Hartmann, A., Humer, F., Kobler, J., Kralik, M., Liu, Y., Mirtl, M., Pröll, G. 2020. Long- and short-term inorganic nitrogen runoff from a karst catchment in Austria. *Forests*, 2020, 11, 1112.

Dolschak, K and Berger, T.W. 2020. Modeling the biogeochemistry of sulfur in beech (*Fagus Sylvatica* L.) stands of the Vienna Woods. *Model. Earth Syst. Environ.* 6, 1557-1572.

FBVA 1989. Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Teil I. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 1989 (163/I): 1-224.

FBVA 1989b. Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Teil II. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 1989 (163/II): 225-422.

FBVA 1990. Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Teil III. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 1990 (163/III): 98 S.

FBVA 1991. Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Teil IV. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 1991 (163/IV): 190 S.

FBVA 1992. Österreichische Waldboden- Zustandsinventur. Ergebnisse. Band I und II. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanst. 168. Österreich. Agrarverlag, Wien.

FBVA 1995. Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Teil V. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 1995 (163/V): 143 S.

FOREST EUROPE, 2020. State of Europe's Forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe.

Führer, F. und Neuhuber, F. (Hrsg.). 1994. Zustandsdiagnose und Sanierungskonzepte für belastete Waldstandorte in der Böhmisches Masse. Ergebnisse einer FIW Fallstudie. Forstl. Schriftenreihe, Univ. f. Bodenkultur, Bd. 7, 304S.

Führer, F. und Neuhuber, F. (Hrsg.). 1998. Zustandsdiagnose und Sanierungskonzepte für das Waldgebiet der Glein. Ergebnisse einer FIW Fallstudie. Forstl. Schriftenreihe, Univ. f. Bodenkultur, Bd. 13, 429S.

Fürst, A. 2015. Schlecht nährstoffversorgte Waldbäume. *Forstzeitung* 126(4), 7., Wien.

Fürst, A. 2016. Bioindikatornetz: Spitzenwerte für Quecksilber in Tirol. *Forstzeitung* 127(8), 14-15, Wien.

Fürst, A. 2019. 35 Jahre Österreichisches Bioindikatornetz: eine Erfolgsgeschichte der forstlichen Bioindikation. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, Düsseldorf, 79(4): 137-141. ISSN 0949-8036.

Fürst, A. 2020. Österreichisches Bioindikatornetz - Schwefelmissionseinwirkungen 2019. Bericht BIN-S. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 138, Wien, 22 S. + Anhang. ISBN: 978-3-903258-29-7.

- Fürst, A. und Tatzber, M. 2020. Der Wald als Quecksilbersenke. Forstzeitung 131(10), 26-28, Wien.
- Fürst, A., Smidt, S., Herman, F. 2003. Monitoring the impact of sulphur with the Austrian Bioindicator Grid. Environmental Pollution, 125(1), 13-19.
- Fürst, A., Hellig, K., Heimbürger, G., Wuggenig, W. 2017. Erfassung der Umweltbelastung mit Hexachlorbenzol und Quecksilber im Görtschitztal in Kärnten mit Fichten als Bioindikatoren. Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft, Düsseldorf, (4): 133-135. ISSN 0949-8036.
- Glattes, F. und Smidt, S. 1987. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Ergebnisse von Luft-, Niederschlags- und Nadelanalysen 1985. FBVA-Berichte, Wien 1987(20): 65 S.
- Glatzel, G., Jandl, R., Sieghardt, M., Hager H. (Hrsg.). 1992. Magnesiummangel in Mitteleuropäischen Waldökosystemen. Forstl. Schriftenreihe, Univ. f. Bodenkultur, Bd. 5, 197S.
- Halbwachs, G. 1982. Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein; Klagenfurt: Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten; 367 S. In: Carinthia II / Sonderheft.
- Herman, F. und Smidt, S. (Hrsg.). 1996. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen. = Ecosystematic Studies in the Limestone Alps - Risk Assessment of Forest Ecosystems. Introduction and Objectives. FBVA-Berichte 94, Wien, 291 S.
- Herman, F. und Smidt, S. 1995. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Bewertung der Belastung von Gebirgswäldern, Schwerpunkt Rhizosphäre. FBVA-Berichte 87, Wien, 288 S.
- Jandl, R., Smidt, S., Mutsch, F., Fürst, A., Zechmeister, H., Bauer H., Dirnböck, T. 2012. Acidification and nitrogen eutrophication of Austrian forest soils. Applied and Environmental Soil Science, 2012, 1-9.
- Jonard, M., Legout, A., Nicolas, M., Dambrine, E., Nys, C., Ulrich, E., van der Perre, R., Pontette, Q. 2012. Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term integrated perspective. Global Change Biol. 18, 711-725.
- Jonard, M., Fürst, A., Verstraeten, A., Thimonier, A., Timmermann, V., Potočić, N., Waldner, P., Benham, S., Hansen, K., Merilä, P., Ponette, Q., de la Cruz, A.C., Roskams, P., Nicolas, M., Croisé, L., Ingerslev, M., Matteucci, G., Decinti, B., Bascietto, M., Rautio, P. 2015. Tree mineral nutrition is deteriorating in Europe. Global Change Biol. 21, 418-430.
- Katzensteiner, K. 2003. Effects of harvesting on nutrient leaching in a Norway spruce (*Picea abies* Karst.) ecosystem on a Lithic Leptosol in the Northern Limestone Alps. Plant Soil 250, 59-73.
- Kutschera, U., Winter, B., Böhmer, S., Fallmann, H., Nagl, C., Schindler, I., Jamek, K., Scheibengraf, M., Schramm, C., Roder, I., Wiesenberger, H., Riss, A., Baumann, R., Spangl, W., Offenthaler, I., Müller, D., Weihs, S., Weiss, P., Aichmayer, S., Karigl, B., Asehauer, A., Sonderegger, G., Schneider, J., Szednyj, I., Chovanec, A., Tiefenbach, M., Freudenschuß, A., Glas, N., Hanus-Illyar, A., Grath, J., Hackl, S., Vogel, W., Sebesta, B. 2004. Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten, Umweltbundesamt GmbH Report M-168, 599S, ISBN 3-85457-757-5.
- Mutsch, F. und Leitgeb, E. 2009. BioSoil – das europäische Waldboden-Monitoring. BFW-Praxisinformation Nr. 20, 13-15.
- Neumann, M., Kindermann, G., Kristöfel, F., Fürst, A., Leitgeb, E., Englisch, M., Michel, K., Gartner, K. 2016. Waldzustandsmonitoring in Österreich 20 Jahre Intensivbeobachtungsflächen (Level II). Bundesforschungszentrum für Wald - BFW, Wien, BFW-Berichte (152) - 246 S.
- Neumann, M., Schnabel, G., Gärtner, M., Starlinger, F., Fürst, A., Mutsch, F., Englisch, M., Smidt, S., Jandl, R., Gartner K., 2001. Waldzustandsmonitoring in Österreich: Ergebnisse der Intensivbeobachtungsflächen (Level II). Forstliche Bundesversuchsanstalt - Waldforschungszentrum, Wien, FBVA-Berichte (122) - 235 S.
- Smidt, S., Bauer, H., Fürst, A., Jandl, R., Mutsch, F., Seidel, C., Zechmeister, H. 2011. Schwermetalle und Radionuklide in österreichischen Waldökosystemen = Trace Metals and Radionuclides in Austrian Forest Ecosystems. Centralblatt für das Gesamte Forstwesen, 128(4), 251-278, Wien.
- Stefan, K., and Gabler, K. 1998. Connections between Climatic Conditions and the Nutritional Status of Spruce Needles Determined from the Austrian Bio-Indicator Grid In: Environmental Science and Pollution Research. International 1998, 5(1), 0305 In: No. 1, special issue.
- Sterba, H. 1996. Forest Decline and Growth Trends in Central Europe – a Review, European Forest Institute Research Report No. 5 Growth Trends in European Forests, Edited by H. Spiecker, K. Mielikäinen, M. Köhl and J.P. Skovsgaard, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 149-165.
- Stöhr, D. 1988. Winterliche Schadstoffdeposition in einem inneralpinen Tal - am Beispiel des Zillertales. Dissertation, Institut für Forstökologie, Univ. f. Bodenkultur, Wien, 161 S.
- Türtscher, S., Berger, P., Lindebener, L., Berger, T.W. 2017. Declining atmospheric deposition of heavy metals over the last three decades is reflected in soil and foliage of 97 beech (*Fagus sylvatica*) stands in the Vienna Woods. Environ. Pollut; 230, 561-573.
- Türtscher, S., Berger, P., Lindebner, L., Berger, T.W. 2017b. Rückgang der Schwermetallgehalte - Teil 2. Forstzeitung 128 (10/17), 28-30.
- Umweltbundesamt 2020: Emissionstrends 1990-2018. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich (Datenstand 2020). Report Rep-0736, Wien.
- Zechmeister, H., Kropik, M., Moser, D., Denner, M., Hohenwallner, D., Hanus-Illyar, A., Scharf, S., Riss, A., Mirtl, M. 2016. Moos-Monitoring in Österreich. Aufsammlung 2015, Report Rep-0595, Umweltbundesamt GmbH, ISBN 978-3-99004-409-4, 176 S.





Schutzwald – Bewirtschaftung

Schutzwaldbau und Schutzwaldbewirtschaftung

Manfred J. Lexer, Christian Scheidl, Silvio Schöler, Harald Vacik,
Norbert Putzgruber und Frank Perzl

Hintergrund

Voraussetzung für eine zielorientierte Planung und Umsetzung von waldbaulichen Bewirtschaftungskonzepten im Schutzwald (Standort- und Objektschutzwald) sind valide und konsistente Zielsetzungen. Dies erfordert die Berücksichtigung von Eigentümerinteressen (häufig Interesse an Holzproduktion; wenn die Produktivität zu gering ist, dann Interesse an Kostenvermeidung), formalen (Objektschutz, Waldweide) und informellen (Tourismus, Jagdinteressen) gesellschaftlichen Ansprüchen. Unter dem Aspekt einer optimierten Wildbewirtschaftung ist die Habitatgestaltung durch den Waldbau ein zusätzlicher Zielaspekt. Die Kenntnis der Abtauschbeziehungen („trade-offs“) zwischen den Nutzungsinteressen, die sich durch unterschiedliche Bewirtschaftungsformen ergeben, ist Grundlage von situationsangepassten Lösungen. In Wäldern mit prioritärer Schutzfunktion ist die Frage nach dem minimal notwendigen proaktiven Waldbaumaßnahmen zur Aufrechterhaltung von Schutzwirkung, Resistenz und Resilienz im Lichte von effizientem Mitteleinsatz relevant. Bundesweite Monitoringverfahren (Österreichische Waldinventur, Wildeinflussmonitoring) zeigen auf, dass im Schutzwald signifikante Verjüngungsdefizite bestehen, für die maßgeblich zu hoher Verbissdruck durch Schalenwild verantwortlich ist. Teilweise resultiert der mangelnde Verjüngungserfolg aber auch aus nicht situationsadequaten Hiebsformen zur Einleitung und Förderung der Verjüngung, oder Verjüngungsmaßnahmen fehlen gänzlich. Angesichts der Notwendigkeit, Stabilität und Resilienz von Schutzwäldern wegen sich im Klimawandel intensivierender Störungsregime und der damit verbundenen Schadenspotentiale zu verbessern, zeigt dieser Befund mittel- bis langfristig beträchtliche Risikopotentiale an.

Für die Schutzwaldbewirtschaftung erscheinen derzeit folgende Aspekte als besonders relevant.

- Situationsangepasste Hiebsformen zur Verjüngung von Berg- und Gebirgswäldern im Seilgelände, die geeignet sind (a) das notwendige Baumartenspektrum für klimafitte Wälder zu generieren, und (b) die Objektschutzwirkung nachhaltig sicherzustellen
- Eine Abklärung des notwendigen und die Berücksichtigung des sich verändernden Baumartenspektrums zur Sicherstellung der Schutzwirksamkeit gegen gravitative Naturgefahren (Steinschlag, Lawinen, Hangrutschung und Erosion)
- Das Management des sogenannten „protection gaps“ (Das Zeitfenster ungenügender Schutzwirkung bzw. der Zeitbedarf für die Wiederherstellung der Schutzwirkung) nach Störungen in Objektschutzwäldern in Verbindung mit technischen Massnahmen
- Die Möglichkeiten und Grenzen von multifunktionalen Schutzwaldbewirtschaftungskonzepten, insbesondere in Abstimmung mit Konzepten zur Wildbewirtschaftung zur Regulierung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung und die Stabilität von Schutzwäldern.
- Das Management des Rekrutierungsrisikos von Wildholz in gerinnenahen Schutzwaldflächen (Totholzmanagement) versus der Erhaltung der Hangstabilität und Retentionskapazität durch Bestockung und Totholz im Zusammenhang mit Fragen des Sedimenthaushaltes und der Gewässerbiologie
- Die Überarbeitung von Waldpflege- und Durchforstungskonzepten, um die Einzelbaumstabilität aufgrund der zunehmende Wuchsleistung von Schutzwäldern sicherzustellen.



Stand des Wissens

Verjüngungsverfahren und Hiebsformen

Wegen der besonderen ökologischen Bedingungen in Gebirgswäldern ist die undifferenzierte Anwendung flächiger Hiebsformen (Saumschläge, Kahlschläge) zur Waldverjüngung nicht angebracht. Insbesondere in Objektschutzwäldern sind, je nach Gefahrenprozess und Hangsituation, solche Verfahren nicht anwendbar. Solche Bedingungen und Funktionsansprüche erfordern die situationsangepasste Anwendung von kleinflächigeren Hiebsformen zur Verjüngungseinleitung und -förderung. Hiebsformen wie Schlitz- und Lochhiebe unterschiedlicher Größe und Form sind in der Praxis der Waldbewirtschaftung entweder nicht bekannt oder sie werden wegen der oft vermuteten mangelnden forsttechnischen Umsetzbarkeit im Seilgelände nicht angewendet. Bei fachlich richtiger Anwendung ermöglichen diese Verfahren

- die Steuerung der entscheidenden limitierenden ökologischen Standortfaktoren im Gebirgswald (Wärme, Licht, Schneeschub/-gleiten, fallweise an südexponierten Standorten die Wasserversorgung),
- die Minimierung der Holzernteschäden am verbleibenden Bestand und der Verjüngung, und
- die effiziente Bringung mittels Trageseilsystemen. Die Forschung in Naturwaldreservaten liefert Erkenntnisse über die Naturverjüngung und Dynamik von Bergwaldökosystemen, die als Grundlage für eine zielgerichtete wie extensive Steuerung der Waldentwicklung dienen können.

Forschungsbedarf

- Auswirkungen von kleinflächigen, räumlich verteilten Hiebsformen und Eingriffsstärken auf die Schutzwirkung, die Resistenz und die Resilienz von Gebirgswäldern.
- Auswirkungen unterschiedlicher kleinflächiger Hiebsformen auf Schneeakkumulation und

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Schneedeckendauer und Schneedeckenbewegung stellt insbesondere für die Waldverjüngung eine abzuklärende Fragestellung dar.

- Analyse der Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Naturverjüngung von Hochstauden Fichten-(Tannen-) Wäldern und tiefsubalpinen Fichtenwäldern unter Berücksichtigung der Konkurrenzvegetation, Lichtmangel, Totholz und anderer Hemmfaktoren.

In Bezug auf die praktische Umsetzung werden **Monitoring- und Demonstrationsflächen** benötigt, die anhand gut dokumentierter und wissenschaftlich begleiteter Fallbeispiele aufzeigen, wie kleinflächige Hiebsformen im Seilgelände zu Holzernte und Verjüngung eingesetzt werden können und welche Effekte damit generiert werden.

Einfluss der Baumartenmischung und Auswirkungen des sich verändernden Baumartenspektrums im Schutzwald

Obwohl für einige Naturgefahrenprozesse die besonders schutzwirksamen Baumarten bekannt sind (z.B. wintergrüne Arten auf Lawinenabruchflächen, Lärche und bestimmte harte Laubbölder im Steinschlagschutzwald), gibt es bei bestimmten Gefahrenprozessen (z.B. Rutschungen) noch wenig konkretes und anwendbares Wissen über die Wirkung unterschiedlicher Arten und bei allen Prozessen wenig in Bezug auf die erforderlichen und optimalen Mischungsverhältnisse. Die Wechselwirkung von Mischung, Struktur und Dichte in verschiedenen Entwicklungsstadien erschwert die Empfehlung bestimmter Baumartenkombinationen. Vorhan-



SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

dene Richtlinien zur Schutzwaldbewirtschaftung vernachlässigen einen Einfluss der Baumartenzusammensetzung auf die Schutzwirkung, oder sie verweisen paradigmatisch auf das Spektrum der potenziellen (natürlichen) Waldgesellschaft. Abgesehen davon, dass dieses Spektrum sehr breit sein kann, garantiert es nicht unbedingt eine optimale Schutzwirkung und stellt angesichts des Klimawandels keine adequate Planungsgrundlage dar. Bei bestimmten Gefahrenprozessen gibt es nur einen indirekten Nachweis auf unterschiedliche Eignungen der Baumarten oder tradierte Annahmen und zeitlich statische Betrachtungen, die durch Beobachtungen des realen Naturgefahrengeschehen nicht oder nur wenig belegt sind.

Die etablierten (natürlichen) Waldtypen in weiten Bereichen des österreichischen Gebirgswaldes sind Fichten-, Fichten/Lärchen-, Fichten/Tannen-, Fichten/Tannen/Buchen- und Buchenwälder. Die Fichte nimmt aktuell lt. Österreichischer Waldinventur den bei weitem dominierenden Anteil ein. In einem wärmeren Klima wird die Störungintensität und -häufigkeit durch Borkenkäfer deutlich zunehmen. In Verbindung mit Sturm- und Schneebruchschäden werden die Störungsregime an sich an Intensität zunehmen. Um geforderte Waldökosystemleistungen, insbesondere die Schutzwirkung gegen gravitative Naturgefahren nachhaltig zu sichern, wird der Mischbaumartenanteil (Lärche, Tanne, Buche, Bergahorn, Bergulme, Esche, Weisskiefer, Eberesche, Birke) zu erhöhen sein. Das kann bei der Waldverjüngung durch die Anwendung der richtigen Waldbautechnik und durch die Verringerung des Verbissdrucks durch Schalenwild erfolgen.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob auch nicht-heimische Baumarten (z.B. Douglasie bis in mittlere Lagen, Küstenkiefer auch in höheren Lagen), die bereits bei vergangenen Schutzwaldaufforstungen erprobt wurden, auch zur Diversifizierung des Baumartenspektrums und einer Erhöhung der Resilienz beitragen können. Mit der Änderung von abiotischen Key-Drivern der Gefahrenprozesse und der Verschiebung des aktuellen Baumartenspektrums wird sich die

Schutzwirkung bestimmter Bestandestypen verändern. Derzeit setzen viele Konzepte in der Praxis bis in tiefe Lagen im Fall von Lawinen- und Steinschlagschutzwäldern auf hohe bis ausschließliche Nadelholzanteile (Fichte, Lärche), da die Erhöhung des Tannen- und Laubholzanteils mit Schwierigkeiten verbunden ist). Dies wird bei steigendem Borkenkäferisiko so nicht fortsetzbar sein. Aber auch die Erhöhung des Laubholzanteils könnte bei bestimmten Gefahrenarten Prozessauslösungs- und Schadensrisiken erhöhen bzw. die Schutzwirkung verringern. Entsprechend werden waldbauliche Pflegekonzepte, die schutzrelevante Bestandes- und Baummerkmale beeinflussen (Stammzahl, Kronenbreite, Durchmesserverteilung) zu adaptieren sein.

Forschungsbedarf

- Verjüngungs- und Waldpflege Techniken für Mischbestände in montanen Wäldern mit Objektschutzwirkung
- Schutzwirksamkeit von Baumarten- und Mischbeständen in Bezug auf gravitative Naturgefahren und fallweise Anpassung der Indikatoren der Schutzwirksamkeit
- Evaluierung von nicht-heimischen BA im Schutzwald

Das schutzunwirksame Zeitfenster und der Zeitbedarf für die Wiederherstellung der Schutzwirkung in Objektschutzwäldern nach Kalamitäten („protection gap“)

Das durch Kalamitäten (Sturm, Borkenkäfer, Waldbrand) oder Verjüngungsmaßnahmen entstehende schutzunwirksame Zeitfenster („window of susceptibility“ oder „protection gap“) und der Zeitbedarf für die Wiederherstellung der Schutzwirkung ist von besonderem Interesse für das Naturgefahren- und Waldmanagement. Die Wirkung von Jungwuchs auf die Wahrscheinlichkeit und Intensität der Auslösung von Naturgefahrenprozessen wie Lawinen und Rutschungen ist unbekannt und dürfte prozess- und standortsspezifisch stark variieren. Außerdem kann die Schutzwirksamkeit des Jungwuchses nicht isoliert betrachtet werden, sondern hängt

von der Gesamtsituation mit Einflussfaktoren wie z.B. dem verbleibenden Baumholz in Abhängigkeit von Hiebsform und Eingriffsstärke und dem Totholz ab. Die Wirkung des Jungwuchses auf Naturgefahrenprozesse wird in waldbaulichen Richtlinien sehr pauschal mit widersprüchlichen Zielvorgaben behandelt. So werden in der Literatur und in Richtlinien für Rutschungen (im Gegensatz zu Lawinenanbrüchen) eine Verringerung des Zeitfensters und größere zulässige Eingriffe bei Vorverjüngung angenommen, die jedoch im realen Ereignisfall nach Beobachtungen nicht zum Tragen kommen. Basierend vor allem auf empirischen Versuchen in der Schweiz wurde die Effektivität und zeitliche Entwicklung der Schutzwirkung gegenüber Lawinen und Steinschlag nach Kalamitäten und unterschiedlichen kurativen Maßnahmen (Räumen und Aufforsten, teilweise Räumung und Kombination von Kunst- und Naturverjüngung, belassen des Totholzes und Naturverjüngung) untersucht. Aus der Priorisierung der Schutzwirkung in Verbindung mit der abgeschätzten Länge der zeitlichen Lücke ohne ausreichenden Schutz ergibt sich die Notwendigkeit von zusätzlichen technischen Maßnahmen. Im Zusammenhang mit Rutschungen überwiegen indirekte Evidenzen, die an der Erhöhung der Scherfestigkeit durch die Wurzelkohäsion ansetzen. Die bisherigen Untersuchungen decken die Auswirkungen verschiedener Verjüngungsalternativen und extremer Ereignisse noch nicht umfassend ab. Diese Thematik wird im Klimawandel wegen der zu erwartenden Intensivierung der Störungsregime bei geringer Resistenz und Resilienz der Bergwaldökosysteme von hoher Relevanz sein.

Forschungsbedarf

- Oberflächenrauigkeit und Schutzwirkung von Jungwuchs in Lücken, Schlag- und Borkenkäferstörungsflächen in Bergwäldern (stehendes und liegendes Totholz)
- Waldtypen- und standortsspezifische Abschätzung des „protection gap“ – empirische Beobachtung und Analyse des Auftretens von Naturgefahrenprozessen bei verschiedenen Verjüngungsverfahren
- Entwicklung von Entscheidungshilfen für die Behandlung von Störungsflächen (Räumen,

Belassen, Aufforsten, Verbauung, ..) in Abhängigkeit von Standort, Baumart, Flächengröße und möglicher Naturgefahr

Möglichkeiten und Grenzen von multifunktionalen Schutzwaldbewirtschaftungskonzepten

Die Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen von multifunktionalen Bewirtschaftungskonzepten bezieht sich im Schutzwald (vor allem im Objektschutzwald) wegen der Priorisierung der Schutzwirkung insbesondere auf Einschränkungen bei Hiebsformen- und Eingriffsstärken sowie auf Waldpflegekonzepte. Aufgrund sinkender Holzerlöse und steigender Bewirtschaftungskosten setzen Forstbetriebe zunehmend auch auf neue Geschäftsfelder außerhalb der traditionellen Holzvermarktung, um innovativ andere Waldökoystemdienstleistungen vermarkten zu können. In der Regel sind die Freiheiten beim Abtausch zwischen Waldökosystemleistungen mehr oder weniger stark eingeschränkt. Das betrifft insbesondere die Jagd und Wildbewirtschaftung. Erfolgversprechende Bewirtschaftungskonzepte im Schutzwaldbereich bedürfen der Abstimmung aller raumwirksamen Interessen oder schwer umzusetzender funktionaler Trennung. Dies umfasst die Holzproduktion (in der Regel durch den Grundeigentümer vertreten), Jagdausübung (Jagdausübungsberechtigte), Naturschutz-, Tourismus- und Erholungsindustrievertreter. Um Prioritäten und Konzepte umsetzen zu können, muss auch die Schutzfunktion und die Schutzwirkung objektiv und nachvollziehbar festgestellt und kommuniziert werden. Inwieweit und wo funktionale Trennungen umsetzbar und einem multifunktionalen Ansatz überlegen wären, ist fraglich. Wegen der Sensitivität der Interessen und von Waldökosystemen in Bezug auf Stabilität und Verjüngung sind Monitoringsysteme (Wildeinfluss, Waldzustand) stringent in die Planung und Umsetzung solcher Konzepte (z.B. im Rahmen von Flächenwirtschaftlichen Projekten) einzubeziehen.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Eindimensionale Lösungsansätze sind in der Praxis als wenig erfolgversprechend erkannt und meist gescheitert (Aufforstungskonzepte, Einleitung der Waldverjüngung).

Forschungsbedarf

- Abtauschbeziehungen (trade-offs) zwischen alternativen Zielsetzungen (Waldökosystemleistungen) im Schutzwald (Beeinflussung anderer Waldleistungen bei prioritärer Schutzfunktion?)
- Grenzen der Integration von multiplen Waldökosystemleistungen
- Verbesserung der Aussage der Monitoring-systeme (Mittel- bis Langfristinterpretation der Ergebnisse des WEM, Schutzwaldmonitoring)

Management des Rekrutierungsrisikos von Wildholz in gerinnenahen Schutzwaldflächen (Totholzmanagement)

Die Bewirtschaftung von gerinnenahen Schutzwaldflächen (Grabeneinhangswäldern) beeinflusst die Gefahr und das Schadensrisiko durch Wildbachprozesse (torrential floods), wie Hochwässer mit mehr oder weniger starkem Geschiebetrieb oder Muren. Solche Prozesse sind in der Lage große Mengen an Wildholz zu mobilisieren und erhöhen damit ihr Schadenspotential erheblich. Bei der Bewirtschaftung ist einerseits der Einfluss der Bestockung auf die Hang- bzw. Böschungsstabilität und andererseits das Rekrutierungsrisiko von Wildholz zu beachten. Aus Sicht des Naturgefahrenmanagements gilt es die Retentionskapazität von Schutzbauwerken, entsprechend dem potentiellen Anteil von lebenden Bäumen und Totholz, zu berücksichtigen. Während Maßnahmen zur Renaturierung, wozu auch das Stehenlassen von Totholz zählt, als nature-based solutions diskutiert werden und die nordamerikanischen Literatur positive Einflüsse von Wild- und Schwemmh Holz auf das Sedimentbudget und die Habitatqualität erwähnt, wird in der europäischen Literatur tendenziell der negative Einfluss von

Wild- und Schwemmh Holz betont. Dabei gilt die Entfernung von Wild- und Schwemmh Holz aus dem unmittelbaren Gerinnebereich ist eine übliche, aber kostenintensive Maßnahme. Die langfristigen Wirkungen des präventiven streifenförmigen Entfernens der Bestockungen entlang der Bäche ist jedoch fraglich, da dies, aufgrund abnehmender bzw. fehlender Wurzelarmierung des Bodens, zu einer erhöhten Erosionstätigkeit führen kann. Die Schweizer Richtlinie für Schutzwaldbewirtschaftung (NaiS) und die Erweiterung für Wälder an Fließgewässern (Nasef) überzeugen aufgrund der qualitativen Empfehlungen mit geringem Bezug zum Wildbachsystem und dem Gewässerabschnitt nicht. Im Umgang mit bachnahen Waldbeständen gibt es in Österreich unterschiedliche Strategien. Dies liegt neben ihrer ambivalenten Funktion - einerseits sind sie eine Quelle für Wildholz und andererseits dienen sie als Schutz vor Hangerosion - auch in der Art und Weise wie solche Waldbestände in Österreich rechtlich behandelt werden. Generell ist im Rahmen von Waldpfl egemaßnahmen sicherzustellen, dass in gerinnenahen Bereichen keine instabilen und/oder wenig vitale Baumindividuen auf der Fläche verbleiben. Nach dem Forstgesetz 1975 liegt die Zuständigkeit zur Abschätzung der Wildholzgefährdung durch gerinnenahen Waldflächen bei den jeweiligen Gemeinden. Darüber hinaus besteht auch eine Erhaltungspflicht nach dem Bundeswasserrechtsgesetz, die auch für Wildbäche in steilen Einzugsgebieten gilt (WGR § 47). Die Rechtslage in Österreich legt somit die Verantwortung auf die Gemeinden, sowohl bei der Erhebung von potentiellen Wildholz-Rekrutierungswegen als auch bei deren Behandlung.

Forschungsbedarf

- Priorisierung von Gerinneabschnitten hinsichtlich ihrer Wildholz-Vulnerabilität.
- Identifizierung idealer gerinnenaher Bestandstypen und des damit verbundenen Managements unter aktuellen und zukünftigen Klimabedingungen.
- Entwicklung von Richtlinien für ein optimiertes Wildholz Management.

Waldpflege und Durchforstung

Mit dem Klimawandel ist in den letzten Jahrzehnten nicht nur das Wachstum in tieferen Lagen massiv angestiegen, sondern auch die Wuchsleistung in Berg- und Schutzwäldern hat sich deutlich erhöht und wird bei fortgesetzter Temperaturerwärmung weiter zunehmen. Damit steigt die Problematik unzureichender und zu spät durchgeführter Stammzahlreduktion und Durchforstung und damit die negativen Auswirkungen auf die Entwicklung von Kronendimensionen und H/D-Verhältnis. Dies gefährdet die Stabilität in zukünftigen Bestandesentwicklungsphasen und verringert die Flexibilität in bezug auf mögliche waldbauliche Verjüngungsverfahren. Daher ist zu überprüfen, ob die in tieferen Lagen bereits gut erprobten Modelle mit frühzeitigen, kräftigen Durchforstungen auch in Schutzwäldern genutzt bzw. adaptierte werden sollten und inwieweit die damit verbundenen Stammzahlen Beeinträchtigungen für die Schutzwirkung darstellen.

Forschungsbedarf

- Anlage von Durchforstungsversuchen in unterschiedlichen Schutzwaldsituationen
- Abschätzung der Schutzwirkung verschiedener Waldpflege- und Durchforstungskonzepte und deren Integration in Schutzwaldmodelle

Literatur

Anonymous 2019. BFW Praxisinformation Nr. 48. Bundesweites Wildeinflußmonitoring 2016-2018. Bundesforschungszentrum für Wald, 55 Seiten.

Frehner M, Wasser B, Schwitter R (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern

Lexer, M.J., Hönninger, K., Scheffinger, H., Matulla, Ch., Groll, N., Kromp-Kolb, H., Schadauer, K., Starlinger, F., Englisch, M. 2002. The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: A large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data. *For.Ecol.Manage.* 162:53-72.

Frey, W., Thee, P. (2002): Avalanche protection of wind-throw areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. *Forest, Snow and Landscape Research* 77, 1/2: 80-107.

Irauschek, F., Rammer, W., Lexer, M.J. (2017a). Evaluating multifunctionality and adaptive capacity of mountain forest management alternatives under climate change in the Eastern Alps. *European Journal of Forest Research* 136:1051-1069, DOI 10.1007/s10342-017-1051-6

Irauschek, F.; Rammer, W.; Lexer, M.J. (2017b). Can current management maintain forest landscape multifunctionality in the Eastern Alps in Austria under climate change? *REG ENVIRON CHANGE.* 17(1):33-48.

Kupferschmidt, A.D., Brang, P., Bugmann, H. 2019. Abschätzung des Einflusses von Verbiss durch wildlebende Huftiere auf die Baumverjüngung. *Schweiz Z Forstwes* 170 (2019) 3: 125-134.

Langner, A., Irauschek, F., Perez, S., Pardos, M., Zlatanov, T., Öhman, K., Nordström, E-M., Lexer, M.J. (2017). Value-based ecosystem service trade-offs in multi-objective management in European mountain forests. *Ecosystem Services* 26:245-257

Gasser, E., Schwarz, M., Simon, A., Perona, P., Phillips, C., Hübl, J., Dorren, L., 2019. A review of modeling the effects of vegetation on large wood recruitment processes in mountain catchments. *Earth-Science Reviews* 194, 350-373. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.013>

Irauschek, F., Rammer, W., Lexer, M.J. (2017a). Evaluating multifunctionality and adaptive capacity of mountain forest management alternatives under climate change in the Eastern Alps. *European Journal of Forest Research* 136:1051-1069, DOI 10.1007/s10342-017-1051-6

Irauschek, F., Rammer, W., Lexer, M.J. (2017b). Can current management maintain forest landscape multifunctionality in the Eastern Alps in Austria under climate change? *REG ENVIRON CHANGE.* 17(1):33-48.

Jochner, M., Turowski, J.M., Badoux, A., Stoffel, M., Rickli, C., 2015. The role of log jams and exceptional flood events in mobilizing coarse particulate organic matter in a steep headwater stream. *Earth Surface Dynamics* 3, 311-320. <https://doi.org/10.5194/esurf-3-311-2015>

Lechner, V., Markart, G., Perzl, F., Bunza, G., Hagen, K., Huber, A., Klebinder, K., 2015. Standortangepasste und gefahrenorientierte Waldbewirtschaftung im Bereich steiler Grabeneinhangs - Grabeneinhangbewirtschaftung, Bundesministerium für land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Abt. III/4.

Ledermann T, Kindermann G. (2013) Modelle für die zukünftige Bewirtschaftung der Fichte. *BFW-Praxisinfo* 31: 16-19.

Ledermann T, Kindermann G. (2017) Wie geht man mit gefährdeten Fichtenbeständen um. *BFW-Praxisinfo* 44: 19-22.

Maroschek, M., Rammer, W., Lexer, M.J. (2014). Using a novel assessment framework to evaluate protective functions and timber production in Austrian mountain forests under climate change. *Reg Environ Change*, DOI 10.1007/s10113-014-0691-z.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

- Mazzorana, B., 2009. Woody Debris Recruitment Prediction Methods and Transport Analysis. University Of Natural Resources And Applied Life Sciences Vienna, Vienna, Austria.
- Perzl, F., Kleemayr, K. (2020): Assessment of forest protection effects and functions for natural hazard processes. Green Risk4Alps Deliverable D.T.1.3.2.
- Pretzsch H, Hilmers T, Biber P, Avdagic A, Binder F, Bončina A, Bosela M, Dobor L, Forrester DI, Lévesque M, Ibrahimspahić A, Nagel TA, del Rio M, Sitkova Z, Schütze G, Stajić B, Stojanović D, Uhl E, Zlatanov T, Tognetti R (2020b) Evidence of elevationspecific growth changes of spruce, fir, and beech in European mixed-mountain forests during the last three centuries. *Can J For Res* 50(7):689–703
- Pretzsch H, Biber P, Schütze G, Uhl E, Rötzer T (2014a) Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nat Commun* 5:4967. <https://doi.org/10.1038/ncomm s5967>
- Pretzsch H, Hilmers T, et al. (2020) European beech stem diameter grows better in mixed than in mono-specific stands at the edge of its distribution in mountain forests. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01319-y>
- Rammer, W., Brauner, M., Ruprecht, H., Lexer, M.J. (2015). Evaluating the effects of forest management on rockfall protection and timber production at slope scale. *Scan.J.For.Res.* 30:8, 719-731, DOI: 10.1080/02827581.2015.1046911
- Reimoser, F. 2018. Wildschadensproblem und Forst-jagd-Konflikt im Alpenraum – Hintergründe, Entwicklungen, Perspektiven. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*. 83.Jahrgang, S. 61-116.
- Reimoser, F. Reimoser, S. 1997. Wildschaden und Wildnutzen – Objektive Beurteilung des Einflusses von Schalenwild auf die waldvegetation. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 43:186-196.
- Reimoser, F., Reimoser, S. 2020. Zur räumlich-zeitlichen Lenkung von Wildtieren in der Kulturlandschaft. *Beiträge zur Jagd- und Wildforschung* 45:225-242.
- Ruprecht, H; Vacik, H; Steiner, H; Frank, G (2012) ELENA – a methodological approach for the long term monitoring of natural regeneration in natural forest reserves dominated by Norway Spruce (*Vaccinio-Piceetea*). *AUSTRIAN J FOR SCI.* 2012; 129(2): 67-104
- Scheidl, C., Heiser, M., Kamper, S., Thaler, T., Klebinder, K., Nagl, F., Lechner, V., Markart, G., Rammer, W., Seidl, R., 2020. The influence of climate change and canopy disturbances on landslide susceptibility in headwater catchments. *Science of The Total Environment* 742, 140588. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140588>
- Schönenberger, W. 2002. Post windthrow stand regeneration in Swiss mountain forests: The first ten years after the 1990 storm Vivian. *Forest Snow and Landscape Research* 77(1)
- Schönenberger, W., Noack, A., Thee, P. 2005. Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. *Forest Ecology and Management* 213(1-3):197-208. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.03.062
- Schüler, S; Chakraborty, D. (2021). Limitierende Faktoren für den Douglasienanbau in Mitteleuropa im Klimawandel. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 172 (2), 84-93.
- Seidl, R., Rammer, W., Lexer, M.J. (2011). Climate change vulnerability of sustainable forest management in the Eastern Alps. *CLIMATIC CHANGE* 106(2): 225-254.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A., Reyser, C.P.O. (2017). Forest disturbances under climate change. *NAT CLIM CHANGE*. 7(6): 395-402.
- Stampfer und Lexer 2020 (Vorlesungsunterlagen Waldbau&Forsttechnik)
- Vacik, H; Hale, M; Spiecker, H; Pettenella, D; Tomé M (2020): Non-Wood Forest Products in Europe, Ecology and management of mushrooms, tree products, understory plants and animal products. Outcomes of the COST Action FP1203 on European NWFPs, 416 p., BoD , Norderstedt; ISBN: 978-3-7494-7546-9
- Wohlgemuth, Th., Schwitter, R., Bebi, P., Brang, P. 2017. Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps. *European Journal of Forest Research* 136(5-6). DOI: 10.1007/s10342-017-1031-x
- Zischg, A.P., Galatioto, N., Deplazes, S., Weingartner, R., Mazzorana, B., 2018. Modelling Spatiotemporal Dynamics of Large Wood Recruitment, Transport, and Deposition at the River Reach Scale during Extreme Floods. *Water* 10, 1134. <https://doi.org/10.3390/w10091134>

Forstgenetik für Schutzwälder, Pflanzgut

Kurt Ramskogler, Silvio Schüller, Raphael Klumpp und Matthias Hofer

Sachstand – Herausforderungen

Rd. 30% der insgesamt 4 Mio. ha Wald in Österreich ist Schutzwald = 1,25 Mio. ha. Bei rd. 820.000 ha (20,5% der ö. Wälder) handelt es sich um Schutzwälder im und außer Ertrag. Lt. Zwischenauswertung der ÖWI (Österreichische Waldinventur) 2016-2018 hat die Fläche des Schutzwaldes in Ertrag um rd. 15.000 ha und die Fläche des Schutzwaldes außer Ertrag um rd. 25.000 ha seit der Periode 2007-2009 über Neubewaldung insbesondere in Gebirgslagen zugenommen. Auf rd. 2/3 der Schutzwald-Fläche ist lt. ÖWI Verjüngung notwendig, die auf 70-80% dieser Fläche allerdings fehlt.

Große Schutzwaldflächen sind lt. ÖWI alt und daher nimmt die Stabilität ab. Obwohl der Schutzwald bisher weitestgehend von großflächigen klimawandelbedingten Störungen verschont geblieben ist, muss in Zukunft auf Grund des Klimawandels auch hier mit großflächigen Kalamitäten gerechnet werden. Die insbesondere zwischen 1950 und 1980 durchgeführten Hochlagenaufforstungen wurden nicht im erforderlichen Ausmaß weiter geführt. Ein zusätzlicher Aspekt ist das steigende Naturgefahrenrisiko in der Hochlage insbesondere durch Steinschlag. Obwohl auch die Waldgrenze nach oben steigt, ist dieser Anstieg zu langsam um das steigende Naturgefahrenrisiko zu kompensieren sowie die Zunahme der zu schützenden Infrastruktur und Standorte adäquat zu gewährleisten. Daher sollten auf Basis eines österreichweiten Monitorings Flächen für zusätzliche Aufforstungen identifiziert werden.

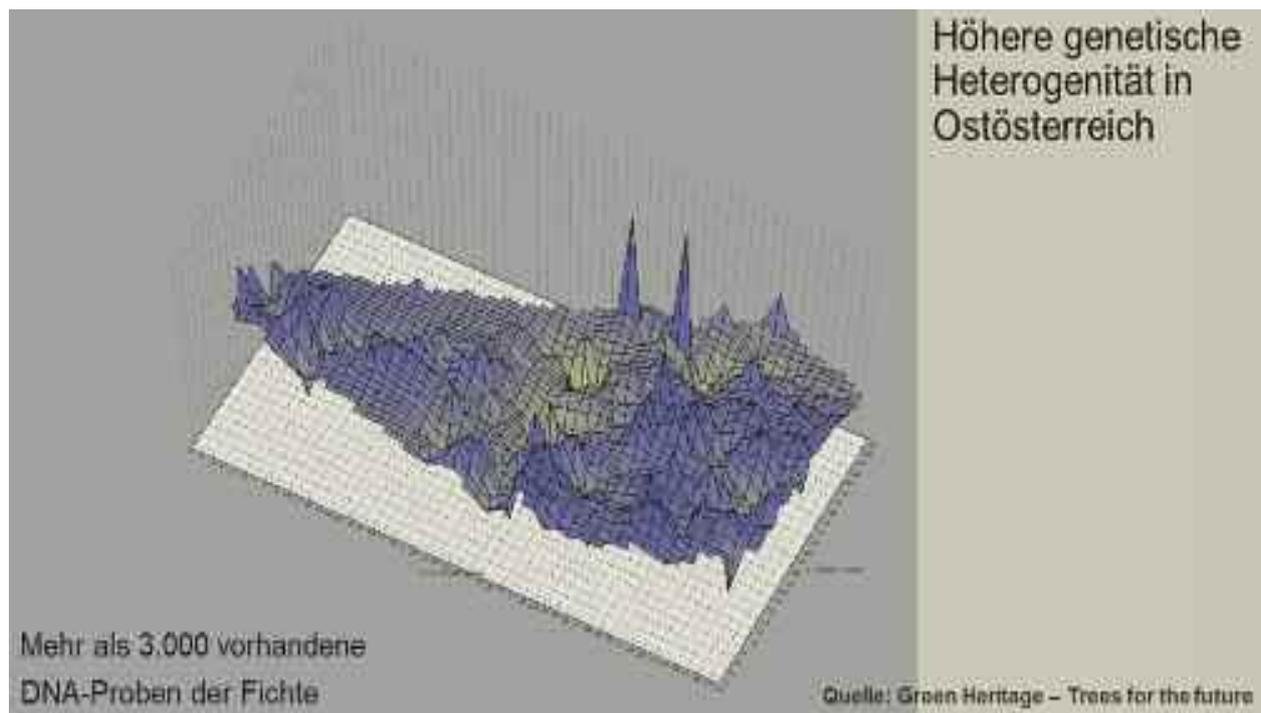
Derzeit ist für den Schutzwald nur der Verjüngungsbedarf aus der ÖWI bekannt, nicht aber der Forstpflanzenbedarf für flächige Aufforstungen und Verjüngungsergänzungen (Baumarten, Herkünfte). Die Eigentümer der

Schutzwaldflächen setzen häufig nur Verjüngungsmaßnahmen wenn sie die entsprechenden Förderungen bekommen. Besitzübergreifende Schutzwald-Verjüngungsprojekte fehlen.

Die Schutzwaldverjüngung erfolgte bzw. erfolgt derzeit über Naturverjüngung und / oder Aufforstung. Bei Naturverjüngung wurde bzw. wird auf die Ausgangsgenetik der reproduzierenden Bäume und auch auf die genetische Vielfalt und Baumartenwahl kaum Rücksicht genommen. Ungünstige Umweltbedingungen (Epigenetik) beeinflussen nicht nur das Überleben und die Wuchsleistung der Bäume, sondern auch deren Fähigkeit zur Reproduktion und Verjüngung. Oft sind Waldbestände gekennzeichnet durch eine geringe Anzahl reproduzierender Bäume und hohe Selbstbefruchtungsraten (Inzucht). Eine Beschränkung der Saatguternte auf Vollmasten ist daher zwingend anzuraten. Das baumartenspezifische Anpassungspotential wird oft nur wenig ausgenutzt, auch wenn lokale Bestände, abgeleitet aus ihrer Bestandesgeschichte, oft sehr gut an die schwierigen Schutzwaldbedingungen angepasst sind.

Zu beachten ist auch noch, dass bei in der Vergangenheit aufgeforsteten Schutzwäldern u.a. auch genotypisch nicht geeignetes oder nicht standortsangepasstes Herkunftsmaterial (Beispiel Preisaufforstung im Stuhleckgebiet) verwendet wurde. Zum Beispiel findet man bei Fichte immer wieder Tieflagen Phänotypen oft unbekannter Herkunft in Hochlagen! In Österreich, bestätigt am Beispiel Fichte, wurde also offensichtlich bei der Bestandesbegründung in der Vergangenheit auch immer wieder ungeeignetes Vermehrungs- / Saatgut (auch bei Schneesaaten) verwendet. Hier ist anzumerken, dass bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts die Technik zur Saatgutlagerung unausgereift war,

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG



und deshalb das benötigte Saatgut jährlich aus beliebigen Beständen beschafft werden musste. Dabei wurden nicht selten Saatgutquellen aus dem gesamten Kaiserreich bzw. aus Nachbarländern beerntet. Im Zuge der letzten ÖWI wurde über die Fichte eine genetische Landschaftsanalyse bzw. / geographisch genetische Karte angefertigt, die dies bestätigt und in den betroffenen Gebieten eine höhere genetische Diversität als von Natur aus gegeben wäre, zeigt.

Der Entscheidungsprozess bei der Schutzwald Verjüngung erfolgte bzw. erfolgt meist wie folgt:



Naturverjüngung wird meist ohne Hinterfragen der genetischen Ausgangsbasis als geeignet befunden und wenn vorhanden verjüngt. Bei Aufforstung werden die Forstpflanzen beim Forstgarten bestellt und die gelieferten versetzt, wobei davon ausgegangen wird, dass die Liefere-

rung dem Forstlichen Vermehrungsgutgesetz entspricht; Lohnanzuchten werden eher selten beauftragt.

Ob die Herkunft für das jeweilige Schutzwald-Aufforstungsprojekt genetisch geeignet ist, aus welchem anerkannten Saatgutbestand das Ausgangsmaterial stammt, wie und wann das Saatgut geerntet wurde, welche Keimfähigkeiten das Saatgut hatte (u.a. Hinweis ob aus Voll-, Teil- oder Sprengmast - Beerntungsmodus), wie hoch die Forstpflanzenausbeute aus dem verwendeten Saatgut, wie die Forstpflanzen sortiert wurden (Größen-/Qualitätssortierung) etc. wird meist nicht hinterfragt. Wie die Pflanzenanzucht im Forstgarten erfolgte (Nacktwurzelig versus Container – Anzuchtbedingungen), die Qualität der Forstpflanzen und der Wurzel (Fundament des Baumes) wurde bzw. wird meist ein geringer Stellenwert in der forstlichen Praxis beigemessen. Dass liegt u.a. auch an der unzureichenden Aus- und Weiterbildung. Aufforstung verursacht insbesondere im Schutzwald hohe Kosten, ist eine arbeitsreiche Periode und der Erfolg stellt sich erst ein, wenn die Kultur gesichert ist. Es hängt aber sicher auch mit den mäßigen Holzserträgen und den damit verbundenen Personaleinsparungen in den vergangenen Jahrzehnten zusammen.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Die Eignung des bei Hochlagenaufforstungen verwendeten forstlichen Vermehrungsgutes wird oft zu wenig kritisch geprüft und hat dies verschiedene Ursachen:

- insgesamt geringer Pflanzenbedarf im Vergleich zu Wirtschaftswäldern, u.a. weil zu wenige Verjüngungsmaßnahmen gesetzt werden
- insbesondere in Hochlagen gibt es seltenere Fruktifikation, daher ist die Saatgutversorgung erschwert
- Samenplantagen für Hochlagenherkünfte fehlen,
- kostenintensivere Pflanzenproduktion, da Herkünfte gering wüchsig und einen längeren Zeitraum in der Produktion brauchen
- Beschaffungspraxis von Pflanzgut erfolgt meist auf Basis der geringsten Kosten/Pflanze
- bei der Produktion von Forstpflanzen wird auf eine möglichst ungestörte und baumartenspezifische Wurzelentwicklung (Wurzel ist Fundament des Baumes) nicht ausreichend Rücksicht genommen

Die Anpassungsfähigkeit hängt von genetischer Variation ab, wobei mit zunehmendem Grad der genetischen Angepasstheit einer Population die genetische Variation (Diversität) kleiner wird. In Schutzwäldern (Hochlagen, extreme Standorten), von denen viele an der kalten Verbreitungsgrenze der Baumarten liegen, weisen viele Populationen eine geringere genetische Anpassungsfähigkeit und Plastizität auf, als in Populationen die unter optimalen Wachstumsbedingungen wachsen. Ursache dafür ist der verhältnismäßig hohe Selektionsdruck der schon unter den jungen Bäumen herrscht. Auch die Auswirkungen epigenetischer Einflüsse auf das Saat- und Pflanzgut, insbesondere im Klimawandel, wurde bzw. wird nach wie vor nicht beachtet ist aber auch wissenschaftlich zu wenig untersucht. Die Geschwindigkeit des Klimawandels macht insbesondere dem oft langsamwüchsigen Schutzwald Probleme, da sich die Bäume nicht wie gewünscht anpassen können.

Zusammenfassung

- Die Schutzwälder wurden oft nicht ausreichend ziel- und ergebnisorientiert bewirtschaftet um die Schutzfunktion nachhaltig sicherzustellen
- Störungsrisiko im Schutzwald wird meist nicht ernst genommen – Katastrophenanfälligkeit steigt im Klimawandel mit fehlender Verjüngung, Pflege und Alter, ...
- Waldgrenze steigt im Klimawandel
- Naturgefahren Risiko steigt im Klimawandel
- SW-Verjüngung fehlt großflächig, insbesondere im alten Schutzwald
- Empfehlungen für die Wahl von Herkünften und Baumarten im Schutzwald unter Berücksichtigung des Klimawandels fehlen
- In der Praxis wird die Bedeutung der Herkunftswahl / Genetik immer noch unterschätzt. Insbesondere nach Katastrophen wird meist „irgendetwas“ gepflanzt. Bei Naturverjüngung wird die Genetik des „Ausgangsbestandes“ meist nicht beurteilt und die Verjüngung kritiklos durchgeführt
- Bedeutung der Baumartenwahl, Herkunft, Genetik, Verjüngungszeiträume, Pflanzenqualität Pflanzverfahren und Pflanzverband für den Schutzwald nimmt im Klimawandel zu.
- Saatgutversorgung für Schutzwälder erfolgt primär aus Saatgutbeständen. Ein Saatgutversorgungskonzept hinsichtlich Menge und geeignete Saatgutqualitäten fehlt ebenso wie der Forstpflanzenbedarf und die –verfügbarkeit
- Ein Plus-Baum Netz für Schutzwaldbaumarten fehlt
- Bei Saatguternte wird auf Klimawandel keine Rücksicht genommen: Ernte erfolgt bei Saatgutbedarf und nimmt auf häufigere Mastjahre (echte Vollmasten zu bevorzugen), sinkende Samenqualität (geringe Keimfähigkeiten epigenetisch problematisch) und abnehmende Zapfenmengen pro Baum keine Rücksicht
- Samenplantagen für Schutzwald-Baumarten und Herkünfte fehlen bzw. sind die vorhandenen meist überalterte Generhaltungsplantagen

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

- Ein modernes Samenplantagen Konzept unter Beachtung des Klimawandels fehlt (kontinuierlicher Umbau, markergestützte Optimierung, Design- und Betriebskonzepte nach dem letzten Stand der Technik, ...)
- Aktuell nicht ausreichend Pflanzgut für Schutzwald-Aufforstungsprojekte verfügbar (Pflanzenqualität – Alter, Größe, Herkünfte, Produktionsbedingungen – Ausbeuten, Ernährung, Wurzel und Spross, Sortierung). Bei Zukauf des Forstl. Vermehrungsgutes für den Schutzwald von den liefernden Forstgärten abhängig. Eine Zertifizierung ala ZÜF (Zertifizierungsring für überprüfbare Forstliche Herkunft (<https://zuef-forstpflanzen.de>)), FfV (Zertifizierung von forstlichem Vermehrungsgut durch den FfV (<https://ffv-zertifizierung.com>)) zur Sicherstellung der Herkünfte fehlt ebenso wie klare Forstpflanzenqualitätsanforderungen für den Schutzwald im Klimawandel Österreichweit ist dzt. der Pflanzenbedarf für die Schutzwälder nicht bekannt, ebenso ob die vorhandenen Pflanzgärten das in Zukunft benötigte Vermehrungsgut in der für die künftigen Schutzwaldbedürfnisse geforderten Qualität verfügbar haben werden
- Standortangepasste Versetzung: meist werden keine optimierten Aufforstungssysteme verwendet
- Krisenpläne für die Verjüngung großflächiger Katastrophenflächen fehlen
- Eine allgemeine Richtlinie zum Einschätzen der jeweiligen Lage vor Ort, wie beispielsweise die Schweizer „Vollzugskontrolle NaiS“ fehlen, wobei diese nicht 1:1 für den Schutzwaldbedarf im Klimawandel übernommen werden kann
- Es herrschen bezüglich forstgenetischer Aspekte (Baumarten, Herkünfte), sowie Saatgut, Pflanzgut, Quantität – und Qualitätsanforderungen Wissensdefizite für die Praxis und Ausbildung. Nicht nur im Bereich des Wissenstransfers sondern auch im Bereich der Forschung bestehen gravierende Lücken
- Der Genotyp und die Auswirkungen der Umwelt auf die Forstpflanzen und die zukünftigen Schutzwälder mittels epigenetischer Effekte wird nicht ausreichend berücksichtigt und ist auch wissenschaftlich noch zu wenig verstanden
- Die genetische Qualität des Ausgangsbestandes ist für die handelnden Akteure vor Ort meist nicht erkenn- bzw. bestimmbar – daher wird meist natürlich verjüngt (Kosten!). Eine rein phänotypische Ansprache reicht nicht für eine Verjüngungsentscheidung
- Ein Transfer von Saat- und Pflanzgut aus benachbarten Höhenstufen, Wuchsgebieten und Nachbarländern im Rahmen von unterstütztem Genfluss (assisted gene flow) bzw. unterstützter Migration (assisted migration) von bisher nicht vorhandenen heimischen und nicht heimischen Baumarten zur Verjüngung von Schutzwäldern wurde noch nicht ins Auge gefasst
- Zunehmende Trockenheit bzw. ungünstige Niederschlagsverteilungen sowie Fröste (Früh-, Spätfröste und Frostrocknis; Austriebsverhalten) gefährden den Erfolg von Schutzwald-Verjüngungen
-

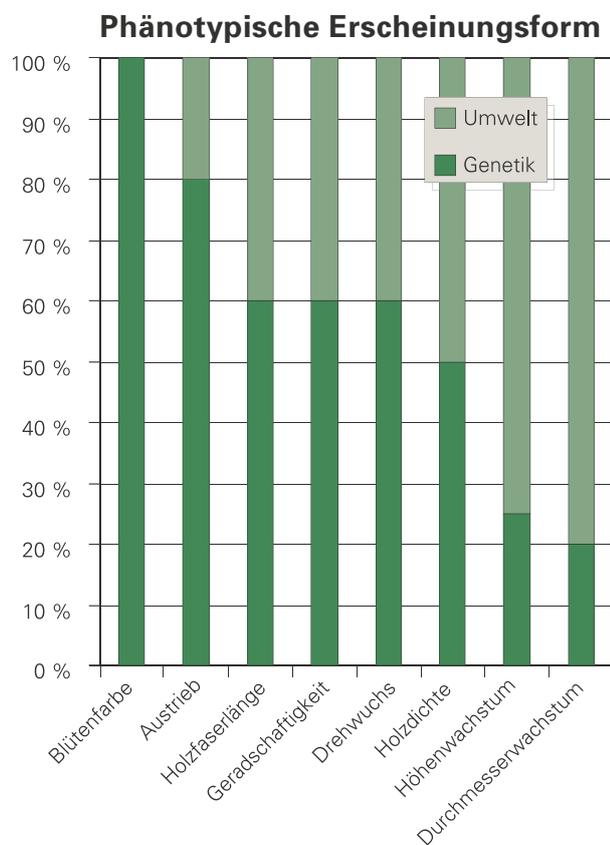
Handlungsbedarf - Herausforderungen

Der voranschreitende Klimawandel erfordert eine nachhaltige, aktive, standortangepasste Bewirtschaftung und Maßnahmen zur Anpassung der Waldgesellschaften und der innerartlichen Variation der Schutzwaldbaumarten. Sowohl die Erweiterung des Baumartenspektrums als auch eine Verbreiterung des genetischen Anpassungspotentials verlangen geeignetes forstliches Vermehrungsgut und waldgenetische Expertise. Da die Erwärmung insbesondere in den höheren Lagen das Baumwachstum begünstigt, kann das sich ändernde Klima auch als Chance für den Schutzwald gesehen werden. Allerdings werden neue Lösungsansätze benötigt, um zukünftig die Schutzwirkung im fortschreitenden Klimawandel sicherzustellen. Das Risiko an den Arealgrenzen ist aus genetischer Sicht im Klimawandel auch

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

bei autochthonen Beständen erhöht. Herkunft und Genetik entscheidet über Eigenschaften, Ausprägungen der Nachkommen.

Für den Erhalt und zur Verbesserung der Ökosystemleistung des Schutzwaldes (Schutzfunktion) im Klimawandel reicht eine phänotypische Ansprache allein bei der Entscheidung Naturverjüngung und Auswahl von Saatgutbeständen nicht.



Viele wichtige Merkmale von Waldbäumen sind primär stets phänotypische Merkmale, welche von einem oder mehreren Genen kontrolliert werden und deren Ausprägung am einzelnen Baum von der jeweiligen Umwelt beeinflusst wird. Welche Anteile die Umwelt und der Genotyp auf den Phänotyp haben, variiert von Merkmal zu Merkmal und bestimmt, ob eine Merkmal züchterisch bearbeitet werden kann und ob der Klimawandel oder andere äußere Einflüsse selektiv diese Eigenschaft beeinflussen können. Der Einfluss der Umwelt auf den Phänotyp kann darüber hinaus sogar vererbt werden und zwar über sogenannte epigenetische Effekte. Diese Effekte

verändern nicht den Genotyp selber, aber dessen Ausprägung indem sie z.B. beeinflussen, welches Gen abgelesen wird und welches nicht. Bei Waldbäumen wirken die größten epigenetischen Effekte während der Reproduktion (Befruchtung und Samenreife) und während der Keimung und Sämlingsentwicklung. Aus diesem Grund sind die Umweltbedingungen während der Saatgutproduktion und in der Baumschule sowie auch die ersten Jahre der Naturverjüngungen nicht nur für die Vitalität des gerade heranwachsenden Baumes sondern auch für die nachfolgenden Baumgenerationen entscheidend.

Bei Naturverjüngung entscheidet der Schutzwaldbewirtschafter eigenverantwortlich für die Qualität und Eigenschaften der nächsten Baumgeneration. Zahlreiche Verjüngung verführt oft zu Untätigkeit und es werden dabei Fragen der Qualität und Anpasstheit übersehen.

In Österreich wird das forstliche Vermehrungsgut überwiegend aus Saatgut von anerkannten Saatguterntebeständen angezogen (Kategorie „Ausgewählt“). Dzt. gibt es lt. nationaler Liste 67 Samenplantagen für 14 verschiedene Baumarten auf einer Fläche von 121 ha. Viele davon wurden ab Ende der 1980-iger Jahre primär zur Sicherung von gefährdeten Baumpopulationen ausgewählt, die selten oder bereits vom Aussterben bedroht waren oder aus Gründen erhaltungswürdig erschienen (Generhaltungsplantagen). Einzelbäume dieser Arten wurden im Wege einer xenovegetativen Vermehrung (Veredelung) zu künstlichen Populationen zusammengefasst (auch Schutzwald-Populationen finden sich hier), um durch generative Vermehrung eine möglichst hohe genetische Variation in der Nachkommenschaft zu erreichen – ein wichtiger Beitrag zur Erhaltung und Verbesserung der genetischen Diversität der betreffenden Baumarten.

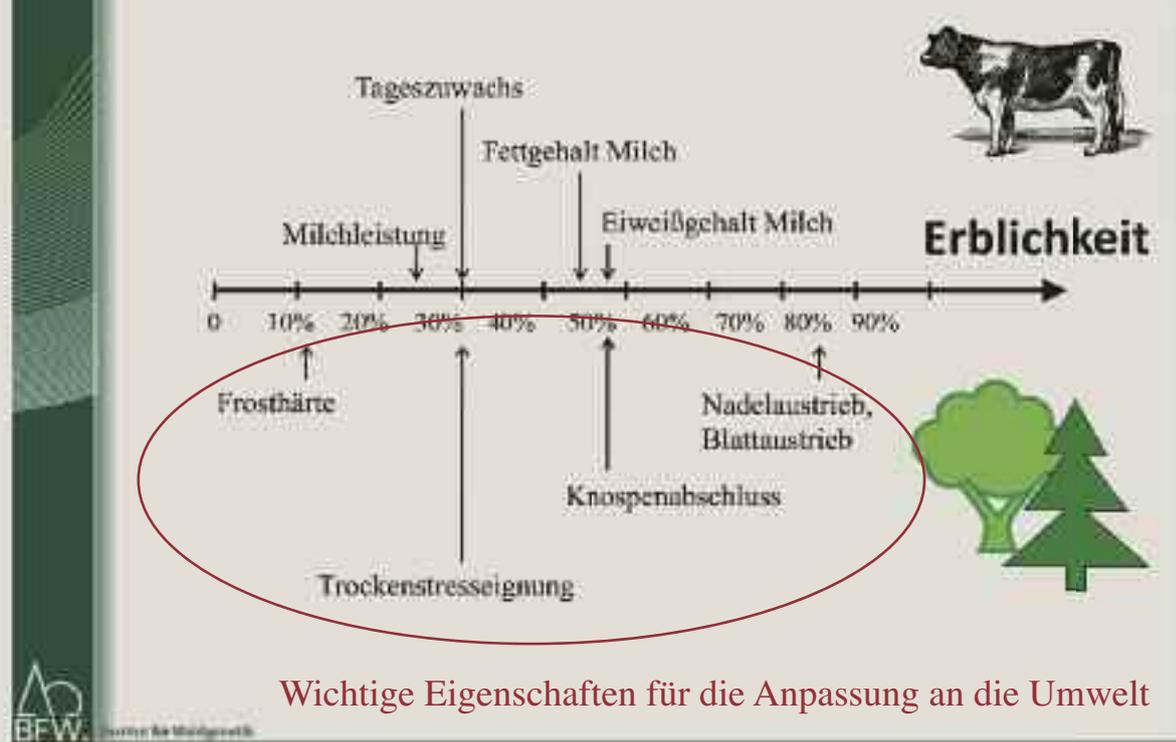
Plusbaum-Samenplantagen, die der Erzeugung von Saatgut, das von Auslesebäumen / Plusbäumen stammt (phänotypische Auswahl und laufende Nachkommenschaftsprüfungen) und die in einem oder mehreren Merkmalen (Massenleistung, Holzgüte, Form, vor allem Gesundheit,

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Hintergrund: Genetik von Waldbäumen

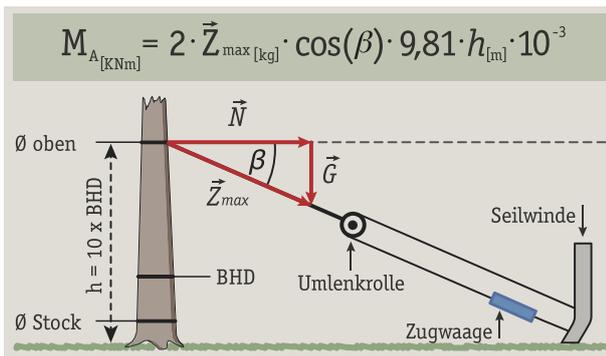


Hintergrund: Genetik von Waldbäumen

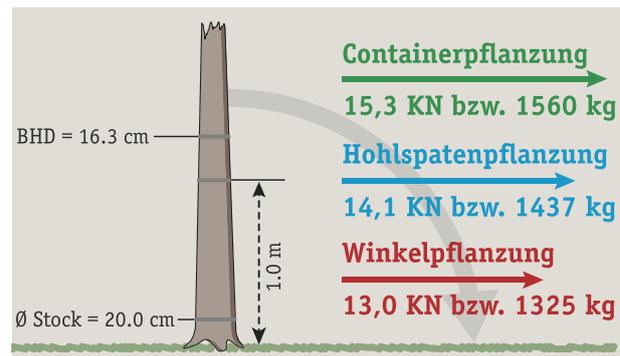


Wichtige Eigenschaften für die Anpassung an die Umwelt

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG



Versuchsschema mit Berechnung des max. Drehmoments M_A
Grafik: BFW, G. Schnabel



Erforderliche Zugkraft um einen Baum mittlerer Dimension umzuziehen. Die Kraft wirkt jeweils in einer Höhe von 1,0 m im rechten Winkel zur Stammachse ein.

Parameter	Verfahren	n	Mittelwert	Median	Min.	Max.	Std.
BHD [cm]	Container	19	17,0	16,5	12,8	23,9	2,86
	Hohlspaten	16	16,4	16,7	12,0	22,0	2,69
	Winkelpflanzung	19	15,6	16,1	10,0	19,4	2,65
Stock [cm]	Container	19	20,6	21,2	14,7	27,2	3,51
	Hohlspaten	16	19,9	20,0	14,1	27,3	3,34
	Winkelpflanzung	19	19,5	19,1	19,1	26,5	3,72
Drehmoment [KNm]	Container	19	18,1	15,7	7,3	43,4	9,55
	Hohlspaten	16	14,8	14,7	5,6	26,8	6,09
	Winkelpflanzung	19	13,2	12,3	3,8	24,8	5,5

Tabelle: Übersicht über die wichtigsten Baumparameter der 54 Analyseebäume

Widerstandsfähigkeit) auch für den Schutzwald wesentlich sind und überdurchschnittlich sind, fehlen dagegen. Die genetischen Auswirkungen der Plusbaumauswahl für Samenplantagen sind mittlerweile sehr gut untersucht und stellen insbesondere sicher, dass langfristig eine genetische Einengung vermieden wird.

Die genetische Qualität von Saat- und Pflanzgut kann meist erst nach Jahren beurteilt werden. Die Folge von falschen und minderwertigen Vermehrungsgut sind neben Zuwachsverlusten, schlechten Holzqualitäten, insbesondere Einbußen in der Stabilität und Vitalität, verbunden mit einer höheren Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen. Festzuhalten ist das internationale Untersuchungen zeigen, dass falsche Herkünfte oft eine geringe Anpassungsfähigkeit bzw. Plastizität haben.

Die Verwendung von herkunftssicherem Pflanzmaterial welches nach dem letzten Stand der

Technik produziert wurde und eine standortangepasste Versetzung ist essentiell. Vom BFW wurde z.B. 2015 der Einfluss des Pflanzverfahren auf die Standfestigkeit von Fichten geprüft. 1995 wurde vom Forstamt Ottenstein der Windhag-Stipendienstiftung in Kooperation mit dem BFW ein Pflanzversuch angelegt, bei dem Fichtenpflanzen mittels Container-, Hohlspaten- und Winkelpflanzung (Nacktwurzelige Forstpflanzen) gesetzt wurden. 2015 wurde durch das BFW ein Umziehversuch durchgeführt. Zum Umziehen der als Container gesetzte Fichten wurde eine signifikant höhere Kraft benötigt, als zum Umziehen der mittels Winkelpflanzung gesetzten Bäume.

Die Ergebnisse zeigen, dass Containerpflanzen in diesem Versuch eine stärkere Bodenverankerung haben als Hohlspaten- und Winkelpflanzung. Der Stammdurchmesser auf Brusthöhe und Stockhöhe ist bei den Containerpflanzen ebenfalls höher.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Anforderungen - Entwicklungsbedarf

Um in Zukunft den Schutzwald mit bestem forstlichen Vermehrungsgut versorgen zu können sind eine Reihe von Anforderungen zu beachten bzw. einzuhalten. Aus diesen Anforderungen lässt sich auch der Forschungs- und Entwicklungsbedarf ad. Forstgenetik für Schutzwälder, Forstpflanzen zur Sicherstellung der Schutzwaldökosystemleistungen im Klimawandel ableiten:

Saatgutgewinnung, -qualität, -verfügbarkeit

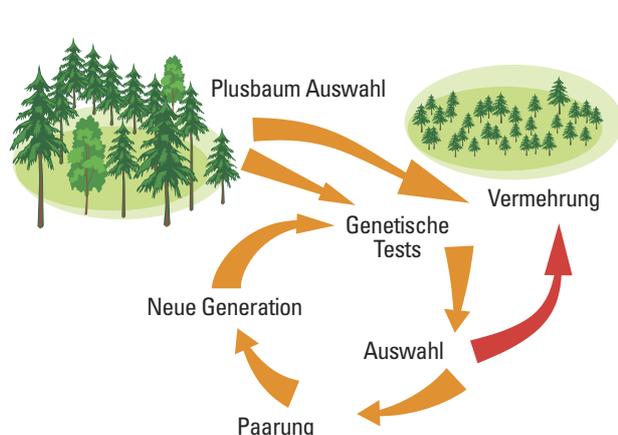
Die für den Schutzwald geeigneten Herkünfte sind zu klären, wobei hier die Beratung und Wissensvermittlung durch die damit befassten Institutionen wie z.B. dem BFW zu intensivieren sind. Um die Verfügbarkeit von Saatgut bester Qualität und Eignung für den Schutzwald in ausreichender Menge im Klimawandel sicherzustellen, ist von geeigneten Institutionen in Abstimmung mit der Praxis ein Konzept für die Sicherstellung einer nachhaltigen bedarfsorientierten Saatgutversorgung auszuarbeiten. Das beinhaltet die Anerkennung von Saatguterntebeständen, die Saatguternte und -behandlung, die Zertifizierung, den Aufbau eines Plusbaum

Netzes für die wichtigsten Schutzwaldbaumarten, die Evaluierung des Züchtungsbedarf im Hinblick auf wirtschaftliche und anpassungsrelevante Eigenschaften und eine Samenplantagenstrategie. Ein aktiver Transfer von Saat- und Pflanzgut aus benachbarten Höhenstufen, Wuchsgebieten und Nachbarländern im Rahmen von unterstütztem Genfluss (assisted gene flow) bzw. unterstützter Migration (assisted migration) von bisher nicht vorhandenen heimischen und nicht heimischen Baumarten zur Verjüngung von Schutzwäldern ist zu prüfen und, wenn möglich, dafür entsprechende Anwendungskonzepte für die Praxis zu erarbeiten und in künftige Züchtungsstrategien einzuarbeiten.

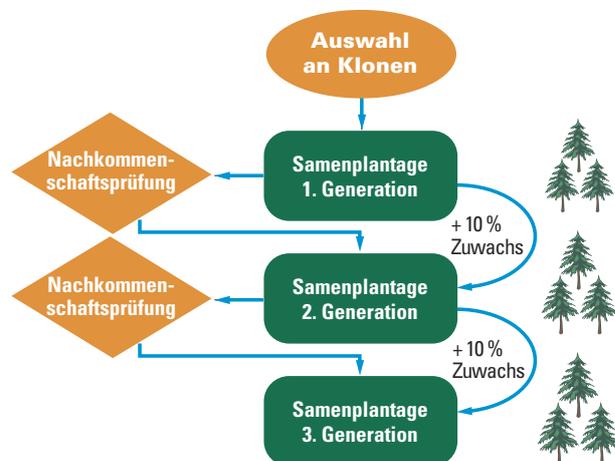
Saat

Falls passendes Ausgangsmaterial und genügend Saatgut verfügbar ist, kann Saat eine Alternative zu Pflanzung und Naturverjüngung sein. Der Vorteil liegt hier darin, dass so hohe Pflanzanzahlen für die spätere natürliche und künstliche Auslese zur Verfügung stehen. Für den Schutzwald sind der Praxis bessere Informationen zur Verfügung zu stellen, welche Baumarten und welche Saatgutqualitäten für eine Saat geeignet sind. Festzuhalten ist, dass Saat im Schutzwald nur in Ausnahmefällen ziel-

Züchtungszyklen



Quelle: Skogforsk Sweden



Quelle: BFW

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

führend ist, unter anderem auch wegen der langen Kultursicherungszeiträume und verjüngungshemmenden Faktoren wie Wildverbißanfälligkeit.

Wildlinge

Wildlinge sind für eine Schutzwaldverjüngung nicht geeignet.

Naturverjüngung

Die Genetik des Ausgangsbestandes (Autochthonie, Eigenschaften) wird im Klimawandel immer wichtiger, da ein Großteil der österreichischen Schutzwälder natürlich verjüngt wurde bzw. wird. Schlecht veranlagte Bestände in der Nachbarschaft schließen eine Naturverjüngung aus (Pollen- und Samenverfrachtung). Hier sind markergestützte Technologien zur Absicherung der genetischen Eignung des Ausgangsbestandes für möglichst viele im Schutzwald verwendete Baumarten anzuwenden und die Ergebnisse in die Praxis umzusetzen. Klare Praxisanweisungen für die Verjüngungseinleitung, unter welchen Bedingungen eine natürliche Verjüngung sinnvoll und möglich ist, zur Baumartenwahl und Verbesserung der Bestandesstabilität sind zu erarbeiten. Eine hohe genetische Diversität über Vollmasten gepaart mit schutzwaldrelevanten Eigenschaften (Frostverhalten, Austrieb, Trockenresistenz, ...) sind dafür Voraussetzung.

Aufforstung

Wenn das genetische Ausgangsmaterial für eine natürliche Verjüngung nicht oder nur bedingt geeignet ist (Beispiel Preisaufforstung Stuhleckgebiet) und / oder die Stabilität von Schutzwäldern rasch wieder hergestellt werden muss (Überalterung, keine Naturverjüngung vorhanden / Wilddruck, ...) ist eine künstliche Verjüngung über Aufforstung unerlässlich. Untrügliches Zeichen für eine schlechte Eignung des Ausgangsbestandes sind u.a. auch vorrausgegangene biotische Kalamitäten. Auch für die Einbringung zusätzlicher Baumarten und eine Erhöhung der Bestandesdiversität durch Ergänzungsaufforstungen ist Aufforstung unverzichtbar. Derzeit kennen wir weder den zukünftigen Forstpflanzenbedarf (jährliche Menge, Baumarten

und Herkünfte) noch wird das jeweils standortangepasste Aufforstungssystem angewandt. Der Mengenbedarf und die Verfügbarkeit von Forstpflanzen bester und für den Schutzwald geeigneter Forstpflanzensysteme (Saatgutausbeuten, Anzucht- und Produktionstechnologie, Forstpflanzenausbeuten sowie standortangepasste Versetztechnologien) ist für die Praxis zu erarbeiten und von geeigneten Institutionen Praxisempfehlungen abzugeben. Die Saatgutverfügbarkeit nach dem letzten Stand der Technik und eine Züchtungsstrategie für den Schutzwald sind notwendig um in Zukunft über Aufforstung stabile und klimafitte Schutzwälder abzusichern bzw. zu erhalten.

Herkunftsversuche

Die Anlage von Herkunftsversuchen für heimische und Gastbaumarten für den Schutzwald ist unerlässlich. Aus diesen Herkunftsversuchen müssen von geeigneten Institutionen unter Berücksichtigung des Klimawandels Anbauempfehlungen für die Praxis erarbeitet und weitergegeben werden. Herkünfte aus anderen Regionen – „Borderless Forests; SUSTREE“ – sind dabei in die Prüfungen und künftigen Herkunftsempfehlungen sowie Züchtungsstrategie einzu beziehen. Neben der Neuanlage von Versuchen sind auch bereits bestehende Herkunfts- und Klonversuche, sowie Pflanzungen von nicht-heimischen Baumarten im Schutzwaldbereich (Kelchsau, Haggen) zu reaktivieren, um aus den dort erzielten Erfahrungen zusätzliche Erkenntnisse zu gewinnen.

Zusammenfassung

Im Schutzwald ist jeder Waldbewirtschafter selbst verantwortlich für die genetische Qualität des neuen Bestandes. Oberste Priorität dabei ist nur vitale, zukunftsfähige Bestände zu verjüngen. Im Zuge der Pflegemaßnahmen (Auslesedurchforstung) sind die besten Stämme zu erhalten und schlechte frühzeitig zu entnehmen, damit die Stabilität, Vitalität und Resilienz der Schutzwälder erhalten bzw. verbessert wird. Schlecht veranlagte Nachbarbestände schließen eine natürliche Verjüngung aus. Die Distanzen

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

der Pollen- und Samenverfrachtung wurden in der Vergangenheit oft unterschätzt. Bei Aufforstung ist das qualitativ beste Vermehrungsgut mit der richtigen Herkunft zu verwenden und die für den Standort beste Aufforstungstechnologie zur Sicherstellung einer optimalen Wurzelentwicklung (Wurzel ist Fundament des Baumes).

Ein nationales Konzept für die Schutzwaldverjüngung (incl. Hochlagenaufforstung) auf Basis österreichweiter Gefahrenschutz- und Krisenpläne bzw. eines österreichweiten Monitorings für zusätzliche Aufforstungen wird benötigt, ebenso eine Evaluierung des Verjüngungsbedarfs in bestehenden Schutzwäldern.

Das richtige Saat- und Pflanzgut ist Grundvoraussetzung für ökologisch stabile, vitale, resiliente und leistungsfähige Schutzwälder. Das FVG (Forstliche Vermehrungsgut Gesetz i.d.g.F.) garantiert, dass nur die besten Bestände beerntet werden und sichert auf dem Papier die richtige Kennzeichnung von der Ernte bis zum Pflanzenkauf – www.herkunftsberatung.at. Gezielte Herkunftsversuche bewerten vor allem die Leistungsfähigkeit und die Eignung von Herkünften bei sich ändernden Umweltbedingungen oder anders herum: die Bedeutung von Genetik und Herkunft für den Schutzwald hat im Klimawandel oberste Priorität. Um die Richtigkeit der Herkünfte besser nachvollziehen zu können ist eine Zertifizierung des forstlichen Vermehrungsgutes ala „ZÜF“ und „FfV“ in Deutschland notwendig.

Zusätzlich zu den gem. FVG ausgewiesenen Saatguterntebeständen, die dzt. nach morphologischen Merkmalen und Verhalten (Phänotyp) ausgewählt werden, sind entsprechende Plusbaum Netze, wie in anderen Ländern Standard (z.B. Schweden, Polen), zu etablieren, da nur darüber die beste Genetik für die zukünftigen Anforderungen im Schutzwald erhalten werden kann (Klonarchive für künftige Züchtungsaktivitäten). Dazu ist eine sichere genotypische Auslese mit langfristigen Nachkommenschaftsprüfungen und Tests notwendig. Diese Aufgabe ist von den Experten des BFW in Zusammenarbeit mit anderen geeigneten Institutionen umzusetzen.

Für den Schutzwald ist ein Samenplantagenkonzept zu erarbeiten und umzusetzen. Die Saatgutversorgung ist für alle Schutzwaldbaumarten (heimische und nicht heimische) langfristig sicherzustellen, wobei aus epigenetischen Gründen jedes Jahr von jeder Baumart für jedes Herkunftsgebiet ausreichend frisches Saatgut aus Vollmasten zur Verfügung stehen sollte. Die Kenntnis des Reifejahres und der im jeweiligen Jahr herrschenden Witterungsbedingungen kann als zusätzliches Kriterium bei der Auswahl von geeignetem Saat- und Pflanzgut herangezogen werden, dazu sind geeignete Versuche und Modelle zu erstellen.

Zusätzlich zu den vorhandenen Herkunftsversuchen sind für den Schutzwald neue anzulegen, die insbesondere den Anforderungen aus Klimawandel Rechnung tragen. Dabei sind neben den heimischen Baumarten auch nicht heimische Baumarten, jeweils unter Beachtung der genetischen Vielfalt verschiedener Herkünfte, anzulegen. Dadurch bekommt man bessere Einblicke in die Anpassungsfähigkeit heimischer und nicht heimischer Baumarten, die Bestandesverjüngung von Schutzwäldern und deren Sicherung. Die Verwendung des besten Saat- und Pflanzgutes ist Aufgabe der Schutzwald-Bewirtschafter, wobei die Pflanzung ebenfalls auf dem letzten Stand der Technik zu erfolgen hat. Bei der Beurteilung von Aufforstungen im Schutzwald sind allerdings andere Kriterien ausschlaggebend als im Wirtschaftswald: während im Wirtschaftswald die Wuchsleistung (Ertrag) und die Stammqualitäten die wichtigsten Kriterien sind, zählt im Schutzwald vor allem die Stabilität und Überlebensrate der Bäume und damit deren Resistenz gegenüber extremen Umweltbedingungen.

Die verschiedenen verfügbaren Bestandesbeurteilungsverfahren und –technologien sind kritisch zu hinterfragen (evaluieren und verbessern) um für den Schutzwald die jeweils baumarten- und standortangepasste beste Methode für die Praxis zur Verfügung zu haben.

Für den Schutzwald im Klimawandel sind Entscheidungshilfen (Decision support tools) für

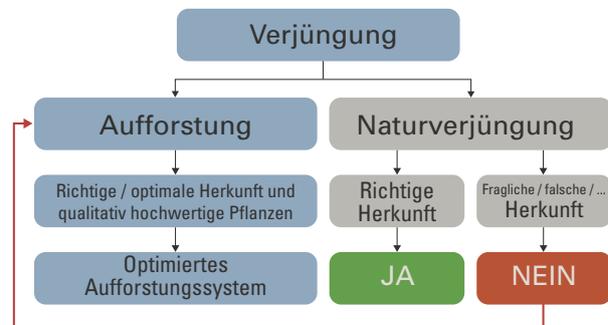
SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

die Beurteilung von Verjüngungs- bzw. Bestockungszielen Naturverjüngung und / oder Aufforstung zu erarbeiten, aber auch zur Auswahl von Pflanzgut und Pflanzverfahren – möglichst auch kartenbasiert. Weiters müssen Kriterien für standortangepasste Aufforstungszeitpunkte, Pflanzverbände, begleitende und unterstützende Maßnahmen von der Pflanzung bis zur Kontrolle der Verjüngung sowie standortangepasste Pflegekonzepte zu erarbeiten.

In der forstlichen Ausbildung ist der letzte Stand des Wissens zu vermitteln und die Studierenden sind für die Problematik zu sensibilisieren. Ferner sollten Fortbildungsveranstaltungen zu diesem Thema vermehrt angeboten werden.

Beim Entscheidungsprozess bei der Schutzwaldverjüngung ist zukünftig die Genetik stärker zu

beachten (ziel- und ergebnisorientierte Ausgewogenheit zwischen Natur- und Kunstverjüngung):



Dies auch da die Anpassung der Bäume durch den Klimawandel rascher als in der Vergangenheit erfolgen muss und dies einen Forschungs- und Entwicklungsbedarf ergibt.

Entwicklungs- und Forschungsbedarf:

Folgende Projekte sind für klimafitte und resiliente Schutzwälder daher notwendig:

Thema 1:

Kommunikation, Aus- und Weiterbildung

- Ein nationales Konzept für die Schutzwaldverjüngung (inkl. Hochlagenaufforstung).
- Das Wissen über die Bedeutung der Herkunftswahl / Genetik im Klimawandel für den Schutzwald muss verfügbar gemacht werden (z.B. Forstgenetiktagung Demonstrationsflächen, gezielte Schulung / Unterweisung der Praktiker).

Thema 2:

Saatgutversorgung und Forstpflanzen

- Erfassung und Quantifizierung des Bedarfs an zusätzlichen Schutzwäldern insbesondere in Hochlagen.

- Flächenspezifische Erfassung und Quantifizierung des Verjüngungsbedarfs in bestehenden Schutzwäldern.
- Bedarfsanalysen für Saat- und Pflanzgut auf Basis von Risikoanalysen für potentielle großflächige Störungen (Sturm, Käfer) in Schutzwäldern im Klimawandel.
- Ein zukunftsorientiertes Saatgutversorgungskonzept (Erntebestände, Samenplantagen, Plus Baum Netze).
- Ein modernes Samenplantagen Konzept unter Beachtung des Klimawandels (kontinuierlicher Umbau, markergestützte Optimierung).
- Qualitätsanforderungsempfehlung für Forstpflanzen, Verfügbarkeitsanalyse und *Versetzungsverfahren*.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Thema 3:

Baumarten- und Herkunftswahl

- Prüfung aller bisherigen Herkunftsversuche auf Schutzwald-Eignung im Klimawandel
- Neuanlage von Herkunftsversuchen heimischer und nicht-heimischer Baumarten auf der Grundlage von Klimaprognosen.
- Neue Baumarten- und Herkunftsempfehlungen im Klimawandel (Trockenresistenz, Frostresistenz, Austriebsverhalten).

Thema 4:

Schutzwaldverjüngung, Pflanzung und Pflege

- Entwicklung von getrennten Entscheidungshilfen (Decision support tool) zur Beurteilung von a) Verjüngungs- bzw. Bestockungszielen, b) Naturverjüngung und c) Aufforstung.
- Entwicklung von Entscheidungshilfen (Decision support tool) zur Auswahl von Pflanzgut und *Pflanzverfahren* für den Schutzwald im Klimawandel.

Mit der Erarbeitung der Konzepte ist sofort zu beginnen um rasch in eine Umsetzung im Sinne „Wald schützt uns! Aktionsprogramm Schutzwald: Neue Herausforderungen – starke Antworten“ zu kommen.

Literatur

Astheger, L., Die Preisaufforstungen von 1856: Damals und heute; ÖFZ 5 1993

AID, Begründung von Waldbeständen – Naturverjüngung, Saat, Pflanzung, aid infodienst, Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz, e.V., Heilsbachstr. 16, D-53123 Bonn, Bestellnummer 1093/2013, www.aid.de

Anonymus: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS). <http://www.gebirgswald.ch/de/nais-download.html> (abgerufen am 25.02.2021)

Almqvist, C., Wennström, U., & Karlsson, B., Improved forest regeneration material 2010-2050, Supply and needs, and measures to minimize shortage and maximize genetic gain. Skogforsk Nr. 3 2010, Redogörelse, ISSN 1103-4580

BFW, Auszug aus Präsentation Genetik von Waldbäumen, Institut für Waldgenetik

BFW, Containerversuch Ottenstein in Fichte Nr. 377, BFW Wien, ab 1995

BFW, Esche in Not, www.esche-in-not.at

BFW, FichtePLUS - Plusbaumauslese Fichte Österreich, BFW, www.fichteplus.at

BFW Praxisinformation Nr. 4 – 2004, Vom forstlichen Vermehrungsgut zur gesicherten Verjüngung

BFW Praxisinformation Nr. 29 – 2012, Saat- und Pflanzgut, Qualität und Herkunftssicherheit

BFW Praxisinformation Nr. 30 - 2012, Adaptives Management angesichts eines Klimawandels

BFW Praxisinformation Nr. 34 – 2014, Naturgefahren und Schutzwald

BFW Praxisinformation Nr. 44 – 2017, Wege zum klimafitten Wald

BFW Praxisinformation Nr. 50-2019, ÖWI Zwischenergebnisse 2016-2018

BFW - SUSTREE

<https://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=11116> bzw.

<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/SUSTREE.html>

BIOSEA, Waldfachplan Pilotprojekt „Zukunftsorientierte Planungsstrategien zur Baumartenauswahl und Aufforstungsmethoden unter Berücksichtigung zukünftiger Anforderungen an die Waldbewirtschaftung“, Auftraggeber BMLFUW, 2014

BIOSEA, Waldfachplan Baumarten im Klimawandel, Projektstufe 1, Auftraggeber BMLRT, Stand 2.11.2020

BMNT, Wald schützt uns! Aktionsprogramm SW: Neue Herausforderungen – starke Antworten, April 2019

Bozzano, M., et. Al., The State of The World's Forest Genetic Resources – Thematic Study: Genetic Considerations In Ecosystem Restoration Using Native Tree Species, FAO, Rome, 2014, ISBN 978-92-5-108469-4

Brünnig, E., Mayer, H., Waldbauliche Terminologie, Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, 1980

Chakraborty, D.; Gaviria, J.; Bednárová, D.; Bolte, A.; Bouissou, C.; Buchacher, R.; Hazarika, R.; Henning, L.; Kowalczyk, J.; Longauer, R.; et al. Implementing assisted migration. Output of the Interreg Central Europe Programme 2014–2020. SUSTREE Policy Brief 2019, 2.

Chimani, B.; Heinrich, G.; Hofstätter, M.; Kerschbaumer, M.; Kienberger, S.; Leuprecht, A.; Lexer, A.; Pessenteiner, S.; Poetsch, M.; Salzmann, M.; et al. Endbericht ÖKS15–Klimaszenarien für Österreich. Available online: <https://hdl.handle.net/20.500.11756/06edd0c9> (accessed on 5 February 2018)

De Vries, S., et.al., Pan-European strategy for genetic conservation of forest trees and establishment of a core network of dynamic conservation units, Bioversity International 2015, ISBN 978-92-9255-029-5

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Dumroese, R.K.; Williams, M.I.; Stanturf, J.A.; Clair, J.B.S. Considerations for restoring temperate forests of tomorrow: Forest restoration, assisted migration, and bio-engineering. *New For.* 2015, 46, 947–964. [CrossRef] 21.

EZG (Erzeugergemeinschaft für Qualitätsforstpflanzen Süddeutschlands), Topf- und Containerpflanzen, Anzucht und Aufforstung, i-aktuell Nr. 2/2013

EU Fair 3-CT96-1949 Biodiversity in Alpine Forest Ecosystems (BAFE), Analysis, Protection and Management, Projektpartner u.a. BFW, BOKU, LIECO, Endbericht 12.12.2003

FfV - Zertifizierung von forstlichem Vermehrungsgut durch den FfV (<https://ffv-zertifizierung.com>)

Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik, NRW, Containerpflanzen und -pflanzverfahren: System mit Zukunft, Wald und Holz NRW, Lehr- und Versuchsamt Arnsberger Wald, www.wald-und-holz.nrw.de

Frank, A.; Howe, G.T.; Sperisen, C.; Brang, P.; Clair, J.B.S.; Schmatz, D.R.; Heiri, C. Risk of genetic maladaptation due to climate change in three major European tree species. *Glob. Chang. Biol.* 2017, 23, 5358–5371.

Forest in the Future, Sustainable Use, Risks and Challenges, Invitation Papers, 4-5 October 2012, Belgrade, Republic of Serbia, International Scientific Conference, ISBN 978-86-80439-31-0

Forstliches Vermehrungsgutgesetz 2002, BGBl I Nr. 110/2002

Forstpflanzenbedarf in Ö über FFG Innovationsscheck Plus für LIECO, Kompetenzzentrum Holz GmbH, 2017

Geburek, T., Die Weitergabe genetischer Information – eine wichtige Komponente bei der Waldverjüngung; BFW Praxisinformation Nr. 4 – 2004

Geburek, T., Klimawandel: Konsequenzen aus genetischer Sicht, www.waldwissen.net/de/Waldwirtschaft/waldbau/waldgenetik/genetik-und-klimawandel, Onlineversion 6.4.2006. Originalartikel: Auszug aus: Geburek, T. (2006): Klimawandel - Forstliche Maßnahmen aus genetischer Sicht. BFW-Praxisinformation 10, April 2006, 12 - 14

Geburek, T., Schüler, S., Weisenbacher, L., Genetisches Material für den alpinen SW: (K)ein

Thema!?!; BFW Praxisinformation 34-2014

Gentree – Optimising the management and sustainable use of forest genetic resources in Europe, H2020-SFS-2015-2, www.gentree-h2020.eu

George, J.P.; Schueler, S.; Karanitsch-Ackerl, S.; Mayer, K.; Klumpp, R.T.; Grabner, M. Inter- and intra-specific variation in drought sensitivity in *Abies spec.* and its relation to wood density and growth trait. *Agric. For. Meteorol.* 2015, 214–215, 430–443.

Glanzmann, L., Schwitter, R., Zürcher, S.; Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald. *Wald und Holz.* 9/2019, S. 22-25

Gömöry, D.; Krajmerová, D.; Hrivnák, M.; Longauer, R. Assisted migration vs. close-to-nature forestry: What are the prospects for tree populations under climate change? *Cent. Eur. For. J.* 2020, 66, 63–70.

Hasenauer, H., et al., Ursprung, Waldbauliche Potentiale und Zukunft der Douglasie in Mitteleuropa, Projektendbericht CCDouglas (I, II, Pop2), Projektlaufzeit 1.10.2010 – 31.3.2018), Projektpartner: BOKU, LIECO, ÖBf, LKÖ, LK-Nö, 11 Forstbetriebe Ö, 11 Forstbetriebe D, Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur Wien, 6.8.2018

Hosius, B., et al, AFZ-Der Wald 22/2013 (siehe auch Waldfachplan Pilotprojekt „Zukunftsorientierte Planungstrategien zur Baumartenauswahl und Aufforstungsmethoden unter Berücksichtigung zukünftiger Anforderungen an die Waldbewirtschaftung“, BIOSA 2014, Auftraggeber BMLFUW)

Hosius, B., Aspekte der Containerpflanze, Präsentation B. Hosius, Isogen, Aufforstungsseminar Lehr- und Versuchsamt Arnsberger Wald, Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik, NRW, 10.3.2010, www.isogen.de

Isabel, N., Holliday, J.A., Aitken, S.N. (2020). Forest genomics: Advancing climate adaptation, forest health, productivity and conservation *Evolutionary Applications* 13:3-10

Koskela, J., et. al., Climate change and forest genetic diversity – Implications for sustainable forest management in Europe, Bioversity International, 2007, ISBN 978-92-9043-749-9

Lärche XXL – Steigerung der Leistungsfähigkeit bei der Baumart Lärche, FFG ProjektNr. 841340, Laufzeit 1.12.2015 – 30.6.2017, Projektpartner: BFW, AIT, FHP, LIECO, ÖBf

Ledermann, T., Nemestothy N, Pflanzverfahren und Baumstabilität, Forstzeitung 04-2016

Ledermann, T., Einfluss des Pflanzverfahrens auf die Standfestigkeit von Fichten, Endbericht zum Forschungsprojekt 101400, BFW 2016

LKÖ, Standortgerechte Verjüngung des Waldes, Landwirtschaftskammer Österreich, 2007, www.lk-oesterreich.at

LKÖ, Waldbau in Österreich auf ökologischer Grundlage, Eine Orientierungshilfe für die Praxis, Landwirtschaftskammer Österreich, Ländliches Forstbildungsinstitut Österreich, Schauflergasse 6, 1014 Wien, 1. Auflage März 2013, www.lk-oe.at, www.lfi.at

LWF-Wissen, Forstgenetik, Forstgenressourcen und Forstvermehrungsgut, Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF-Wissen 74, August 2014, ISSN 2198-106X

LWF-Wissen, Beiträge zur Fichte, Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF-Wissen 80, September 2017, ISSN 2198-106X

Mayer, H., Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage, Hannes Mayer, 1984

MoreSeedsAdapt, Wood KPLUS, BFW

Müller, F., Erhaltungs- und Samenplantagen, Teilprojekt von FB G6/86 – Beiträge zur Erhaltung der genetischen Vielfalt, Projektleiter: Dr. Ferdinand Müller, Forstliche Bundesversuchsanstalt, enthalten in Forschungsbericht 1999 (Wien, Mai 2000), Herausgeber: Lebensministerium

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Pauli, H.; Gottfried, M.; Dullinger, S.; Abdaladze, O.; Akhalkatsi, M.; Alonso, J.L.B.; Coldea, G.; Dick, J.; Erschbamer, B.; Calzado, R.F.; et al. Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits. *Science* 2012, 336, 353–355.

Produktionsgrundlagen & Bestandessicherheit „Green Heritage I – Trees for the Future“, FFG Projektnr. 814311/13143, Laufzeit 1.10.2007 – 31.3.2011, Projektpartner: BFW, AIT, FHP, LIECO, ÖBf, FMM, Waldverband Steiermark und Fichte – Selektionsverfahren für die Praxis „Green Heritage II – Trees for the Future“, FFG Projektnr. 834209, Laufzeit 1.3.2012 – 31.10.2015, Projektpartner: BFW, AIT, LIECO, ÖBf, FMM, Waldverband Steiermark

Program of conserving forest genetic resources and breeding of trees in Poland for the years 2011-2035, Centrum Informacyjne Lasow Panstwowych, Publication commissioned by the Directorate-General of the State Forests, Warsaw 2011, ISBN 978-83-61633-61-7

Ramskogler K., Hartleitner C., Herkunftssicherung und Saatgutversorgung, BFW Praxisinformation 29-2012

Scherner J., FH Weihenstephan, Container- und Anzuchtformen bei Fichte für die Schutzwaldsanierung, Forstzeitung 1 2002

Seidl, R.; Rammer, W.; Lexer, M.J. Adaptation options to reduce climate change vulnerability of sustainable forest management in the Austrian Alps. *Can. J. For. Res.* 2011, 41, 694–706.

Schwitter, R.; Frehner, M.; Wasser, B. (2006): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Die neue Wegleitung „NaiS“ gibt praktische Hinweise. *Wald Holz* 87, 3: 44-47.

Vinceti, B., Forest ecosystem genomics and adaptation, Book of Abstracts, San Lorenzo de El Escorial (Madrid), Spain, 9-11 June, 2010, Compiled by Barbara Vinceti, Bioversity International, ISBN 978-92-9043-834-2

Wang, T., G.A. O'Neill and S.N. Aitken (2010). Integrating environmental and genetic effects to predict responses of tree populations to climate *Ecological Applications* 20: 153-163.

Weißbacher, J., PEFC Nachhaltigkeitsbericht 2016, Gesamtbericht PEFC Regionen Österreichs, Stand 10.2.2017, verfasst von DI Josef Weißbacher im Auftrag des PEFC Regionen Regionenkomitee

ZÜF - Zertifizierungsring für überprüfbare Forstliche Herkunft (<https://zuef-forstpflanzen.de>):

Forsttechnik und Waldarbeit im Schutzwald

Johann Zöscher, Nikolaus Nemestothy, Karl Stampfer und Dieter Seebacher

Die Bewirtschaftung von Wäldern, speziell aber die Behandlung von Schutzwäldern, wird gesellschaftlich oft kritisch gesehen. Gleichzeitig haben bei der Schutzwaldbewirtschaftung ökologische Vorgaben wie z.B. die Stabilität des Bestandes Priorität gegenüber wirtschaftlichen Überlegungen. Deshalb ist eine professionelle Planung von Walderschließungs- und Holzerntemaßnahmen zur nachhaltigen Sicherstellung der Schutzwirkung unerlässlich. Nachdem Österreichs Schutzwald vorwiegend im Steilgelände liegt, kommen vor allem seilgestützte Holzerntesysteme für die Waldbewirtschaftung in Frage. Die Bedeutung von Arbeitssicherheit, Ergonomie sowie Aus- und Weiterbildung wird im Schutzwald als besonders kritisch gesehen.

Stand des Wissens

Technische Möglichkeiten bei der Behandlung von Schutzwald

Jeder Eingriff in das Ökosystem Wald stellt eine gewisse Belastung für Boden und verbleibenden Bestand dar. Mit moderner Forsttechnik können waldbauliche Eingriffe möglichst boden-, verjüngungs- und bestandesschonend umgesetzt werden. Österreich hat im Bereich waldschonender Holzerntetechniken für das Gebirge höchste Kompetenz mit Weltruf.

Prinzipiell steht für Interventionen im Schutzwaldbereich eine Reihe von forsttechnischen



SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Möglichkeiten zur Auswahl. Die Auswahl eines Holzerntesystems oder -verfahrens wird von mehreren Parametern abgeleitet: Erschließungsdichte mit Forststraßen, Befahrbarkeit des Geländes, Bodentragfähigkeit und Oberflächenrauigkeit sowie Bestandaufbau. Die Fällung des Holzes im Schutzwald erfolgt hauptsächlich mit der Motorsäge. Für die Rückung werden Schlepper oder Mastseilgeräte eingesetzt, die von der Forststraße aus arbeiten. Das Holz wird meist mit der Motorsäge oder mit Prozessoren aufgearbeitet. Bei fehlender Erschließung oder auch aus Gründen der Forsthygiene und Arbeitssicherheit ist der Helikopter eine Alternative für die Holzurückung im Schutzwald. Bei der Verfahrenswahl im Schutzwald sind ökologischen Kriterien (Bestandespfleglichkeit, Bodenschäden, Nährstoffhaushalt usw.) gegenüber ökonomischen der Vorrang zu geben.

Forststraßen sind die Basis für eine zielgerichtete Schutzwaldbewirtschaftung. Beim Forststraßenbau im Gebirgs- und Schutzwald sind die Eingriffe ins Ökosystem Wald möglichst gering zu halten, um mögliche negativen Folgewirkungen (Erosion, Rutschungen usw.) zu vermeiden. Mit der Baggerbauweise können sowohl technische als auch ökologische Anforderungen an den Forststraßenbau optimal realisiert werden. Durch den Einsatz von Baggern können auch notwendige Sicherungsbauten, wie Steinschichtungen oder „bewehrte Erde“, problemlos errichtet werden. Die Erhaltung der Forststraßen ist eine der größten zukünftigen Herausforderungen, wobei auf die schadlose Ableitung der Oberflächenwässer größtes Augenmerk gerichtet sein sollte.

Arbeitssicherheit und Unfallverhütung bei Arbeiten im Schutzwald, Rahmenbedingungen, Aus- und Weiterbildung

Bei der Umsetzung von Waldarbeiten im Schutzwald müssen – wie in jedem anderen Arbeitsprozess – die Arbeitssicherheit prioritär bewertet und übliche Maßnahmen zur Erreichung von

Sicherheitszielen umgesetzt werden. Genaue Erkenntnisse zu besonderen Gefährdungspotenzialen liefert die Evaluierung der Einsatzorte mit genauer Dokumentation. Sie ist Grundlage für die Unterweisung sämtlicher an der Maßnahmenumsetzung beteiligter Personen.

Besondere Geländeformationen, speziell extremes Steilgelände, bringen enorme Herausforderungen für die Umsetzung von Verjüngungs-, Pflege- und Ernteeingriffen. Gerade in Schutzwaldbereichen ist schwieriges Gelände in Kombination mit zusätzlichen Gefahrenpotenzialen eher die Regel als die Ausnahme. Einer genauen Definition der Schlagordnung (Fällrichtung, Arbeitsfortschritt) sowie einer detaillierten Beschreibung etwaiger sonstiger begleitender Maßnahmen (Stockhöhe, Sicherungsmaßnahmen) kommt dem entsprechend hohe Priorität zu.

Umfassende persönliche und fachliche Kompetenzen sind die Grundlage für sicheres Arbeiten unter schwierigen Bedingungen. Methodisch richtige durchgeführte Waldarbeit fördert die Effizienz, Arbeitssicherheit und Ergonomie. Qualifizierte Aus- und Weiterbildung aller Akteure zur Umsetzung von Interventionen im Schutzwald ist deshalb alternativlos. In Analogie zur umzusetzenden Arbeit sind adäquate Aus- und Weiterbildungsangebote bedarfsorientiert wahrzunehmen.

Forschungsbedarf

Der Forschungsbedarf orientiert sich an der Notwendigkeit zur Entwicklung eines waldbaulich-forsttechnischen Optimalverfahrens zur Verjüngung und Behandlung der Gebirgswälder. Die zu entwickelnden waldbaulichen Verfahren sollen eine kleinflächige Verjüngung von Gebirgswäldern in Steillagen bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Schutzwirkung mit möglichst geringen Erntekosten gewährleisten. Daraus abgeleitet ergibt sich nachfolgender Forschungsbedarf:

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

- Verbesserte Planung durch Einsatz von Laserscanning Systemen: z.B. personenge-tragene Laserscanner (PLS) zur Geländere-konstruktion und Bestandesermittlung („Digitaler Zwilling des Waldes“). Optimierung der Seillinienplanung, der Bau-werksaufteilung und -konstruktion sowie der Abfolge der Seillinien (forsttechnisch/wald-baulich).
- Entwicklung neuer und Weiterentwicklung bestehender seilgestützter Holzernte-systeme (hoch- und vollmechanisiert) mit dem Ziel die Effizienz zu verbessern und die ökologische Nachhaltigkeit zu fördern.
- Einsatz von innovativen Technologien zur Reduktion des ökologischen Fußabdruckes bei forstlichen Wertschöpfungsketten im Gebirge (z.B. rekuperierende Laufwagen, Hybridtechnologien bei Mastseilgeräten).
- Untersuchungen zur Belastungs- und Bean-spruchungsreduktion bei der Waldarbeit im Gebirge und Verbesserung der Ergonomie und Arbeitssicherheit durch Entwicklung neuer Fälltechniken und Mechanisierung (Automatisierung) der Arbeitsprozesse.
- Entwicklung von innovativen Sensorik-systemen zur Personenerkennung im Forstlichen Sperrgebiet und Gefahrenbereich bei der Holzernte.

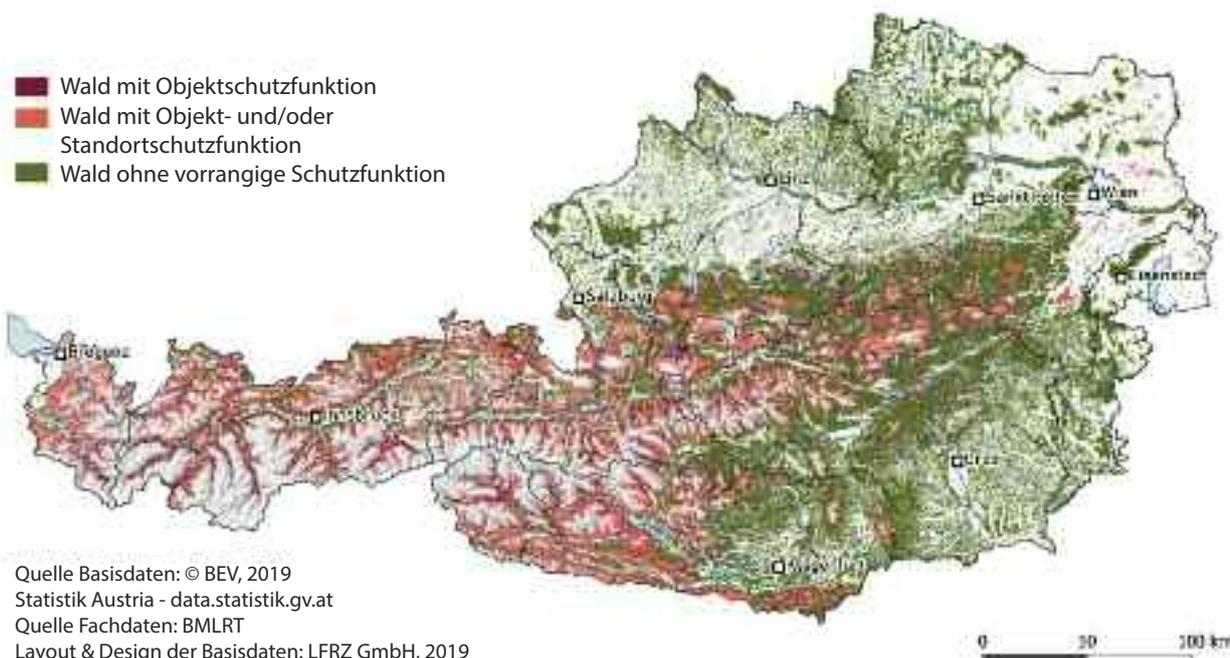
Einleitung

Der Österreichische Wald unterliegt hinsichtlich seiner Einflussnahmen einer strengen Regelung durch das Österreichische Forstgesetz. Einer deutlichen Prämisse der Erhaltung und möglichen Verbesserung der Waldfunktionen folgend, wird die Bewirtschaftung in mehr oder weniger intensiver Art und Weise umgesetzt.

Österreich ist mit einem Waldanteil von etwa 48 % der Gesamtfläche, eines der walddreieisten Länder der Europäischen Union. Laut Österreichischem Waldentwicklungsplan entfallen rund 30 Prozent der Gesamtwaldfläche auf die Kategorie Schutzwald. Speziell in den westlichen Bundesländern ist der Anteil der Schutzwaldbereiche höher.

 Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus

-  Wald mit Objektschutzfunktion
-  Wald mit Objekt- und/oder
Standortschutzfunktion
-  Wald ohne vorrangige Schutzfunktion



Quelle Basisdaten: © BEV, 2019
Statistik Austria - data.statistik.gv.at
Quelle Fachdaten: BMLRT
Layout & Design der Basisdaten: LFRZ GmbH, 2019
Datenauswertung und Design der Fachdaten: BFW, LFD, BMLRT, Abteilung III/4, 2020

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Laut Österreichischem Forstgesetz 1975 werden im Abschnitt „**B. Wälder mit Sonderbehandlung**“ definiert. Das sind Schutzwälder, welche wie folgt eingeteilt werden können:

- **Standortschutzwälder:** Wälder, deren Standort durch abtragende Kräfte von Wind, Wasser oder Schwerkraft gefährdet ist (vgl. FG 1975, §21). Standortschutzwälder schützen damit den Boden auf dem sie stocken und damit den Waldbestand als solches.
- **Objektschutzwälder:** Wälder, die Menschen, menschliche Siedlungen, Anlagen oder kultivierten Boden vor Elementargefahren schützen (vgl. FG 1975, §21). Objektschutzwälder schützen damit menschliche Infrastruktur und tragen demnach dazu bei, dass viele Regionen unseres Alpenraumes heute noch besiedelt sind sowie landwirtschaftlich und touristisch bewirtschaftet werden können.

Man kann also von sensiblen Waldbereichen ausgehen, die hinsichtlich ihrer Behandlung eine spezielle Berücksichtigung erschwerender Rahmenbedingungen bedürfen.

Schutzwälder unterliegen natürlich auch der forstlichen Bewirtschaftung. Jedenfalls sind diese Waldbereiche hinsichtlich ihrer topografischen oder sonstigen Eigenschaften eine besondere Herausforderung für die Bewirtschaftung, speziell für die Holznutzung.

Die Bewirtschaftung von Wäldern, speziell aber die Behandlung von Schutzwäldern, wird gesellschaftlich sehr oft kritisch gesehen. Intensive Planung und professionelle Organisation von Holzernteeinsätzen und Behandlungsmaßnahmen müssen daher die Grundlage für forstliche Maßnahmen bilden. Schutzwaldpflege und -bewirtschaftung orientiert sich an langfristigen Prozessen. Oberstes Ziel ist die Entwicklung der Stabilität von Beständen. Ausgehend vom Waldzustand werden Maßnahmen (Baumartenmischung, Verjüngungsmanagement, Stufigkeit) abgeleitet und nach der Umsetzung deren Wirksamkeit kontrolliert (Schildknecht et al., 2019). Die Standortsangepasstheit der Maßnahmen im Schutzwald ist grundlegende Voraussetzung für den Erfolg der Zielerreichung.

Zu den wichtigsten Maßnahmen gehören:

- Optimale Baumartenmischung zur Erlangung höchstmöglicher Resilienz und zur Erreichung des übergeordneten Schutzzweckes.
- Verjüngung mit adäquaten, standortsangepassten und standortstauglichen Baumarten.
- Stufiger Waldaufbau als Grundlage zur dynamischen Bestandesweiterentwicklung.

Zur Umsetzung der geplanten Maßnahmen braucht es adäquate Technik, die zielgerichtet und kompetent eingesetzt wird. Moderne Forsttechnik macht es möglich, den ökologischen Fußabdruck bei Pflege- und Verjüngungsmaßnahmen zu verringern und insgesamt den Wald ökosystemnäher zu bewirtschaften.

Technische Möglichkeiten bei der Behandlung von Schutzwald

Jeder Eingriff in das Ökosystem Wald stellt eine gewisse Belastung für Boden und verbleibenden Bestand dar. Moderne Technik hilft waldbauliche Eingriffe möglichst boden-, verjüngungs- und bestandesschonend umzusetzen. Österreich hat im Bereich waldschonender Holzerntetechniken höchste Kompetenz mit Weltruf! Prinzipiell steht für Interventionen im Schutzwaldbereich eine Reihe von forsttechnischen Möglichkeiten zur Auswahl. Die Holzerntesysteme können boden-, seil – oder luftfahrzeuggestützt sein. Ein flächiges Befahren des Waldbodens wird in Österreich vermieden.

Rahmenbedingungen sind entscheidend

Fragen der technischen Machbarkeit und ökologischen Vertretbarkeit sind entscheidend für die Wahl der richtigen Holzerntetechnik im Schutzwald. Bei der Verfahrenswahl im Schutzwald sind ökologischen Kriterien (Bestandespfleglichkeit, Bodenschäden, Nährstoffhaushalt usw.) gegenüber ökonomischen der Vorrang zu geben. Dabei steht die Erhaltung der Stabilität und der Schutzwirkung der Wälder im Vordergrund.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Holzerntesysteme und -verfahren im Schutzwald

Prinzipiell gibt es für Bewirtschaftungsmaßnahmen im Schutzwaldbereich eine Reihe von forsttechnischen Möglichkeiten. Die Auswahl eines Holzerntesystems oder -verfahrens wird von mehreren Parametern abgeleitet: Besitzkategorie, Erschließungsdichte mit Forststraßen, Feinerschließungsnetz, Befahrbarkeit des Geländes (Hangneigung, Bodentragfähigkeit und Oberflächenrauigkeit) sowie Bestandesaufbau. Die Fällung des Holzes im Schutzwald erfolgt hauptsächlich mit der Motorsäge, in Ausnahmefällen kommt auch der Harvester zum Einsatz.

Teilmechanisierte Holzerntesysteme

Von teilmechanisierten Erntesystemen spricht man dann, wenn die Fällung und Aufarbeitung mit Motorsäge und die Rückung des Holzes (Sortiments- oder Stammverfahren) maschinell erfolgt.

Bei motor-manuellen Arbeiten im steilen Gelände muss plötzlich auftretenden Gefahrenmomenten rasch entgegengewirkt werden. Abrollende Holzstücke, zurückschnellende Äste oder kräfteraubendes Hantieren mit der Motorsäge sind oft Ausgangspunkte für gefährliche Situationen oder Unfälle. Auch bei der Rückung muss vermehrt mit abrollenden Stämmen oder Steinen gerechnet werden. Als Vorteil erweist sich der Zuzug von kurzen Sortimentslängen, Schäden am verbleibenden Bestand können leichter vermieden werden.

Rückung mit Schlepper

Da die Geländeneigung einen wesentlichen limitierenden Faktor für Rückeeinsätze mit Forstschleppern darstellt, wird bei der Behandlung von Schutzwäldern in der Regel von der Forststraße aus mit Seilzuzuggassen gearbeitet. Boden und verbleibender Bestand sind durch gute Planung, optimierte Arbeitsweise und durch Einsatz von Hilfsmitteln (Umlenkrollen, Streifbäume) größtmöglich zu schonen. Zuzugsdistanzen von 40 bis 50 Meter (bergauf und bergab) sollten nur in Ausnahmefällen überschritten werden. Lastfahrten mit Forstschlep-

pern sind bergab theoretisch bis zu einer Gefälle von 40% möglich. Bergaufrückung ist auf kurzen Strecken bis zu 30% Steigung möglich. Bei Steilstellen, bis 40% Steigung, ist die Last nachzuseilen. Deshalb ist neben einer notwendigen Basiserschließung die Anlage von Feinerschließungslinien durch Rückewege eine denkbare Variante.

Rückung mit Seilgeräten

Mit Mastseilgeräten können maximale Rückedistanzen von bis zu 800 m realisiert werden. Wenn auf Grund fehlender Erschließung mit Forststraßen höhere Rückedistanzen zu bewältigen sind, sind Seilgeräte (Schlittenwinden) eine unverzichtbare Alternative.

Die Seilrückung im Sortimentsverfahren ist sehr arbeitsintensiv und damit auch teuer, aber es gibt große Vorteile im Hinblick auf Bestandespfleglichkeit und Nährstoffhaushalt. Sortimente können mit einer gut ausgebildeten und hochmotivierten Seilmannschaft fast schadfrei durch den Bestand manövriert werden. Nachdem das Entasten und Ausformen im Bestand erfolgt, bleiben auch die im Schlagrücklass enthaltenen Nährstoffe am Waldort zurück.

Hochmechanisierte Holzerntesysteme

Bei der hochmechanisierten Holzernte mit Mastseilgeräten wird der Baum mit der Motorsäge gefällt und mit einem Mastseilgerät an die Forststraße gerückt, wo er mit einem Prozessor aufgearbeitet wird. Dieser Prozessor kann in das Mastseilgerät integriert oder auf ein eigenes Trägerfahrzeug (meist ein Bagger) aufgebaut sein.

Mastseilgeräte erleichtern eine pflegliche Bearbeitung von Schutzwald. Mit einer ausreichend hohen Tragseilhöhe und einer optimalen Fällrichtung ist der Zuzug und die Rückung in ökologisch vertretbarem Ausmaß von Stammschäden machbar. Tragseilsysteme stellen bei guter Ausführung für den Waldboden eine sehr pflegliche Art der Holzrückung dar. Die Schäden am verbleibenden Bestand sind von der Sorgfalt der Arbeitsausführung, dem Trassenabstand, von der Geländeneigung, der Eingriffsstärke, der Tragseilhöhe, von der Ausstattung des Seilgerätes, sowie der Vegetationsperiode abhängig

(Stampfer et al., 2003). Bei selektiver Entnahme von Einzelbäumen ist die Bergauf-Seilung hinsichtlich der Schäden am verbleibenden Bestand günstiger als die Bergab-Seilung (Heinimann, 2003).

Durch moderne Technologie mit hoher Effizienz ist es möglich, klein- und kleinstflächig, standortszentriert und naturnahe zu arbeiten. Mit Laufwägen, die ihre Position mit angehängter Last am Tragseil verändern können, bzw. Laufwägen, die auch bei Fahrt das Zug- bzw. Hubseil einziehen können, kann die Zuzugslinie in jeder Situation so gestaltet werden, dass Schäden am verbleibenden Bestand möglichst gering sind.

Hinsichtlich der Pflughigkeit für den Standort hat beim Baumverfahren eine Bewertung der ökologischen Verträglichkeit des Biomasseentzuges stattzufinden. Die Grünmasse der Bäume sowie die Wipfelbereiche sollten am Standort verbleiben (FHP, 2019). Eine Zerkleinerung des Schlagrücklasses ist aus Sicht des Forstschutzes durchzuführen.

Vollmechanisierte Holzerntesysteme

Von vollmechanisierten Holzerntesystemen spricht man, wenn die Fällung und Aufarbeitung des Holzes mit Harvester und die Rückung des Holzes mit Forwarder erfolgt.

Die vollmechanisierte Holzernte wird in Schutzwaldbereichen eher die Ausnahme als die Regel sein. Speziell im Schutzwald außer Ertrag werden vollmechanisierte Erntesysteme meist nicht anwendbar sein. Falls dennoch eine vollmechanisierte Maßnahmenvariante umgesetzt werden soll, ist genaueste Planung und die präzise Definition von Abbruchkriterien prioritär. Im Schutzwald liegt das Augenmerk klar auf größtmöglicher Bestandes- und Bodenschonung. Bei Schadholzereignissen stellt der Harvester eine Möglichkeit dar, Forststraßen rasch von geworfenen Bäumen zu befreien und die Benutzbarkeit wiederherzustellen.

Bei Gefährdung des Bodens durch Bodenverdichtung (Entstehung von Spurrinnen), Vernichtung der Bodenstruktur oder bei zu erwartender Erosion in Folge unsachgemäßer Holzrückung muss von einer Befahrung Abstand genommen werden.

Folgende Grenzbereiche ergeben sich für die vollmechanisierte Holzernte mit Harvester und Forwarder:

- Harvester und Forwarder mit Bändern und Ketten auf Feinböden 30 bis 40 % und auf skelettreichen Böden 40 bis 50 % Hangneigung.
- Harvester und Forwarder mit Seilsicherung über eine Traktionswinde auf Feinböden 60 bis 65 %, auf skelettreichen Böden bis 70 % Hangneigung.

Eine Überschreitung dieser Grenzwerte muss aus Gründen der bestmöglichen Schonung des Waldbodens und des verbleibenden Bestandes unterbleiben.

Sonderverfahren – Holzrückung mit Hubschrauber

Bei fehlender Erschließung und wertvollen Holzsortimenten sowie aus Gründen der Waldhygiene (z.B. Vermeidung der Massenvermehrung von Forstschädlingen oder Eindämmung der Waldbrandgefahr) und Arbeitssicherheit ist der Helikopter eine Alternative für die Holzrückung im Schutzwald, stellt aber gleichzeitig auch die teuerste Rückvariante dar. Der Einsatz von Hubschraubern wird notwendig, wenn alle anderen Möglichkeiten der Holzrückung unmöglich erscheinen (Gefährdung von Unterliegern), das Holz aber dennoch abtransportiert werden muss.

Entscheidend und einsatzbestimmend ist die Dauer der Flugzyklen des Helikopters, welche von der Vertikal- und Horizontalabstand zwischen Lastaufnahmeort und Landeplatz abhängig sind. Die möglichst optimale Auslastung der Lastkapazität ist ein wichtiges Effizienzkriterium, weshalb die meisten Helikopter mit Doppel-Haken zur Lastoptimierung ausgestattet sind.

Die Holzrückung mit Helikopter wird prinzipiell im Stammverfahren durchgeführt. Aus Forstschutzgründen und im Ausnahmefall auch im Baumverfahren, wobei standortspezifisch die ökologischen Auswirkungen des Biomasseentzuges zu bewerten sind.

Forststraßenbau im Schutzwald

Forststraßen sind heute nicht nur Holztransportwege und Holzlagerplätze, sondern haben vielfältige Funktionen im Rahmen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung: dienen als Arbeitsplatz, stellen schnelle Ersthilfe (ärztliche Versorgung, Ersthelfer sollten vor Ort sein) nach Unfällen sicher, erlauben zeitgemäßes Management von Kalamitätsereignissen und Waldschutz, erleichtern die jagdliche Bewirtschaftung und sind Lebensraum für unterschiedliche Tier- und Pflanzenarten.

Beim Forststraßenbau im Gebirgs- und Schutzwald sind die Eingriffe ins Ökosystem Wald möglichst gering zu halten, um mögliche negativen Folgewirkungen (Erosion, Rutschungen usw.) zu vermeiden. Auf Grund der Steilheit des Geländes und bestehender Rutschgefahr darf bei über 70 % Hangneigung das abgetragene Material nicht mehr talseitig aufgeschüttet werden, sondern muss im Längstransport an einer geeigneten Stelle verbaut bzw. gelagert werden.

Eingesetzte Technik

Heutzutage werden Forststraßen ausschließlich in Baggerbauweise ausgeführt. Bei Forststraßenprojekten im Berggebiet wird ein Baggergewicht mit 20 – 30 Tonnen empfohlen. Nicht nur die eigentlichen Grabarbeiten, sondern viele Tätigkeiten rund um die Forststraßenbaustelle werden mit diesem Gerät unterstützt (z.B. Einbau von Durchlässen, Bau von Böschungssicherungsmaßnahmen).

Wassermanagement

Starkregenereignisse nehmen generell immer mehr zu. Besonders im Gebirge ist es deshalb aus Gründen der Hochwassersicherheit wichtig, das Niederschlags- und Hangwasser möglichst schadlos abzuleiten, um keine Erosion oder gar Rutschungen entstehen zu lassen. Auch für die dauernde Aufrechterhaltung der Befahrbarkeit der Forststraße und der Tragfähigkeit des Straßenkörpers ist eine funktionierende Entwässerung unumgänglich (Stampfer, 2020; Langmasius et al., 2018).

Eine angemessene Entwässerung des Straßenkörpers wird durch eine ausreichende Querneigung der Fahrbahn erreicht. Bei einer

Bombierung oder dachförmigen Ausformung des Querprofils entsteht der Vorteil, dass der Abflussweg des Wassers halbiert wird und auf kürzesten Weg Richtung Berg oder Tal abfließt. Während talseitig das Wasser über die Böschung abrinnt, wird bergseitig das Oberflächen- und auch Hangwasser in Seitengräben gesammelt und in regelmäßigen Abständen mit unterirdischen Rohrdurchlässen ins unterliegende Waldgebiet entwässert. Der Durchmesser und Abstand der Rohrdurchlässe muss auf die örtlich gegebene Niederschlags- und Abflusssituation abgestimmt sein. Ein dem Stand der Technik entsprechender Rohrdurchlass verfügt über eine Ein- und Auslaufsicherungen, um Erosion zu verhindern und Rutschungen entgegenzuwirken (Stampfer, 2020).

Böschungssicherung

Grundlage für eine stabile Forststraße sind die bergseitige und talseitige Böschung. Im steilen Gelände sind Wegböschungen häufig einer starken Erosion ausgesetzt und müssen trotzdem gegenüber jeder Witterung standfest sein. Besonders hoch ist der Einfluss der Böschungen auf den Hangwasserhaushalt, denn durch sie wird der Oberhang entwässert und der Unterhang zusätzlich mit Wasser beeinflusst. Diese Einflüsse können Entstehungsgründe für Rutschungen, Sitzungen und Erosionen sein. Deshalb sind gerade im schwierigen Baugelände technische Böschungssicherungen zu errichten, um die Stabilität des Hanges und der Straße nicht zu gefährden (Vorraber, 2018).

Für die Sicherung der bergseitigen Böschung haben sich Grobsteinschichtungen bewährt, während die talseitige Böschung sehr häufig mit „bewehrter Erde“ gesichert wird. Bewehrte Erde ist ein Verbundkörper aus Bewehrungsmaterial wie Geotextilen und geeigneten (örtlich vorhandenen) Bodenmaterial (Stampfer, 2020).

Stützbauwerke auch aus Rundholz, sogenannte „Krainervände“ kommen bei bergseitigen Böschungen in einfacher Form und beim talseitigen Dammaufbau als doppelseitiger Holzkasten zur Anwendung. Lärchen-, Tannen- und Akazienholz sind für diese Konstruktion ideal geeignet. Bauwerke dieser Art sind aufwändig, teuer und von begrenzter (je nach Holzart) Lebensdauer.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Arbeitssicherheit und Unfallverhütung bei Arbeiten im Schutzwald

Bei der Umsetzung von Waldarbeiten und Behandlungsmaßnahmen im Schutzwald muss – wie in jedem Arbeitsprozess – die Arbeitssicherheit prioritär bewertet und übliche Maßnahmen zur Sicherstellung der Arbeitssicherheit umgesetzt werden.

Wichtige Rahmenbedingungen

Als Voraussetzung für qualitativ hochwertige Waldarbeit im Schutzwald sind zumindest folgende vier „Eckpfeiler“ besonders zu berücksichtigen:

- Vollständige Persönliche Schutzausrüstung (PSA) für alle involvierten Arbeiter
- Adäquate Ausrüstung und richtiges Werkzeug
- Qualifikation durch Aus- und Weiterbildung sowie praktische Erfahrung
- Richtige Arbeitstechnik und methodische Arbeitsweise

In Österreich werden jedes Jahr 1.500 bis 2.000 Arbeitsunfälle (www.auva.at) bei Waldarbeiten verursacht. Bis zu 30 Unfälle davon verlaufen tödlich. Mit Bezug auf den Holzeinschlag ereignen sich etwa 70 Unfälle pro 1 Mio. produzierter Erntefestmeter (Efm). Die Hauptursachen dafür sind falsche methodische Vorgehensweise, schlechte Organisation des Arbeits- und Einsatzplatzes sowie Ignoranz der gültigen Sicherheitsstandards. Glaubt man den Ergebnissen der Unfallursachenforschung, so haben 95 Prozent aller dokumentierten Arbeitsunfälle im Forst ihre kausale Unfallursache eindeutig in menschlichen (Fehl-)Entscheidungen: 20 % der Arbeitenden hatten zu wenig oder kein Fachwissen, 10 % konnten den Unfall aus sonstigen Gründen nicht verhindern und 70 % haben eine falsche methodische Arbeitsweise gewählt. Arbeitsunfälle verursachen – neben unermessli-

chem menschlichem Leid – enorme Kosten für das allgemeine Gesundheitssystem. Der Entwicklung einer umfassenden Sicherheitskultur über intensive Aus- und Weiterbildung und Information muss daher prioritär gesehen werden.

Ergonomie

Waldarbeit ist vor allem im Steilgelände eine große Herausforderung für die eingesetzten Arbeitskräfte. Physische und psychische Belastungen der besonderen Arbeitsumstände führen zu individuellen Beanspruchungen.

Bei Motorsägenführern sind Belastungen durch Abgase – diese können durch Alkylatkraftstoffe um 27,5% verringert werden (Haberl, 2020) – Lärm und Vibration sowie Arbeitsschwere und Körperhaltung maßgeblich. Während der Schlepperrückung ist vor allem das Ausziehen des Zugseiles eine sehr belastende Tätigkeit. Viren und Bakterien können der Auslöser von arbeitsbedingten Erkrankungen sein, was an Bedeutung zunimmt.

Beim Mastseilgerätemaschinisten sind die Bedingungen der Arbeitsbelastung stark vom Stand der Technik des Gerätes abhängig. Moderne Kabinen schützen sowohl vor Lärm als auch vor Vibration. Bei Seilgeräten können Funkchokersysteme die Arbeit deutlich erleichtern. Der Einsatz von Kunststoffseilen und von Abspanngurten aus Kunststoff kann insgesamt die Arbeitsbeanspruchung der involvierten Personen deutlich verringern.

Von zentraler Bedeutung für sicheres Arbeiten ist die Erhaltung der Konzentrationsfähigkeit während des Arbeitsprozesses. Je stärker die Belastungen insgesamt sind, desto eher ist die Konzentrationsfähigkeit beeinträchtigt. Einem qualifizierten Pausenmanagement kommt daher hohe Bedeutung zu. Kurze Erholungspausen zwischen den einzelnen Arbeitsphasen sichern raschere Erholung und verhindern die Überschreitung der Dauerleistungsgrenze.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG



Rettungskette Forst

Lehrrevier Ossiacher Tauern, ÖBF AG
Waldbauer

1 Notrufnummern	Notrufnummern	Bitte verständigen Sie...
	112 EURONOTRUF 144 Rettung	Johann Zöschner, Leiter 0664/ 82..... Dieter Seebacher, Sanitäter 0664/ 82.....
2 Möglichkeit Notruf abzusetzen	Handyempfang	<input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
3 Anfahrtsbeschreibung	Anfahrtsbeschreibung (Posten bei Waldbauernschranken oder Volksschule!)	
	Aus Richtung Villach (ca. 30 min)	Aus Richtung Feldkirchen (ca. 22 min)
4 Daten Hubschrauberlandeplatz	<input type="checkbox"/> Von der Ampelkreuzung Gratschach 9,1km – der Ossiacher Süduferstraße L49 folgend bis Ossiach. <input type="checkbox"/> Vor der Volksschule rechts abbiegen <input type="checkbox"/> Bei Kehre 5, Waldbauernkehre, geradeaus fahren, <input type="checkbox"/> an der nächsten Gabelung rechts halten. <input type="checkbox"/> Nach ca. 2.200m HLP Wildacker. Ca. 100 m nach Kehre Im Winter Kettenpflicht!	<input type="checkbox"/> Klagenfurter Straße stadtauswärts Richtung Süden. <input type="checkbox"/> Nach Hotel Nudelbacher rechts auf die Tauernstraße L47 abbiegen. <input type="checkbox"/> Bei Kehre 5, Waldbauernkehre, geradeaus fahren, <input type="checkbox"/> an der nächsten Gabelung rechts halten. <input type="checkbox"/> Nach ca. 2.200m HLP Wildacker. Ca. 100 m nach Kehre Im Winter Kettenpflicht!
	Anflugbeschreibung	
	Hubschrauberlandeplatz	
	Koordinaten 14 ,031355 (WGS 84) 46,680377 Seehöhe 930 Meter über Meer Geländemerkmale 100 m westlich Stromleitung	
Hubschrauber Einweisung	Landeplatz vorbereiten	
<input type="checkbox"/> Am Rand des Landeplatzes stehen! <input type="checkbox"/> Rücken zum Wind! <input type="checkbox"/> Beide Arme nach oben! <input type="checkbox"/> Handflächen nach innen! <input type="checkbox"/> Augenkontakt zum Piloten!	<input type="checkbox"/> Keine losen Gegenstände am Landeplatz! <input type="checkbox"/> Annäherung an den Hubschrauber nur von Vorne! <input type="checkbox"/> Annäherung an den Hubschrauber nur von der Talseite! <input type="checkbox"/> Lange Gegenstände waagrecht zum Hubschrauber tragen!	
4 Lebensrettende Sofortmaßnahmen	Erste Hilfe	
	Ist die Unfallstelle sicher?	Selbstschutz vor Fremdschutz!!
	Ist eine Bergung notwendig?	Wenn ja Wirbelsäule nicht verdrehen – Kopf in Neutralposition
	Bewusstseinkontrolle	Ansprache – wenn keine Reaktion Schmerzreiz wenn kein Bewusstsein – Atemkontrolle!
	Atemkontrolle	<input type="checkbox"/> 10 sec. Atmung hören sehen fühlen <input type="checkbox"/> wenn Atmung vorhanden – stabile Seitenlage und Notruf <input type="checkbox"/> wenn keine Atmung vorhanden – Notruf und Wiederbelebung
	Wiederbelebung	30:2 bis Rettung eintrifft oder Lebenszeichen erkennbar
	Wunden versorgen	Druckverband, Dreieckstuchverbände Einweghandschuhe verwenden! – Schutz vor Infektionen
	Stabile Seitenlage	Verletzten zudecken, laufende Kontrolle Lebensfunktionen

Ruhig bleiben! – Verletzten beruhigen!



Forstliche Ausbildungsstätte Ossiach des BFW
9570 Ossiach 21; Tel.: (+43) 04243/2245-0; Fax.: (+43) 04243/2245-55;
E-Mail: fastossiach@bfw.gv.at

www.fastossiach.at

www.bfw.gv.at

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Arbeitsauftrag und Evaluierung der Einsatzorte

Ein detaillierter Arbeitsauftrag beschreibt die umzusetzenden Maßnahmen im Detail, legt arbeitstechnische Vorgaben für eine sichere Fällung, Rückung und Aufarbeitung fest und definiert die marktkonforme Ausformung der zu fällenden Bäume. Genaue Erkenntnisse zu besonderen Gefährdungspotenzialen liefert die Evaluierung der Einsatzorte mit genauer Dokumentation. Arbeitsauftrag und Evaluierung des Einsatzortes liefern die Grundlage für die Unterweisung sämtlicher an der Maßnahmenumsetzung beteiligter Personen. Vor Beginn der Fällung sind die Gefahren am Nutzungsort genau zu erheben, zu evaluieren und zu dokumentieren (ASchG, 2009).

Gefährdungen im Schutzwald können sein:

- Extreme Seit-, Vor- und Rückhänger
- Abrollende Steine im felsigen Gelände
- Abrutschendes Holz im steilen Gelände
- Rutsch- und Absturzgefahr im steilen Gelände
- Fällung über Kuppen bzw. aus steilen Grabeneinhängen
- Stammfaule Bäume durch Steinschlag
- Dürräste (vor allem bei Laubholz)

Jeder Waldarbeiter muss vor Beginn der Arbeit von einer fachkundigen Person (Einsatzleiter) über die Gefahren unterwiesen werden (ASchG, 2009). Erst nach der Unterweisung darf man mit der Arbeit vor Ort beginnen. Eine störungsfreie Kommunikation innerhalb der Arbeitsgruppe ist Voraussetzung! Außerdem ist eine Aufsichtsperson zu benennen, die auf eine sichere Arbeitsausführung achtet. Zumeist übernimmt der Maschinist einer Seilanlage diese Funktion.

Rettungskette „Forst“

Vor Beginn der Arbeiten wird ein genauer Ablaufplan zur Aktivierung der Rettungskette erarbeitet. Im Notfall ist es dann möglich, schnell und ohne Verzögerung Hilfe zu organisieren.

Dabei werden geografische (Arbeitsort, Anfahrtsmöglichkeit, GPS-Koordinaten einer Landemöglichkeit für Hubschrauber) und organisatorische (Telefonnummern der Rettungskräfte, Telefonnummern wichtiger Kontaktpersonen) Daten gesammelt, dokumentiert und kommuniziert.

Besondere Rahmenbedingungen für die motormanuelle Waldarbeit

Besondere Geländedeformationen, speziell extremes Steilgelände, bringen enorme Herausforderungen für die Umsetzung von Verjüngungs-, Pflege- und Ernteeingriffen. Gerade in Schutzwaldbereichen ist schwieriges Gelände in Kombination mit zusätzlichen Gefahrenpotenzialen eher die Regel als die Ausnahme. Insgesamt ergeben sich daraus besondere Herausforderungen zur Organisation des Einsatzortes hinsichtlich der Arbeitssicherheit für die ausführenden Waldarbeiter sowie für potenzielle Waldbesucher.

Schlagordnung festlegen

Einer genauen Definition der Schlagordnung (Fällrichtung, Arbeitsfortschritt) sowie einer detaillierten Beschreibung etwaiger sonstiger begleitender Maßnahmen (Stockhöhe, Sicherungsmaßnahmen) kommt im Steilgelände und in sensiblen Waldbereichen hohe Priorität zu. Zur Gewährleistung dieser Anforderungen können bei teil- oder hochmechanisierter Waldarbeit eigene Fälltechniken zum Einsatz kommen.

Begleitende Maßnahmen

Neben der genauen Definition der Fällrichtung und des Arbeitsfortschrittes als grundlegende Planungsgrößen, können noch weitere begleitende Maßnahmen bei der Holzernte im Schutzwald notwendig sein. Klare Vorgaben und eindeutige Einsatzgrenzen erleichtern die schwere Arbeit.

Seilsicherung zu fällender Bäume

Prinzipiell zählen zum Gefahrenbereich bei Fällungen im Hangbereich 1,5 Baumlängen zur Hangoberseite und seitwärts des zu fällenden Baumes, sowie die gesamte hindernisfreie Zone in talseitig des zu fällenden Baumes.

Um ein Abgleiten des gefällten Baumes zu verhindern, kann bei der Fällung eine Seilsicherung eingebaut werden. Ein Ende des Stahlseiles wird unmittelbar oberhalb des geplanten Fällschnittes befestigt, das zweite Ende nach Möglichkeit an einem anderen Baum oder Stock. Der Ankerbaum ist ausreichend zu dimensionieren. Außerdem ist eine Schlappseilbremse einzubauen, um die Fallenergie dynamisch zu kompensieren.

Seilunterstützte Fällung

Eine sehr effiziente und vor allem sichere Fällmethode ist die seilunterstützte Fällung. Bei Rückhängern aller Art und bei dünnen/kranken Bäumen hat sich diese Variante als sehr praktikabel erwiesen.

Ein Zugseil wird in mindestens 5 bis 6 Metern Höhe mit Hilfe einer Teleskopstange mit aufgebautem Schub- bzw Zughaken befestigt. Dieses wird leicht vorgespannt. Nach dem Fallkerbschnitt wird der Fällschnitt als Stechschnitt aus-

geführt. Dabei wird eine Zagleiste belassen, die etwa 10 Prozent des Durchmessers betragen soll. Unterstützend werden Sicherungskeile gesetzt und leicht angetrieben.

Nach dem Warnruf – gemäß ECC (European Chainsaw Certificate) soll der Warnruf vor Beginn des Fällschnittes gemacht werden – wird die Zagleiste negativ, das heißt etwa 15-20 cm unterhalb des Fällschnittes, durchtrennt.

Der Waldarbeiter kann dann in einen sicheren Bereich treten und dem Windenführer das Kommando zum Umziehen des Baumes geben. Die senkrechten Holzfasern des Haltebandes werden durch das Umziehen gelöst und der Baum fällt sicher in die vorgegebene Richtung.

Fällung mit speziellen Fällhilfen

Fällung mit „Hubmandl“

Starke Rückhänger sollten in der Regel entweder mit einer hydraulischen Fällhilfe oder seilunterstützt gefällt werden. Alle Fälltechniken setzen Fachwissen und vor allem Erfahrung voraus.

Das Hubmandl hat sich speziell im steilen Gelände als besonders praktikabel erwiesen. Damit kann man bei starken Rückhängern, wo der Kronenschwerpunkt zwischen 2 und 5 Metern



SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

abweicht, den Baum noch sicher zu Fall bringen. Alles was darüber hinaus ist, muss seilunterstützt gefällt werden.

Hydraulische Fällheber dienen zur Fällung von Bäumen mit einem Stockdurchmesser von mind. 45 cm, die mit zusätzlicher Sicherung durch zwei Fällkeile in die gewünschte Richtung gekippt werden.

Mechanische und hydraulische Fällhilfen

Leichte und starke Rückhänger können mit Hilfe von mechanischen und hydraulischen Fällhilfen zu Fall gebracht werden.

Durch den Einsatz von speziellen Fällhilfen, wird nicht nur die Gefahr herabfallender Äste reduziert, es wird auch die anstrengende und gefährliche Keilarbeit vermieden.

Mechanische Fällkeile gibt es schon in vielen unterschiedlichen Varianten: Ratschen-Keil-System, Fällkeil mit Schlagschrauber sowie den Funk-Fällkeil.

Alle erwähnten Systeme haben den Vorteil, dass ein erschütterungsfreies „Umdrücken“ des Baumes erfolgt. Beim Funk-Fällkeil kann der Bediener die Funktion des Fällkeiles zusätzlich noch aus der Ferne steuern, und ist daher außerhalb des direkten Gefahrenbereiches unterhalb der Krone.

Größere Stockhöhen und Querschlägerungstechniken

Querschlägerungstechniken sind immer dann notwendig, wenn gefällte Bäume am Einsatzort verbleiben. Das kann mehrere Gründe haben:

- Mechanischer Abgleitschutz zur Verhinderung des Anbrechens von Lawinen
- Mechanische Barrieren zur Verhinderung von Steinschlag
- Holz kann nicht gerückt werden

Um die quergefallten Bäume vor dem Abrutschen zu sichern, werden üblicherweise größere Stockhöhen belassen, was dem liegenden Holz eine gute Verankerung gibt.

In besonderen Situationen kann das Sonderverfahren „ALPI“-Fälltechnik angewendet werden, bei dem durch das Belassen eines etwa drei Meter hohen stehenden Stammteiles (durch schräge Fällschnittführung) ein mechanischer Abgleitschutz gegeben ist.

Herausforderung Kalamitätsereignisse

Bei der Bearbeitung von Kalamitätsereignissen sind Qualifikation des involvierten Personals, Erfahrung sowie richtige methodische Arbeitsweise entscheidend. Spezielle Schneidetechniken (Zapfenschnitt, Bohlenschnitt oder V-Schnitt) in Kombination mit notwendigen Sicherungsmaßnahmen sind bei der Einsatzplanung zu berücksichtigen.

Qualifikation, Aus- und Weiterbildung

Grundlage für sicheres Arbeiten unter schwierigen Bedingungen ist die umfassende Kompetenz bei der korrekten Anwendung methodischer Waldarbeit. Methodisch richtige Waldarbeit fördert die Arbeitssicherheit, die Ergonomie und die Effizienz sowie die langfristige Arbeitsfähigkeit. Qualifizierte Aus- und Weiterbildung aller Akteure zur Umsetzung von Interventionen im Schutzwald ist deshalb alternativlos. In Analogie zur umzusetzenden Arbeit sind adäquate Aus- und Weiterbildungsangebote bedarfsorientiert wahrzunehmen.

Bei den anerkannten forstlichen Bildungsstätten Österreichs werden sämtliche notwendigen Kompetenzen, Fähigkeiten und Fertigkeiten in Kursen und Lehrgängen vermittelt.

Ausbildungslehrgänge

Ausbildungslehrgänge sind Bildungsinitiativen, welche mit dem Erwerb einer Berufsqualifikation enden.

Forstwirtschaftsmeister und Forstfacharbeiter

Forstwirtschaftsmeister und Forstfacharbeiter sind die wichtigsten ausführenden Akteure in der forstlichen Maßnahmenumsetzung. Durch lange Vorpraxiszeiten (3 bzw. 6-7 Jahre), ergänzende Kursbesuche zur Perfektionierung der Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie eine rigorose

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Forstliches Bildungssystem



Abschlussprüfung ist die Qualifikation für sämtliche forstliche Tätigkeiten eindeutig gegeben.

Lehrberuf Forsttechniker

Forsttechniker führen unter Zuhilfenahme der entsprechenden Geräte und Maschinen die Holzernte durch, wobei im Unterschied zum Forstfacharbeiter der Fokus auf Großmaschinen liegt. Dieser seit 2016 etablierte Lehrberuf ist mit einer Ausbildungsdauer von 3,5 Jahren versehen.

Weiterbildungsinitiativen

Eine laufende Weiterbildung von Fachkräften im Rahmen eines "Life-Long-Learning-Prozesses" ist in allen Berufssparten notwendig, speziell bei der sich rasch weiterentwickelnden Waldarbeit und Forsttechnik. Diesem Bedarf wird an den anerkannten forstlichen Bildungsstätten Österreichs Rechnung getragen.

Zertifikatslehrgänge

Das Bundesministerium regelt über die Genehmigung von Zertifikatslehrgängen die österreichweit einheitliche Umsetzung von Veranstaltungen. Die normierten Inhalte sind von umsetzenden Bildungsträgern einzuhalten. Die Zertifikatslehrgänge werden mit einer theoretischen und praktischen Prüfung abgeschlossen. Folgende forstlich relevante und thematisch zur Studie passende Zertifikatslehrgänge sind momentan geregelt:

- Zertifikatslehrgang zum zertifizierten Motorsägenführer (Zertifizierter Motorsägenlehrgang)
- Zertifikatslehrgang für forstliche Seilbrunnungsanlagen
- Zertifikatslehrgang „Baumsteigeausbildung“
- Zertifikatslehrgang Holzausformung und Holzverkauf
- Zertifikatslehrgang „Qualifikation für forstliche Praxistrainer“

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Sonstige Weiterbildungen

In den laufenden Weiterbildungsveranstaltungen der forstlichen Ausbildungsstätten wird wiederkehrend Kompetenz- und Know-how-Transfer angeboten. Die Bildungsprogramme der Ausbildungsstätten bilden eine Vielfalt an Möglichkeiten zur Weiterbildung an.

Siehe auch:

www.fastossiach.at
www.fasttraunkirchen.at
www.fastpichl.at
www.rotholz.at
www.lfs-hohenlehen.ac.at

Forschungsbedarf

Der Forschungsbedarf orientiert sich nach der Notwendigkeit zur Entwicklung eines waldbaulich-forsttechnischen Optimalverfahrens zur Verjüngung und zur Behandlung der Gebirgswälder. Die zu entwickelnden Verfahren sollen eine kleinflächige Verjüngung von Gebirgswäldern in Steillagen bei möglichst umfassender Aufrechterhaltung der Schutzwirkung und gleichzeitig geringen Erntekosten gewährleisten.

Innovationen im Verfahren

Die Entwicklung neuer und Weiterentwicklung bestehender Arbeitsverfahren mit Seiltechnik bei kleinflächigen Nutzungen beziehungsweise Einzelstammnutzungen mit geringem Holzanfall in der Schutzwaldpflege (Ergonomie, Ökologie und Wirtschaftlichkeit) erfordert auch innovative Planungsmethoden. Durch Einsatz von PLS (Personengetragenen Laserscannern) könnte die Planung dahingehend verbessert werden, dass die Planung der Seillinie selbst (Stützensauerteilung, Stützenshöhe), die Abfolge der Seillinien und die Größe des Eingriffes waldbaulich/forsttechnisch optimiert wird. Auch könnten dadurch erstmals Daten der Holzstämmen für eine bessere Steuerung des Holzflusses vom Wald zum Werk bereitgestellt werden.

Ergonomie und Arbeitssicherheit

Eine Entwicklung neuer und Weiterentwicklung vorhandener Querfälltechniken bei Schutzwaldbehandlungen im Hinblick auf Ergonomie und Wirtschaftlichkeit erscheint notwendig. Der Einsatz moderner Sensoriksysteme zur Personenerkennung im forstlichen Sperrgebiet (Gefahrenbereich) von Holzerntemaßnahmen, bei gleichzeitiger Warnung des Waldarbeiters, kann dabei die Sicherheit deutlich erhöhen. Untersuchungen zur Belastungs- und Beanspruchungsreduktion bei der Holzernte in Steillagen bei gleichzeitiger Steigerung der Arbeitssicherheit müssen im Interesse des Arbeitnehmerschutzes prioritäre Beachtung finden.

Technologische Innovationen

Die Entwicklung neuer bzw. Weiterentwicklung bestehender Seiltechnologien für kostengünstigere Verfahren bei geringem Holzanfall (Ergonomie, Ökologie und Wirtschaftlichkeit), wobei Effizienzsteigerungen durch Überarbeitung der Dimensionierungsmethoden bei der Seilplanung (Anker und Stützen) aber auch die Seildurchhangsberechnungen neu analysiert werden sollen, erscheint wichtig. Der Einsatz neuer Technologien bei der Seilrückung (z.B. rekuperierende Laufwagen, Hybridtechnologien) mit gleichzeitiger fortschreitender Automatisierung der einzelnen Prozesse bei der Seilrückung, müssen unter dem Gesichtspunkt der CO₂-Reduktion und Energieeffizienz bei der Holzernte bearbeitet werden.

Abschließende Bemerkungen und Empfehlungen

Gerade bei der Umsetzung von Maßnahmen im Schutzwald braucht es hochqualifiziertes Personal. Gefährliche Tätigkeiten sind hier in oft steilem oder unwegsamem Gelände auszuführen. In Abhängigkeit der geplanten Maßnahmen ist Personal mit der nötigen Qualifikation einzu-

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

setzen, praktische Erfahrung bei der Bearbeitung sensibler Waldbereiche ist jedenfalls förderlich.

Zur optimierten Erhaltung der Waldfunktionen von Schutzwäldern sind Nutzungs- und Fällungsmaßnahmen mit möglicher Bestandesschonung kleinflächig oder einzelstammweise umzusetzen. Die technische Ausstattung ist den Maßnahmen angepasst zu wählen.

Die geplanten Maßnahmen sind in konkreten Arbeitsaufträgen zu kommunizieren und die Unterweisung des eingesetzten Personals zu dokumentieren. Arbeitssicherheit hat in allen Phasen der Ausführung von Maßnahmen Priorität.

Zur Bearbeitung von Kalamitätsereignissen bedarf es besonderer Fähigkeiten und Fertigkeiten des eingesetzten Personals, um Unfällen vorzubeugen.

Forschungsinitiativen zur Weiterentwicklung von Arbeitsverfahren, zur Förderung von Arbeitssicherheit und Ergonomie sowie zur Förderung von technischen Innovationen sind zu implementieren.

Literatur

ASchG (2009): ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – Überarbeitete Ausgabe 2009 mit Anmerkungen, Verweisen und Stichwortverzeichnis. Sicherheit Kompakt M 030, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA). Wien. 216 S.

AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt) (2011): Betriebsordnung - Forstliche Seilbringungsanlagen. Graz. 20 S.

AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt) (2015): Betriebsordnung – Holzrückung im Bodenzug mit Forstschlepper und Forstraktoren. 14 S.

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus: Wald schützt uns! 2. Auflage, Wien. 45 S.

Brawenz, C.; Kind, M.; Wieser, S. (2015): Kommentierte Ausgabe mit Judikatur in Leitsätzen. Manz'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung. Wien 2015. ISBN 978-3-214-03446-7. 898 S.

FHP (Kooperationsplattform Forst - Holz - Papier) (2013): Holzernte im Seilgelände - Planung. 5. Auflage, Wien. 134 S.

FHP (Kooperationsplattform Forst - Holz - Papier) (2015): Harvester und Forwarder in der Holzernte - Planung, Organisation, Methodische Arbeit. 3. Auflage, Wien. 165 S.

FHP (Kooperationsplattform Forst - Holz - Papier) (2017): Holzernte im Schleppergelände – Arbeitsgestaltung und Planung. 4. Auflage, Wien. 157 S.

FHP (Kooperationsplattform Forst - Holz - Papier) (2019): Holzernte im Seilgelände - Organisation. 12. Auflage, Wien. 140 S.

Haberl, A. (2020): Verjüngung von Gebirgswäldern mit schlitzartigen Eingriffen – Evaluierung der Holznutzung mit Mastseilgeräten. Dissertation. Institut für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien. 100 S.

Heinimann, H.R. (2003): Holzerntetechnik zur Sicherstellung einer minimalen Schutzwaldpflege. Professur Forstliches Ingenieurwesen, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. 14 S.

Hittenbeck, J. (2009): Die Entwicklung eines Grenzneigungsmodells für selbstfahrende Arbeitsmaschinen in der Forstwirtschaft. Dissertation. Cuvillier Verlag Göttingen. 234 S.

Langmasius, D.; Stäbler, S.; Beck, S. (2018): Wald und Wasser – in Maßen notwendig, in Massen ein Problem? Wasserwirtschaft 11/2018: 71-74.

Schildkecht, S.; Vanoni, M.; Leisinger S. (2019): Schutzwaldpflege - Für effizienten Schutz vor Naturgefahren. Amt für Wald und Naturgefahren (www.wald-naturgefahren.gr.ch). 30 S.

Stampfer, K. (2020): Forstliches Ingenieurwesen – Walder-schließung. Vorlesungsunterlagen, Universität für Bodenkultur Wien.

Stampfer, K. (2021): Forstliches Ingenieurwesen – Holzernte. Vorlesungsunterlagen, Universität für Bodenkultur Wien.

Stampfer, K.; Limbeck-Lilienau, B.; Kanzian, Ch.; Viertler, K. (2003): Baumverfahren im Seilgelände – Verfahrensbeispiele – Wanderfalke mit Prozessor Woody 50 und Syncrofalke mit Prozessor Wolf 50 B. FPP Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier (Hrsg.), Wien. 26 S.

Vorraber, M. (2018): Böschungssicherung im Forststraßenbau. Holzkrainerwand - Bewehrte Erde Steinschichtung – Erdox. Bachelorarbeit. Institut für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien. 21 S.

Schutztechnik zur Unterstützung der Schutzwirkung des Waldes

Jan-Thomas Fischer, Christian Scheidl, Peter Höller, Frank Perzl und Michael Brauner

Waldökosysteme unterliegen natürlichen und anthropogenen Störungen sowie einer nicht aufzuhaltenden natürlichen Sukzession weshalb vor allem in Bergwäldern oftmals technische Maßnahmen zur Unterstützung der Schutzwirkung erforderlich sind, welche als Mischung aus forstlichen und technischen Maßnahmen ganzheitliche, integrale Schutzlösungen bieten. Meistens dienen solche Maßnahmen in erster Linie dazu die Verjüngung zu fördern und zu erhalten, bis eine gewünschte Bestandesstruktur und damit im besten Fall eine maximale Schutzwirkung erreicht wird. Zu solchen begleitenden technischen Maßnahmen zählen Gleitschneeblocke oder Bermen sowie Triebsschneezäune, Querfällungen oder Hochabstockungen. Nach-

folgend wird der Stand des Wissens bezüglich der Schutzwirkung des Waldes gegen Lawinen, Steinschlag und Wildbachprozessen dargelegt.

Lawinenschutzwald (Technischer Lawinenschutz im Wald)

Mögliche Maßnahmen des technischen Lawinenschutzes sind umfangreich dokumentiert (z.B.: Rudolf-Miklau & Sauermoser, 2011). Diese Maßnahmen sind auch grundsätzlich für Waldflächen gültig, wenn aufgrund von Störungen die Schutzwirkung der lebenden Bestockung verlorenen



Abbildung 1: Technischer Lawinen- und Steinschlagschutz im Wald.

gegangen oder fraglich ist. Auf Waldflächen kann das stehende und liegende Schadholz für einen bestimmten Zeitraum die Schutzwirkung vor Lawinenanbrüchen übernehmen, und ist damit eine kostengünstige und biologische Alternative zu bautechnischen Maßnahmen (Frey & Thee, 2002; Noack et al., 2004). Die Wiederbewaldung der entstandenen Kahlflächen und Räumden ist anzustreben, und bei der Planung der (technischen) Maßnahmen zu berücksichtigen. Auf den Flächen vorhandenes Totholz wirkt bei ausreichender Höhe und Dichte wie Stützverbauungen, kann jedoch auch zu einer Gefährdung von Menschen und Sachwerten sowie zu einer Massenvermehrung und Verbreitung von Forstschädlingen führen. Bei der Planung von Maßnahmen ist daher zu berücksichtigen, inwieweit das Totholz geräumt werden muss, oder belassen werden kann. Auf gefährdenden (zu räumenden) oder nicht schutzwirksamen Flächen oder Teilflächen mit Objektschutzfunktion muss die Schutzwirkung mit Schutzbauten wiederhergestellt werden. Als Entscheidungshilfe für die Vorgangsweise wurde in der Schweiz ein Waldschaden-Handbuch herausgegeben, und zweimal nach einer Reihe von Forschungsarbeiten auf der Grundlage mehrjähriger Beobachtung von Sturmschadensflächen überarbeitet. Diese jetzt als Sturmschaden-Handbuch bezeichnete Entscheidungshilfe (BAFU, 2008) strukturiert den Entscheidungsvorgang. Inwieweit dieses Handbuch auch in Österreich in der Praxis verwendet wird, und ob überhaupt ein entsprechender Bedarf für eine technische Richtlinie besteht, ist unbekannt. Trotz der umfangreichen Forschungsarbeit zu dem Thema in der Schweiz unterstützt das Sturmschaden-Handbuch den Entscheidungsprozess nur zum Teil. Das Handbuch geht von einem Konzept des schutzwirksamen (ungestörten) Waldes nach der als NaiS (Frehner et al., 2005) bezeichneten Richtlinie aus, das die Schutzwirkung des Waldes bei bestimmten Standorts- und Bestandesverhältnissen überschätzen könnte (Perzl & Kleemayr, 2020). Durch die qualitative Bewertung und Gewichtung der Entscheidungskriterien liefert das Sturmschaden-Handbuch kein eindeutiges Ergebnis, welche Handlungsoption optimal ist,

und ob und mit welchen technischen Maßnahmen eingegriffen werden muss. Vor allem bei sehr unregelmäßig verteiltem Totholz ist die Auswahl und Bemessung eines geeigneten Maßnahmenmix nach wie vor schwierig, und wird daher im Zweifel zu Gunsten technischer Schutzbauten fallen. Dazu ist auch eine Abschätzung der Entwicklungsdynamik der Verjüngung erforderlich, was mit dem Handbuch nicht möglich ist, und mit erheblichen Unsicherheiten verbunden ist. Es ist auch nicht eindeutig geklärt, aber welcher Dichte und ab welchem Stadium Jungwuchs die Lawinenschutzwirkung (Schutz vor Lawinenauslösung) in Relation zum Zerfallsstadium des Totholzes voll übernehmen kann.

Schneedruck und Schneegleiten im Schutzwald

Schneedruck als Folge der kriechenden und gleitenden Schneedecke betrifft naturgemäß auch schmale Hindernisse. Die Einflussweite derartiger Hindernisse (wie etwa Bäume) ist deutlich größer verglichen mit dem Durchmesser des Objektes; zudem treten zusätzliche Randkräfte auf. Das Verhältnis der tatsächlichen Kraft zu der auf eine unendlich lange Stützfläche wirkenden Kraft lässt sich unter Einbeziehung eines Effizienzfaktors berücksichtigen (Margreth, 2007). Berechnungen zeigen, dass selbst auf Flächen mit einer zu erwartenden hohen Gleitintensität (Gleitfaktor 3,2) und einer relativ großen Schneedichte (400 kg/m^3) der – durch die kriechende und gleitende Schneedecke – resultierende Schneedruck nicht jenes Ausmaß erreicht, um erwachsene Bäume (Stammdurchmesser $\geq 0,3 \text{ m}$) zu brechen. Anders sieht die Situation bei jungen Bäumen aus; dazu wurden bereits von Salm (1977) entsprechende Untersuchungen angestellt. Höller et al. (2009) haben gezeigt, dass die für das Ausreißen junger Bäume (Stammdurchmesser $0,025 \text{ m}$ bis $0,05 \text{ m}$) notwendigen Kräfte zwischen 1000 N und 3500 N liegen. Diese Kräfte können bei einer Schneedichte von 400 kg/m^3 , einer glatten Bodenoberfläche (Gleitfaktor 3,2) und bei Schneehöhen von unter 1 m erreicht werden

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

(Höller et al., 2009). Die größten Auswirkungen erfuhren Bäume mit einer Höhe von 1 m (4,5 cm Stammdurchmesser, was etwa einem Alter von 20 bis 25 Jahren entspricht). Zudem wurde festgestellt, dass die resultierenden Kräfte eher zu herausgezogenen Pflanzen als zu gebrochenen Bäumchen führen; die Vermutung liegt also nahe, dass Stämme in diesem Alter deutlich elastischer sind, was sie vom Brechen schützt.

Schneegleitbewegungen im Wald stellen grundsätzlich eine zu vernachlässigende Größe dar; bei entsprechender Stammzahl sind infolge der Rauigkeit derart geringe Gleitraten zu erwarten, dass Gleitschneelawinen ausgeschlossen werden können (Höller, 2017). Allerdings gilt dies nur für geschlossene Bestände; in offenen und mit Blößen durchzogenen Wäldern sowie in Laubwäldern trifft dies natürlich nicht zu. So hat Zenke (1984) insbesondere in Lücken von gering beschirmten Buchenwäldern Gleitrisse festgestellt. Prädestiniert für Schneegleitbewegungen sind auch Lärchenwälder mit glatter Bodenoberfläche (Lärchenwiesenwälder). Wie Höller (2001) in einem diesbezüglichen Gebiet gezeigt hat, nehmen die Gleitbewegungen umso mehr zu, je mehr der Beschirmungsgrad abnimmt. Und bereits in relativ kleinen Lücken (8 x 8 m) ist das Schneegleiten deutlich größer ist als im angrenzenden Wald (Höller, 2001), eine Situation die Gleitschneelawinen begünstigt.

Untersuchungen über die erforderliche Zahl an Stämmen/ha, um die Gleitgeschwindigkeit auf einem unkritischen Niveau zu halten, hat Höller (2014) angestellt. Er betont, dass unter durchschnittlichen Bedingungen 300 bis 350 Stämme/ha ausreichen, damit das Gleiten 1,5 mm d⁻¹ nicht überschreitet, ein Wert, der für Jungpflanzen keine Gefährdung darstellt, werden ja nach Gand (1968) nur solche Gleitgeschwindigkeiten als kritisch (kritisch in dem Sinne, dass Aufforstungen geschädigt werden können) angesehen, die zur Bildung von Gleitschneerissen und Gleitschneerutschen führen können. Die dazu unter verschiedenen Bedingungen erforderliche Stammzahl ist nicht eindeutig geklärt. Bei geringeren Stammzahlen (zwischen 200 – 250 Stämme/ha) sind Gleitraten im Bereich von 1,5 – 7,5 mm d⁻¹

zu erwarten (was noch tolerierbar ist, an exponierten Stellen aber Gleitschneeschutz notwendig machen kann). Noch geringere Stammzahlen würden die Gleitraten weiter ansteigen lassen (Bereich 7,5 – 30 mm d⁻¹); Gleitbewegungen dieser Größenordnung wären jedenfalls durch Rauigkeitserhöhende Maßnahmen zu begrenzen. Wie Höller (2014) weiter ausführt, gelten die Stammzahlempfehlungen für Standorte mit sehr glatter Bodenoberfläche; es liegt auf der Hand, dass eine rauere Bodenoberfläche (geringere Gleitraten) auch Einfluss auf die erforderlichen Stammzahlen hätte.

Ausdrücklich sei jedoch erwähnt, dass sich die hier genannten Stammzahlen darauf beziehen die Gleitgeschwindigkeit auf einem unkritischen Niveau zu halten. In Bezug auf den Schutz vor Lawinenauslösungen generell werden in der Literatur je nach Hangneigung, Baumartenzusammensetzung und Stammdurchmesser auch größere oder kleinere Stammzahlen empfohlen.

Feistl et al. (2013) und Feistl et al. (2014) haben im Rahmen ihrer Untersuchungen über Gleitschneelawinen dem Thema Rauigkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Sie verwendeten dazu das Modell von Bartelt et al. (2012), mit dem die dynamische Kraft der sich bewegenden Schneedecke in den Stauchwall erfasst werden kann. Dabei zeigte sich, dass je höher die Hangneigung ist, desto höher die Reibung sein muss, um ein Versagen des Stauchwalls zu verhindern. Bei einer Längsausdehnung der zu berücksichtigenden Schneetafel von 40 m (Länge der Lücke) und einer Neigung von 35°, wäre dazu eine Reibung von 0,4 erforderlich (was gestuftem oder felsigem Terrain bzw. Zwergsträuchern wie Vaccinien oder Rhododendren entspricht). Bei Neigungen ab 45° müsste die Reibung bereits 0,7 betragen, um das Gleiten zu verhindern (eine Reibung von 0,7 würde etwa verholzten Sträuchern oder Stümpfen aus Totholz entsprechen). Die Autoren kommen zum Schluss, dass in einschlägigen Bewirtschaftungsrichtlinien, in welchen Angaben über die maximale Größe von Bestandeslücken enthalten sind, um Gleitschneelawinenauslösungen zu verhindern, die Rolle der Oberflächenrauigkeit vernachlässigt

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

und deshalb die Gefahr auf glatten Hängen unterschätzt wird.

Zu den zukünftigen Aufgaben gehört jedenfalls, das Bewusstsein für Schneegleitbewegungen im Wald zu schärfen. So fehlen entsprechende Modelle, die die Bildung von Gleitschneelawinen in Bestandeslücken beschreiben. Entsprechende Erkenntnisse auf diesem Gebiet würden es erlauben Schutzmaßnahmen zu optimieren. Wie Feistl et al. (2013) darlegen, besteht Forschungsbedarf hinsichtlich Quantifizierung der Auslösegröße von Lawinen und der Oberflächeneigenschaften. Insbesondere braucht es die Bestimmung von Reibungswerten nicht nur für technische Maßnahmen, sondern auch für Geländestufen und natürliche Hindernisse wie junge Bäume, Totholz oder Strauchwerk. Da in den einschlägigen Richtlinien nur statische Reibungsbeiwerte verwendet, zeitabhängige Prozesse wie Temperaturänderungen aber nicht berücksichtigt werden, sollte ebenso untersucht werden, wie das Ausmaß von Schmelzwasserzonen die erlaubte Länge von Lücken beeinflusst (Feistl et al., 2013). Das würde es Forstpraktikern ermöglichen Bestandeslücken entsprechend den verschiedenen Gefahrenszenarios zu behandeln. Jede Methode, welche den Stauchwall-Bereich abstützen kann, wie etwa die Verdichtung der Vegetationsdecke am unteren Rand von Lücken wäre eine kostengünstige Strategie zu Verhinderung von Waldlawinen (Feistl et al., 2013). Aus technischer Sicht zeigen Gleitschneeböcke oder –brücken aus Holz sowie leichte Netze höchste Wirtschaftlichkeit. Nicht bewährt haben sich Pfähle, da sie von der Schneedecke umflossen werden und die Rauigkeit nur gering erhöhen bzw. wegen der zu geringen Einschlagtiefe oftmals kippen.

Lawinensimulation und Wald

Wälder tragen auf verschiedene Weise zum Schutz vor Lawinen bei (Brožová et al., 2020). Einerseits beeinflusst der Wald den Aufbau der Schneedecke und behindert durch Interzeption, Mikroklima und erhöhte Bodenrauigkeit die Entstehung von Lawinen (Bebi et al., 2009;

Schneebeli & Bebi, 2004; Teich et al., 2012). Andererseits hat Wald die Fähigkeit, Lawinen in Ihrer Bewegung durch erhöhte Reibung oder Massenverlust zu verlangsamen und zu stoppen (Thomas Feistl et al., 2014; Teich et al., 2014). Die Wirkung des Waldes auf Lawinenbewegung ist allerdings auf kleine bis mittelgroße Lawinen (entsprechend Lawinengröße 1-2; EAWS (2018)) begrenzt und großflächige, sich schnell bewegende Lawinen (Lawinengröße 3-5; EAWS (2018)) zerstören den Wald (Feistl et al., 2015; Takeuchi et al., 2011). Die Simulation von gravitativen Massenbewegungen hat bezüglich Waldes zwei Hauptanwendungen:

- Die Identifikation von Schutzwald, sowie
- eine Quantifizierung seiner Wirkung.

Auf lokaler Ebene (räumliche Skala: einer oder mehrere Lawinenpfade) werden hierfür meist prozessbasierte (physikalisch-dynamische) Modellansätze und deren Simulationswerkzeuge verwendet (z.B.: Christen et al., 2010; Sampl & Zwinger, 2004). Um räumliche Unterschiede in den Waldstrukturen zu berücksichtigen wird z.B.: explizit Massenverlust (Detrainment, siehe Feistl et al., 2014) oder erhöhte Reibung angenommen, wobei eine Abschätzung der erforderlichen Eingabeparameter für die Anwendung dieser Modelle nur über Umwege möglich, aber unerlässlich ist (Fischer et al., 2015; Teich et al., 2014). Insbesondere bei der Modellierung von lawinengefährdeten Gebieten auf regionaler Ebene (räumliche Skala: Talschaften bis Regionen) können die Abschätzung der benötigten Eingabeparameter sowie Überlegungen hinsichtlich der benötigten Rechenzeit die Anwendung von anspruchsvollen, prozessbasierten Modellen erschweren.

In den letzten Jahren wurden eine Reihe einfacher datenbasierter (empirischer) Modelle mit begrenzten Anforderungen an die Eingabeparameter entwickelt und auf regional skalierte Fallstudien zu verschiedenen gravitativen Massenbewegungsprozessen angewendet. Eine Gruppe dieser Ansätze bilden random-walk-basierte Modelle, die bereits auf verschiedene Massenbewegungsprozesse angewendet wurden (Gamma,



Analoger Steinschlagsimulator für die Bewußtseinsbildung in Schulen

2000; Mergili et al., 2015). Eine andere Gruppe von Modellen bilden eine Kombination aus daten- und prozessbasierten Ansätzen (Scheidl & Rickenmann, 2010), welche meist für Murgangmodellierung entwickelt wurden, allerdings auch auf andere Prozesse wie Schneelawinen (Barbolini et al., 2011; Horton et al., 2013) anwendbar sind. Auf Basis dieser Ansätze ist es darüber hinaus möglich nicht nur gefährdete Gebiete auszuscheiden, sondern in einem weiteren Schritt Flächen mit Schutzfunktion auszuweisen, sowie die Wirkung dieser zu untersuchen (Huber et al., 2016).

Offene Fragen bzgl. Lawinensimulation & Wald betreffen u.a. wie die vielseitige Schutzwirkung des Waldes mit solchen Werkzeugen erfasst werden kann und das bestehende Defizit an Waldlawinendaten gelöst werden kann. Vor allem im Kontext des Klimawandels ist es eine Herausforderung die sich ändernde Schutzwirkung des Waldes zu beurteilen – und im Sinne des Naturgefahrenprozesses „Lawine“ gilt es für die unterschiedlichen Bewegungsformen (z.B. Fließ und Staub) explizit auf die Interaktion Prozess-Waldstruktur einzugehen.

Steinschlagschutzwälder

Das Auftreten von Steinschlagereignissen wird hauptsächlich durch die Hangneigung, die Geologie, der Verwitterung und dem lokalen Klima geprägt. Die jeweiligen Reichweiten werden über die Energiedissipation eines oder mehrerer Partikel bestimmt. Da Energiedissipation hauptsächlich durch Kollisionen erfolgt, bei denen Deformationsarbeit an der Bodenoberfläche und/oder den Vegetationsstrukturen (einschließlich der Zerstörung von Bäumen) die vorhandene kinetische Energie reduziert, stellen Steinschlagschutzwälder eine wichtige Schutzmaßnahme dar. Sowohl in der Transit- als auch in der Ablagerungszone ist somit ein schützendes Wald wirksam, um Geschwindigkeiten und damit die Aufprallhöhen bzw. Reichweiten von fallendem Gestein zu reduzieren (Corona et al., 2017; Dorren et al., 2007; Wang & Lee, 2010).

Eine der ersten systematischen Studien zur Wirkung von Wäldern auf Steinschlag stammt von Jahn (1988). Er ließ Steine entlang bewaldeter und unbewaldeter Hänge abwärts bewegen und fand heraus, dass in bewaldeten

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG



Abbildung 2: Wuchsbeeinträchtigung aufgrund Steinschlags.

Bereichen 3- bis 10-mal mehr Steine abgelagert wurden als in unbewaldeten Bereichen - wobei etwa 60 % der Steine durch Baumkontakte zum Stillstand kamen. Basierend auf ähnlichen Steinschlagexperimente im realen Maßstab, bestätigten Dorren et al. (2005) die Schutzwirkung von Wäldern gegen Steinschlag. Sie fanden heraus, dass die verbleibende Steinschlaggefahr, ausgedrückt als die Anzahl der Steine, die eine bestimmte Zone überschreiten, an einem bewaldeten Standort um 63 % verringert wurde. Sie stellten weiters fest, dass die Anzahl der Aufschläge auf einen Baum wichtiger ist als die durch den Aufschlag erzeugte dissipierte Energie. Daraus folgerten sie, dass eine hohe Bestandsdichte in Wäldern wichtiger ist als das

meisten Fällen die höchste Risikominderung darstellten. Darüber hinaus scheinen Waldbestände, die von schattentoleranten Baumarten wie Buche (*Fagus sylvatica*), Tanne (*Abies alba*) und Fichte (*Picea abies*) dominiert werden, ein besseres Schutzpotenzial zu haben als Bestände, die von lichtbedürftigen Arten wie Eiche (*Quercus sp.*), Kiefer (*Pinus sp.*) oder Lärche (*Larix decidua*) dominiert werden. Ihre Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass Wälder mit einer hohen Stammdichte und einer hohen Grundfläche den größten Einfluss auf den Schutz vor Steinschlag hatten. Moos et al. (2017) quantifizierten die Auswirkung von Wäldern auf die Häufigkeit und Intensität von Steinschlag in einem Ansatz auf lokaler Ebene

Vorhandensein von Stämmen mit großem Durchmesser. Scheidl et al. (2020) fanden heraus, dass Wälder bei einer Erhöhung der Stammzahl um 100 Stämme pro Hektar die maximal möglichen Reichweiten von Steinschlagereignissen im Durchschnitt um 7 % reduzieren. Dupire et al. (2016) analysierten typische Waldstrukturen und -zusammensetzungen in Frankreich hinsichtlich ihrer Schutzwirkung. Basierend auf mehrfachen Steinschlagsimulationen fanden sie heraus, dass von Buche (*Fagus sylvatica*) und Eiche (*Quercus sp.*) dominierte Niederwälder die beste Reduzierung der Steinschlaggefahr aufwiesen. Stattdessen hatten die Nadelholzbestände aus Kiefer (*Pinus sp.*) und Lärche (*Larix decidua*) den geringsten Einfluss auf die Minimierung des Steinschlagrisikos. Es wurde ein abnehmender Gradient der Schutzwirkung von laubbaumdominierten Waldtypen zu nadelholzdominierten Waldtypen festgestellt, während Mischbestände in den

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

und wendeten mehrere Steinschlagsimulationen für verschiedene Wald- und Nicht-Wald-Szenarien unter unterschiedlichen Waldbeständen und Geländebedingungen an. Sie fanden heraus, dass die Steinschlaghäufigkeit zwischen etwa 10 und 90 % und die Steinschlagintensität zwischen 10 und 70 % im Vergleich zu nicht bewaldeten Bedingungen reduziert werden kann. Die Reduzierung des Steinschlagrisikos nimmt mit geringerer Stammzahl, Baumdurchmesser und zunehmendem Felsvolumen ab, hängt aber auch von der horizontalen Waldstruktur ab. Wehrli et al. (2006) simulierten langfristige Auswirkungen der Walddynamik auf die Schutzwirkung gegen Steinschlag, indem sie das Waldflächenmodell ForClim (Bugmann, 1996) mit dem Steinschlagmodell RockFor.NET (Berger & Dorren, 2006) kombinierten. Sie fanden heraus, dass die Schlüsselparameter für einen effektiven Schutz eine hohe anfängliche Bestandsdichte und niedrige Mortalitätsraten sind. In ähnlicher Weise kombinierten Woltjer et al. (2008) ein 3D-Steinschlagmodul in den patchbasierten Waldsimulator PICUS (Lexer & Hönninger, 2001; Seidl et al., 2005) ein. Basierend auf diesem Ansatz analysierten Rammer et al. (2015) die Auswirkungen von vier Bewirtschaftungsszenarien auf Steinschlagschutz und Holzproduktion in einem 38 Hektar großen Wald über 100 Jahre. Insgesamt fanden sie heraus, dass 30 – 70 % der simulierten Felsen, abhängig von der Felsgröße und den Waldeigenschaften, vom Wald aufgehalten wurden, wobei der geringste Effekt durch eine „Business as usual“-Bewirtschaftung des Schutzwaldes und der höchste Effekt durch Waldbewirtschaftungsszenarien mit schlitzförmigen Lücken verursacht wurde.

Neben dem Bestandaufbau spielt, besonders für häufige Ereignisse kleinerer Steinfraktionen, Totholz eine nicht zu unterschätzende rückhaltende Wirkung. Gleichzeitig können größere Totholzstrukturen, im Unterschied zu Lawinen, Schuttakkumulation auch größerer Komponenten bilden, was zu Gefahrenmomenten bei Versagen der Totholzstrukturen durch Remobilisierung der Gesteinskomponenten führen kann. Aus diesen Gründen werden oft kleinere, verteilte Totholzstrukturen angestrebt.

Für Steinschlagschutzwälder stellt sich somit die Herausforderung, dauerhafte Bestände mit wirksamer Stabilität im Starkholz bei stammzahlreichem Jungholz und vitaler Verjüngung zu erhalten. Eine auf die Erhaltung einer mehrschichtigen Struktur ausgelegte Bewirtschaftung stellt hier eine Möglichkeit dar. Ein weiteres speziell in den mittleren bis tieferen Lagen in den Vordergrund tretendes Problem ist die stabilisierende Behandlung überalterter Schutzwaldbestände mit stark vorwüchsigen Individuen oder mit durch biotischen oder abiotischen Stress ausfallende Baumarten.

Schutzwald und Wildbachprozesse

Wildbachprozesse sind neben einem raschen und heftigen Anstieg des Abflussverhaltens in der Lage eine beträchtliche Menge an Sedimenten zu verlagern. Für solche hydrogeomorphologischen Prozesse sind daher Wiederkehrwahrscheinlichkeit sowie Ausmaß im Wesentlichen eine Funktion von Abfluss und Erosion – und somit direkt mit Schutzwirkung der Vegetation gekoppelt - insbesondere in bewaldeten Landschaften.

Jahrzehntelange Forschung hat gezeigt, dass Waldbedeckung den jährlichen Abfluss reduziert, weil sie die Niederschläge besser abfängt und die Transpiration in Trockenperioden erhöht (Andréassian, 2004; Bosch & Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 2004; Calder, 1990; Cornish, 1993; Fahey & Jackson, 1997; Rowe & Pearce, 1994; Stednick, 1996). Es wird auch angenommen, dass die Evapotranspiration durch Wälder Überschwemmungen reduziert, indem sie einen Teil der Sturmniederschläge entfernt und höhere Bodenfeuchtigkeitsdefizite im Vergleich zu Gebieten ohne Wälder zulässt (Markart, 2000). Da Interzeption und Transpiration jedoch begrenzt sind, hat die Waldbedeckung eine abnehmende Wirkung auf Hochwasserspitzen bei extremen Niederschlagsereignissen und in kleinen Einzugsgebieten. Bathurst et al. (2011) zeigten,

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG



Abbildung 3: Typisches Wildbacheinzugsgebiet.

dass die Auswirkungen von Wäldern bei kleinen Stürmen am stärksten zu erwarten sind und mit zunehmender Niederschlagsmenge immer weniger wirksam werden. Ähnliche Ergebnisse wurden im pazifischen Nordwesten Nordamerikas mit Einzugsgebietskaten von etwa 1 km² präsentiert (Beschta et al., 2000; Moore & Wondzell, 2005). López-Moreno et al. (2006) stellten fest, dass Waldbedeckung bei häufigeren, weniger intensiven Regenfällen wirksam sein kann und die Häufigkeit und Intensität von moderateren Überschwemmungen spürbar reduziert. Jüngste Abflussereignisse in Österreich (Hübl et al., 2010, 2011, 2013) bestätigen jedoch die Annahme, dass auch bei weniger intensiven Regenereignissen die Gefahr für Menschenleben und die Schäden an Infrastruktur und Siedlungen hoch sein können - vor allem durch eine Zunahme von Gebäuden, die den Naturgefahren ausgesetzt sind (Fuchs et al., 2015).

Neben ihrer hydrologischen Wirkung haben Bäume auch eine effiziente Schutzfunktion beim Erosionsschutz. Keppeler & Brown (1998) sowie Rickli (2001) berichten von einem engen Zusammenhang zwischen Waldzustand und Hangaktivität. Neuere Erosionsmodelle, die den Einfluss

der Vegetation auf die Hang-stabilität berücksichtigen, beinhalten eine Modifikation des Bodenfeuchtigkeits-regimes durch Evapotranspirationsprozesse und den Einfluss der Wurzelkohäsion auf den (Anagnostopoulos et al., 2015; Burton & Bathurst, 1998; Cuo et al., 2008). Die Waldvegetation wirkt sich jedoch weiter auf die Stabilität von Hängen aus, (i) indem sie als Stützpfähle oder Bogenpfeiler in einem Hang fungiert; (ii) durch das Gewicht der Vegetation und (iii) durch entwurzelte Bäume (Carrick et al., 2019; Gray & Megahan, 1981; Greenway, 1987).

Literatur

Anagnostopoulos, G. G., Fatichi, S. & Burlando, P. (2015). An advanced process-based distributed model for the investigation of rainfall-induced landslides: The effect of process representation and boundary conditions. *Water Resources Research*, 51 (9), 7501–7523. doi:10.1002/2015WR016909

Andréassian, V. (2004). Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, 291 (1), 1–27. doi:10.1016/j.jhydrol.2003.12.015

BAFU. (2008). *Sturmschaden-Handbuch. Vollzugshilfe für die Bewältigung von Sturmschadenereignissen von nationaler Bedeutung im Wald. (Umwelt-Vollzug). Bundesamt für Umwelt, Bern. Zugriff am 8.7.2021. Verfügbar unter:*

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wald-und-holz/wald-und-holz--publikationen/publikationen-wald---holz/sturmschaden-handbuch.html>

Barbolini, M., Pagliardi, M., Ferro, F. & Corradeghini, P. (2011). Avalanche hazard mapping over large undocumented areas. *Natural Hazards*, 56 (2), 451–464. doi:10.1007/s11069-009-9434-8

Bartelt, P., Pielmeier, C., Margreth, S., Harvey, S. & Stucki, T. (2012). The Underestimated Role of the Stauchwall in Full-Depth Avalanche Release. *Proceedings, 2012 International Snow Science Workshop, Anchorage, Alaska*, 127–133.

Bathurst, J. C., Iroumé, A., Cisneros, F., Fallas, J., Iturraspe, R., Novillo, M. G. et al. (2011). Forest impact on floods due to extreme rainfall and snowmelt in four Latin American environments 1: Field data analysis. *Journal of Hydrology*, 400 (3), 281–291. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.11.044

Bebi, P., Kulakowski, D. & Rixen, C. (2009). Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management (*Disturbances in Mountain Forests: Implications for Management*). *Forest Ecology and Management*, 257 (9), 1883–1892. doi:10.1016/j.foreco.2009.01.050

Berger, F. & Dorren, L. (2006). Rockfor.NET: A New Efficient Tool for Quantifying the Residual Rockfall Hazard of a Forested Slope. In H. Marui, T. Marutani, N. Watanabe, H. Kawabe, Y. Gonda, M. Kimura et al. (Hrsg.), *Interpraevent 2006: Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides*. (Band 1, S. 229–235). Niigata, Japan: Universal Academy Press, Inc. Tokyo, Japan.

Beschta, R. L., Pyles, M. R., Skaugset, A. E. & Surfleet, C. G. (2000). Peakflow responses to forest practices in the western cascades of Oregon, USA. *Journal of Hydrology*, 233 (1), 102–120. doi:10.1016/S0022-1694(00)00231-6

Bosch, J. M. & Hewlett, J. D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55 (1), 3–23. doi:10.1016/0022-1694(82)90117-2

Brožová, N., Fischer, J.-T., Bühler, Y., Bartelt, P. & Bebi, P. (2020). Determining forest parameters for avalanche simulation using remote sensing data. *Cold Regions Science and Technology*, 172, 102976. doi:10.1016/j.coldregions.2019.102976

Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104 (1), 185–228. doi:10.1016/j.agee.2004.01.015

Bugmann, H. K. M. (1996). A Simplified Forest Model to Study Species Composition Along Climate Gradients. *Ecology*, 77 (7), 2055–2074. doi:10.2307/2265700

Burton, A. & Bathurst, J. C. (1998). Physically based modeling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale. *Environmental Geology*, 35 (2), 89–99. doi:10.1007/s002540050296

Calder, I. R. (1990). *Evaporation in the uplands*. John Wiley & Sons Inc.

Carrick, J., Abdul Rahim, M. S. A. B., Adjei, C., Ashraa Kalee, H. H. H., Banks, S. J., Bolam, F. C. et al. (2019). Is planting trees the solution to reducing flood risks? *Journal of Flood Risk Management*, 12 (S2). doi:10.1111/jfr3.12484

Christen, M., Kowalski, J. & Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 63 (1), 1–14. doi:10.1016/j.coldregions.2010.04.005

Cornish, P. M. (1993). The effects of logging and forest regeneration on water yields in a moist eucalypt forest in New South Wales, Australia. *Journal of Hydrology*, 150 (2), 301–322. doi:10.1016/0022-1694(93)90114-O

Corona, C., Lopez-Saez, J., Favillier, A., Mainieri, R., Eckert, N., Trappmann, D. et al. (2017). Modeling rockfall frequency and bounce height from three-dimensional simulation process models and growth disturbances in submontane broadleaved trees. *Geomorphology*, 281, 66–77. doi:10.1016/j.geomorph.2016.12.019

Cuo, L., Lettenmaier, D. P., Mattheussen, B. V., Storck, P. & Wiley, M. (2008). Hydrologic prediction for urban watersheds with the Distributed Hydrology–Soil–Vegetation Model. *Hydrological Processes*, 22 (21), 4205–4213. doi:10.1002/hyp.7023

Dorren, L., Berger, F., Jonsson, M., Krautblatter, M., Molk, M., Stoffel, M. et al. (2007). State of the art in rockfall – forest interactions. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158 (6), 128–141. doi:10.3188/szf.2007.0128

Dorren, L. K. A., Berger, F., le Hir, C., Mermin, E. & Tardif, P. (2005). Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *Forest Ecology and Management*, 215 (1), 183–195. doi:10.1016/j.foreco.2005.05.012

Dupire, S., Bourrier, F., Monnet, J.-M., Bigot, S., Borgniet, L., Berger, F. et al. (2016). The protective effect of forests against rockfalls across the French Alps: Influence of forest diversity. *Forest Ecology and Management*, 382, 269–279. doi:10.1016/j.foreco.2016.10.020

EAWS. (2018). *Avalanche Sizes*. EAWS. Zugriff am 8.7.2021. Verfügbar unter: <https://onedrive.live.com/view.aspx?cid=c807c4b4b34b642f&page=view&resid=C807C4B4B34B642F1894&parId=C807C4B4B34B642F1891&authkey=!AEQVffe2L5vBt-M&app=Excel>

Fahey, B. & Jackson, R. (1997). Research on Forest Environmental Influences in a Changing World Hydrological impacts of converting native forests and grasslands to pine plantations, South Island, New Zealand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84 (1), 69–82. doi:10.1016/S0168-1923(96)02376-3

Feistl, T., Bebi, P. & Bartelt, P. (2013). The role of slope angle, ground roughness and stauchwall strength in the formation of glide-snow avalanches in forest gaps. *International snow science workshop proceedings 2013*, 760–765.

Feistl, T., Bebi, P., Christen, M., Margreth, S., Diefenbach, L. & Bartelt, P. (2015). Forest damage and snow avalanche flow regime. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15 (6), 1275–1288. Copernicus GmbH. doi:10.5194/nhess-15-1275-2015

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

- Feistl, T., Bebi, P., Dreier, L., Hanewinkel, M. & Bartelt, P. (2014). Quantification of basal friction for technical and silvicultural glide-snow avalanche mitigation measures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14 (11), 2921–2931. Copernicus GmbH. doi:10.5194/nhess-14-2921-2014
- Feistl, Thomas, Bebi, P., Teich, M., Bühler, Y., Christen, M., Thuro, K. et al. (2014). Observations and modeling of the braking effect of forests on small and medium avalanches. *Journal of Glaciology*, 60 (219), 124–138. doi:10.3189/2014JoG13J055
- Fischer, A., Seiser, B., Stocker Waldhuber, M., Mitterer, C. & Abermann, J. (2015). Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria. *The Cryosphere*, 9 (2), 753–766. doi:10.5194/tc-9-753-2015
- Frehner, M., Wasser, B. & Schwitter, R. (2005). Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. (S. 564). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Zugriff am 30.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wald-und-holz/wald-und-holz--publikationen/publikationen-wald---holz/nachhaltigkeit-und-erfolgskontrolle-im-schutzwald.html>
- Frey, W. & Thee, P. (2002). Avalanche protection of wind-throw areas: a ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. *Forest Snow and Landscape Research*, 89–107.
- Fuchs, S., Keiler, M. & Zischg, A. (2015). A spatiotemporal multi-hazard exposure assessment based on property data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15 (9), 2127–2142. doi:10.5194/nhess-15-2127-2015
- Gamma, P. (2000). dfwalk - Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung (Geographica Bernensia) (Band G66). Geographisches Institut der Universität Bern.
- Gand, H. I. D. (1968). Neue Erkenntnisse über das Schneegleiten. Verlags-AG der akademischen technischen Vereine. doi:10.5169/SEALS-70099
- Gray, D. H. & Megahan, W. F. (1981). Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith (Research Paper). U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Zugriff am 8.8.2016. Verfügbar unter: <http://archive.org/details/forestvegetation271gray>
- Greenway, D. R. (1987). Vegetation and slope stability. In M.G. Anderson & K.S. Richards (Hrsg.), *Slope stability : geotechnical engineering and geomorphology* (S. 187–230).
- Höllner, P. (2001). Snow gliding and avalanches in a south-facing larch stand. In A.J. Dolman, A. j. Hall, M.L. Kavvas, T. Oki & J.W. Pomeroy (Hrsg.), *Soil-vegetation-atmosphere transfer schemes and large-scale hydrological models. Proceedings of an international symposium, held during the Sixth IAHS Scientific Assembly, Maastricht, Netherlands, 18-27 July 2001* (S. 355–358). IAHS.
- Höllner, P. (2014). Snow gliding on a south-facing slope covered with larch trees. *Annals of Forest Science*, 71 (1), 81–89. doi:10.1007/s13595-013-0333-5
- Höllner, P. (2017). Die Bedeutung des Waldes beim Schutz vor Lawinen (Wildbach- und Lawinenverbau). Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs.
- Höllner, P., Fromm, R. & Leitinger, G. (2009). Snow forces on forest plants due to creep and glide. *Forest Ecology and Management*, 257 (2), 546–552. doi:10.1016/j.foreco.2008.09.035
- Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B. & Zimmermann, M. (2013). Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13 (4), 869–885. doi:10.5194/nhess-13-869-2013
- Huber, A., Fischer, J.-T., Kofler, A. & Kleemayr, K. (2016). Using spatially distributed statistical models for avalanche runout estimation. *Proceedings, International Snow Science Workshop (ISSW) (S. 6)*. Breckenridge, Colorado.
- Hübl, J., Chiari, M., Scheidl, C. & Wiesinger, T. (2011). Die Wildbachereignisse des Sommers 2010 in Österreich. In G. Blöschl & R. Merz (Hrsg.), *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (Band 30, S. 43–49)*.
- Hübl, J., Eisl, J., Scheidl, C., Chiari, M., Wiesinger, T., Heiser, M. et al. (2013). Ereignisdokumentation 2013. Forschungsbericht No. 155. (S. 132). Wien, Österreich: Institut für Alpine Naturgefahren.
- Hübl, J., Totschnig, R., Sitter, F., Schneider, A. & Krawtschuk, A. (2010). IAN Report 111 Historische Ereignisse, Band 4 Zusammenstellung und Analyse dokumentierter Ereignisse in Österreich bis 2009. Forschungsbericht No. 111. (S. 107). Wien, Österreich: Institut für Alpine Naturgefahren.
- Jahn, J. (1988). Deforestation and rockfall. *Interpraevent 1988, Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren und Lawinen (Band 1, S. 185–198)*. Gehalten auf der Interpraevent, Graz, Österreich.
- Keppeler, E. T. & Brown, D. (1998). Subsurface drainage processes and management impacts (General Technical Report) (Band PSW-GTR-168-Web). United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Lexer, M. J. & Hönninger, K. (2001). A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. *Forest Ecology and Management*, 144 (1), 43–65. doi:10.1016/S0378-1127(00)00386-8
- López-Moreno, J. I., Beguería, S. & García-Ruiz, J. M. (2006). Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change? *Hydrological Sciences Journal*, 51 (6), 1039–1050. doi:10.1623/hysj.51.6.1039
- Margreth, S. (2007). Snow pressure on cableway masts: Analysis of damages and design approach (A Selection of papers presented at the International Snow Science Workshop, Jackson Hole, Wyoming, September 19-24, 2004). *Cold Regions Science and Technology*, 47 (1), 4–15. doi:10.1016/j.coldregions.2006.08.020

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

- Markart, G. (2000). Zum Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain. Bericht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 117. University of Natural Resources and Life Sciences.
- Mergili, M., Krenn, J. & Chu, H.-J. (2015). r.randomwalk v1, a multi-functional conceptual tool for mass movement routing. *Geoscientific Model Development*, 8 (12), 4027–4043. Copernicus GmbH. doi:10.5194/gmd-8-4027-2015
- Moore, D. R. & Wondzell, S. M. (2005). Physical hydrology and the effects of forest harvesting in the Pacific Northwest: a review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41 (4), 763–784. doi:10.1111/j.1752-1688.2005.tb03770.x
- Moos, C., Dorren, L. & Stoffel, M. (2017). Quantifying the effect of forests on frequency and intensity of rockfalls. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17 (2), 291–304. Copernicus GmbH. doi:10.5194/nhess-17-291-2017
- Noack, A., Schönenberger, W. & Thee, P. (2004). Schützen Windwurfflächen vor Lawinen und Steinschlag? *Wald und Holz*, 43–46.
- Perzl, F. & Kleemayr, K. (2020). Assessment of forest protection effects and function for natural hazard processes (V 3). *GreenRisk4ALPs No. D.T.1.3.2.* doi:10.13140/RG.2.2.29415.68001
- Rammer, W., Brauner, M., Ruprecht, H. & Lexer, M. J. (2015). Evaluating the effects of forest management on rockfall protection and timber production at slope scale. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30 (8), 719–731. Taylor & Francis. doi:10.1080/02827581.2015.1046911
- Rickli, C. (2001). Vegetationswirkungen und Rutschungen: Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- Rowe, L. K. & Pearce, A. J. (1994). Hydrology and related changes after harvesting native forest catchments and establishing *pinus radiata* plantations. Part 2. The native forest water balance and changes in streamflow after harvesting. *Hydrological Processes*, 8 (4), 281–297. doi:10.1002/hyp.3360080402
- Rudolf-Miklau, F. & Sauermoser, S. (Hrsg.). (2011). *Handbuch technischer Lawinenschutz* (1. Auflage.). Berlin, Germany: Ernst & Sohn.
- Salm, B. (1977). Snow Forces. *Journal of Glaciology*, 19 (81), 67–100. Cambridge University Press. doi:10.3189/S0022143000029221
- Sampl, P. & Zwinger, T. (2004). Avalanche simulation with SAMOS. *Annals of Glaciology*, 38, 393–398. Cambridge University Press. doi:10.3189/172756404781814780
- Scheidl, C., Heiser, M., Vospernik, S., Lauss, E., Perzl, F., Kofler, A. et al. (2020). Assessing the protective role of alpine forests against rockfall at regional scale. *European Journal of Forest Research*. doi:10.1007/s10342-020-01299-z
- Scheidl, C. & Rickenmann, D. (2010). Empirical prediction of debris-flow mobility and deposition on fans. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35 (2), 157–173. doi:10.1002/esp.1897
- Schneebeili, M. & Bebi, P. (2004). Snow and avalanche control. In J. Burley, J. Evans & J. Youngquist (Hrsg.), *Encyclopedia of Forest Sciences* (S. 397–402). Elsevier Academic Press.
- Seidl, R., Lexer, M. J., Jäger, D. & Hönninger, K. (2005). Evaluating the accuracy and generality of a hybrid patch model. *Tree Physiology*, 25 (7), 939–951. Oxford Academic. doi:10.1093/treephys/25.7.939
- Stednick, J. D. (1996). Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of Hydrology*, 176 (1), 79–95. doi:10.1016/0022-1694(95)02780-7
- Takeuchi, Y., Torita, H., Nishimura, K. & Hirashima, H. (2011). Study of a large-scale dry slab avalanche and the extent of damage to a cedar forest in the Makunosawa valley, Myoko, Japan. *Annals of Glaciology*, 52 (58), 119–128. Cambridge University Press. doi:10.3189/172756411797252059
- Teich, M., Bartelt, P., Grêt-Regamey, A. & Bebi, P. (2012). Snow Avalanches in Forested Terrain: Influence of Forest Parameters, Topography, and Avalanche Characteristics on Runout Distance. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44 (4), 509–519. doi:10.1657/1938-4246-44.4.509
- Teich, M., Fischer, J.-T., Feistl, T., Bebi, P., Christen, M. & Grêt-Regamey, A. (2014). Computational snow avalanche simulation in forested terrain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14 (8), 2233–2248. Copernicus GmbH. doi:10.5194/nhess-14-2233-2014
- Wang, I.-T. & Lee, C.-Y. (2010). Influence of Slope Shape and Surface Roughness on the Moving Paths of a Single Rockfall. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 4 (5), 122–128. doi:10.5281/zenodo.1059437
- Wehrli, A., Dorren, L. K. A., Berger, F., Zingg, A., Schönenberger, W. & Brang, P. (2006). Modelling long-term effects of forest dynamics on the protective effect against rockfall. *Forest Snow and Landscape Research*, 57–76.
- Woltjer, M., Rammer, W., Brauner, M., Seidl, R., Mohren, G. M. J. & Lexer, M. J. (2008). Coupling a 3D patch model and a rockfall module to assess rockfall protection in mountain forests. *Journal of Environmental Management*, 87 (3), 373–388. doi:10.1016/j.jenvman.2007.01.031
- Zenke, B. (1984). Lawinenstriche im Bergwald. (S. 15).

Windschutzanlagen

Thomas Weninger, Peter Strauss, Christian Steiner, Kerstin Michel und Erwin Szlezak

Einführung

Windschutzanlagen (WSA) sind im österreichischen Forstgesetz folgendermaßen definiert: „Unter Windschutzanlagen sind Streifen oder Reihen von Bäumen oder Sträuchern zu verstehen, die vorwiegend dem Schutz vor Windschäden, insbesondere für landwirtschaftliche Grundstücke, sowie der Schneebindung dienen.“ (§ 2. (3) Forstgesetz 1975 i.d.g.F.). Sie sind grundsätzlich Schutzwald und „so zu behandeln, dass dadurch deren Schutzfunktion nicht beeinträchtigt wird. Fällungen in Windschutzanlagen bedürfen der behördlichen Auszeige“ (§ 25 (5) Forstgesetz 1975). Die Landesgesetzgebungen sind ermächtigt, die Nutzung von WSA, deren Behandlung im Einzelnen und das Verfahren zu deren Auffassung näher zu regeln. Dies ist momentan nur in den Forstausführungsgesetzen von Niederösterreich und dem Burgenland im-

plementiert. Die WSA sind also Wald inmitten von landwirtschaftlichen Flächen, was für die Bewirtschaftung eine wesentliche Rolle spielt.

Stand des Wissens

Schutzgüter und Schutzwirkung von Windschutzanlagen

Im Vergleich zu geschlossenen Waldbeständen entfalten WSA ihre Schutzwirkung in mehreren Dimensionen. Zum einen erfüllen sie klassische Standortschutzfunktion, der besondere Bedeutung zukommt, da die Standorte in den allermeisten Fällen in der unteren Kampfzone des Waldes liegen. Darüber hinaus ist der definitionsgemäße Schutz vor Windschäden auf die an-

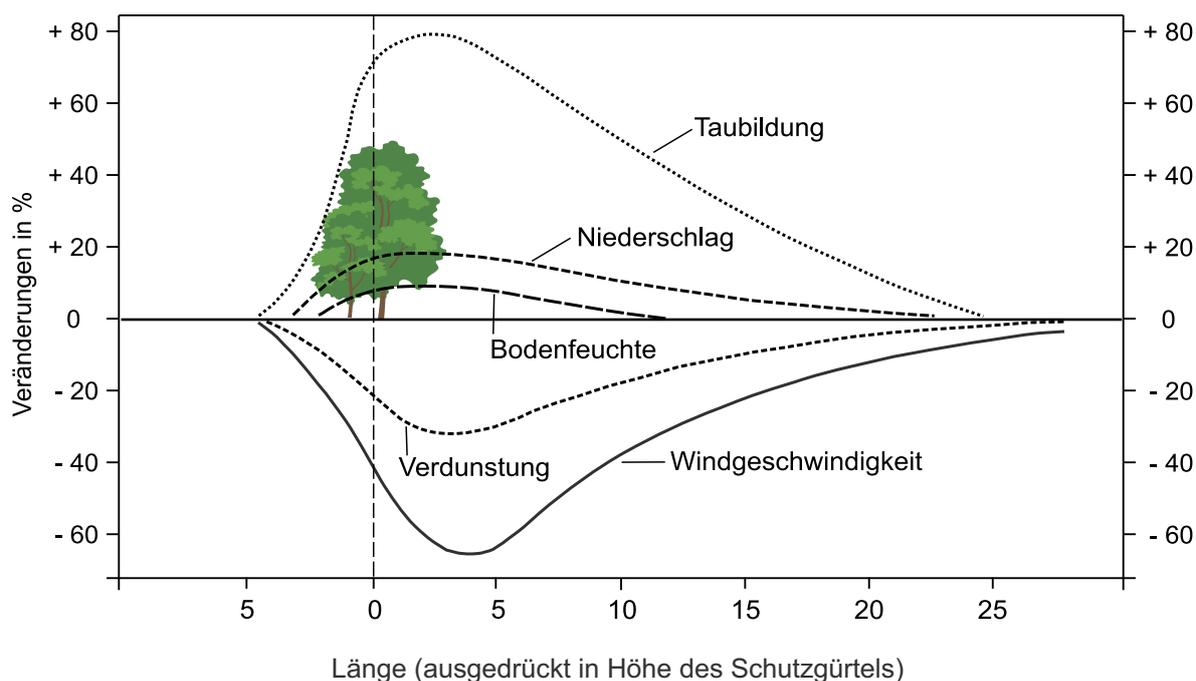


Abbildung 1: Mikroklimatische Effekte von Windschutzanlagen in deren Umgebung (verändert nach Lf, 2005).

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

grenzenden landwirtschaftlichen Flächen bezogen, wirkt somit über die Grundfläche der WSA hinaus. Die Wirkung von WSA beruht dabei sowohl auf der Verringerung der bodennahen Windgeschwindigkeit als auch auf einer direkten Beeinflussung der Bodenfeuchte im Umfeld, da feuchter Boden weniger erosionsanfällig ist (Abbildung 1; Gerersdorfer et al., 2011). In Folge wird auch das pflanzenverfügbare Bodenwasser im Jahresverlauf als Schutzgut angesehen (Merot, 1999). Ähnliches gilt für die Biodiversität, die durch die Einbindung der WSA als Korridore in ein Biotopverbundsystem günstig beeinflusst wird. Die WSA sind ökologisch besonders wertvoll, da sie im Vergleich zur Fläche einen sehr hohen Anteil von Randlinienstrukturen oder Ökotonen aufweisen. Nährstoffkreisläufe in der Agrarlandschaft werden vor allem durch die Bindung von Kohlenstoff (durch Biomasse und Humusaufbau) und Stickstoff (längerfristige Bindung durch Erhöhung des C:N-Verhältnisses) durch Windschutzanlagen positiv stimuliert (Ableidinger et al., 2020; Weninger et al., 2020).

Bisherige Studien zeigen, dass für eine Beurteilung der Wirkungen von WSA eine integrale Betrachtung verschiedener räumlicher Skalenniveaus wichtig ist. Diese reicht von einer punktförmigen (Bodenprofil) oder linienhaften (einzelne Grenzfläche) Betrachtung über eine kleinflächige (Feld) bis hin zur regionalen Betrachtung (Landschaft). Die Dichte von WSA in der betrachteten Region ist hier entscheidend und die größte Windschutzwirkung wird erzielt, wenn es gelingt, die Winddynamik durch ausreichende WSA und ähnliche Strukturelemente von der Bodenoberfläche abzuheben (LfL, 2005). Bei Anordnung im freien Feld können die Dimensionen der Bodendeposition in der WSA bzw. des Bodenabtrags in den angrenzenden Ackerflächen beträchtliche Ausmaße annehmen (Abbildung 2). Für die technische Wirksamkeit der einzelnen WSA sind Charakteristika wie Geometrie, Vitalität, Stabilität sowie Standortangepasstheit ausschlaggebend. Die Artenzusammensetzung ist höchst relevant, da die laufenden Veränderungen der klimatischen Be-



Abbildung 2: Ausmaß langjähriger Bodenabtrags durch Winderosion bzw. der Schutzwirkung von WSA. Standort: West-Slowakei

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG



Abbildung 3: Beispielhafte Windschutzanlage im Marchfeld, hoher Anteil an kümmernden oder abgestorbenen Individuen

dingungen vor allem im sommerwarmen Osten (also dem Kerngebiet der Windschutzthematik) den Fortbestand von vieljährigem holzigen Bewuchs vor große Herausforderungen stellen (Eitzinger et al., 2009; Allen et al., 2010; Olesen et al., 2011).

Erhalt und Ausbau der Schutzwirkung

In der waldbaulichen Forschung ist die Frage nach zukünftigen Möglichkeiten für eine funktionierende Forstwirtschaft in der unteren Kampfzone des Waldes und vor dem Hintergrund der Klimaveränderungen durchaus präsent (Bolte et al., 2009). Die klimatische Entwicklung bedingt, dass es noch schwieriger werden wird, längerfristig vitale und funktionelle WSA anzulegen und aufzubringen. Die Erhaltung von bestehenden WSA ist also von höchster Priorität, da für Neuanpflanzungen hoher Pflegebedarf und hohes Ausfallrisiko besteht. Die Pflege von WSA zur Sicherung von langfristiger Vitalität wird in Österreich von den Erhaltungsverpflichteten (Gemeinden, Erhaltungsgemeinschaften, Private) kaum praktiziert, in einzelnen Bundesländern wird dafür jedoch Unterstützung angeboten (z.B. NÖ Agrarbezirksbehörde). Der derzeitige Stand des Wissens über optimale Pflegezustände und effiziente Pflegemaßnahmen beruht daher meistens auf Experteneinschätzungen,

über die Anforderungen an optimal wirksame WSA wurde noch nicht umfassend geforscht (Ableidinger et al., 2020).

Neben dem Einfluss klimatischer Veränderungen spielen auch sozio-ökonomische und politische Rahmenbedingungen eine wesentliche Rolle, vor allem in der Installation neuer und Instandhaltung bzw. Erweiterung bestehender WSA. Durch die Installation von neuen WSA erfährt der Bewirtschafter gewisse Bewirtschaftungseinschränkungen, vor allem der Verlust an Flexibilität in der Bewirtschaftung durch den nach Forstgesetz eintretenden Schutzwaldstatus wird oft als Hemmnis genannt. Diese Nachteile werden durch Förderungen und andere positive Effekte von WSA nur teilweise kompensiert. Vereinzelt Versuche, diese Situation zu verbessern, z.B. über die Förderung von Kurzumtriebsflächen, die ähnliche Wirkungen haben können, erzielten bisher keine großen Erfolge (Deim, Groiss und Liebhard, 2008). Die gedankliche Trennung von Land- und Forstwirtschaft scheint in Österreich besonders stark zu sein und dürfte hier als Hürde wirken. In vielen Nachbarländern gibt es mittlerweile intensive Bemühungen und Fördermaßnahmen für Agroförstsysteme, die diese beiden Wirtschaftszweige verknüpfen und hohe Schutz-, aber auch Ertragsleistungen versprechen (www.agforward.eu; Kay, Jäger und Herzog, 2019). Die dahingehende Entwicklung

befindet sich in Österreich erst am Anfang (siehe Modell der Mehrnutzungshecke www.unserboden.at und www.arge-agroforst.at).

Internationale Forschungsarbeiten zielen immer mehr auf eine gesamtheitliche Betrachtung von Landschaften und vor allem Landschaftselementen wie WSA und deren vielfältigen Wirkungen ab (Meyer, Wolf und Grabaum, 2012; Song, Robinson und Bardsley, 2020). Es zeigt sich in den meisten Fällen, dass der Nutzen durch erhöhte Bodenfruchtbarkeit, Bestäubungsleistung, reduzierte Verdunstung, etc. in hochwertigen Ökosystemen den kurzfristigen monetären Nachteil aufwiegen kann (Alam et al., 2014; Kay et al., 2019). Eine wesentliche Herausforderung für das schutzwirksame Management dieser Schutzwaldform liegt neben der naturwissenschaftlichen Komponente auch im Schaffen von Bewusstsein und von politischen Rahmenbedingungen (Hernández-Morcillo et al., 2018).

Wissensdefizite und Forschungsthemen

Zukünftige Forschungs- und Innovationstätigkeit muss über die technische Ebene hinaus ganzheitliche Ansätze zugrunde legen, die vor allem die sozio-ökonomische Komponente mit einbeziehen. In die Entscheidung, ob eine WSA bestehen bleiben kann oder neu angelegt wird, fließen Faktoren wie Ökonomie, gesellschaftliche Akzeptanz bzw. Druck, gesetzliche Einschränkungen und Ähnliches ein. Die genauen Grundlagen der Entscheidungen sind jedoch nicht bekannt und sollten in interdisziplinären Forschungsarbeiten beleuchtet werden. Technisch basierte Forschung kann die höchste Wirksamkeit erzielen, wenn die regionale oder überregionale Ebene behandelt wird, vor allem zur Ausweisung von Gebieten mit geringer Ausstattung an WSA. Das waldbauliche Wissen ist hier der Umsetzung bereits deutlich voraus.

Konkrete wissenschaftliche Initiativen sollen in folgende Richtungen gesetzt werden:

- **Erfassung des IST-Zustands von Windschutzanlagen in Österreich, WSA-Kataster**

Trotz der Wichtigkeit von WSA in ihrer multifunktionalen Schutzwirkung gibt es zurzeit keine einheitliche und umfassende Datenquelle, die Aufschluss über den mengenmäßigen und qualitativen Umfang und Zustand von WSA in Österreich liefert. Die rasante Entwicklung neuer Fernerkundungsmethoden eröffnet mittlerweile die Möglichkeit, eine Einrichtung eines WSA-Katasters konkret ins Auge zu fassen. Grundlagen dafür wären z.B. im Waldentwicklungsplan (WEP) oder Bodenschutz-Datenbank (nur regional verfügbar, z.B. NÖ) gegeben.

Enthaltene und aufbauende **Forschungsthemen** dazu sind:

- » Methodenentwicklung und Validierung zur automatisierten Ausweisung des WSA-Kataster
- » Ausweisung von Regionen mit hohem Zusatzbedarf an Strukturelementen
- » regionale Analysen durch Verschneidung des WSA-Katasters mit zunehmend verfügbaren räumlichen Daten, z.B. Bodenfeuchte, Erosionsgefährdung, Wassergüte, etc.

- **Analyse des Entscheidungsverhaltens für/gegen WSA-Bewirtschaftung und Aufbereitung der in die Entscheidung einbezogenen Kriterien.**

- **Best-practice Beispiele für angewandte interdisziplinäre Forschung und Wissenschaftskommunikation**

Ein Netzwerk aus wissenschaftlich begleiteten Praxisbeispielen (best-practice) kann auf anschauliche Weise die mittel- und langfristigen Effekte verschiedener Techniken in der Bewirtschaftung von WSA aufzeigen. Dies gilt sowohl auf regionaler als auch auf Betriebsebene. Demonstrationsbetriebe oder -regionen können durch Förderung von wissensbildenden Maßnahmen forciert werden (Lighthouse-Farms, KLAR-Regionen o.ä.). Zudem ist die Schaffung politischer Rahmenbedingungen und Kommunikation zur Überwindung der „Gedankenschanke“ Agrar-Forst erforderlich.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Schlussfolgerungen

Obwohl WSA seit langer Zeit bekannte und etablierte Bestandteile der Landschaft und des Waldreichtums Österreichs sind, sind quantitative Informationen über deren Schutzwirksamkeit, den Zustand des Netzes aus WSA in quantitativer und qualitativer Form und deren Akzeptanz unzureichend vorhanden. In Gegenwart der ausgedehnten und identitätsstiftenden Gebirgswälder ist die öffentliche Wahrnehmung zu WSA gering. Aufgrund des hohen Ausmaßes an Funktionalität im Vergleich zum geringen Flächenbedarf und der überwiegenden Verantwortung für die agrarische Versorgungssicherheit höchst relevanten sommerwarmen Osten Österreichs darf jedoch bei zukünftigen Förder- und Forschungsinitiativen nicht auf diese Form des Schutzwalds vergessen werden.

Literatur

Ableidinger, C., Erhart, E., Sandler, K., Kromp, B., Hartl, W. (2020). Klimaschutz durch Bodenschutzanlagen. Endbericht Klimagrün (Interreg ACZ142). Eigenverlag Bio Forschung Austria, Wien. Abrufbar unter: <http://www.unserboden.at/1142-0-15-16092021.htm?&goback=174>

Alam, M., Olivier, A., Paquette, A., Dupras, J., Revéret, J.-P., Messier, C. (2014). A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agroforestry Systems* 88, 679-691.

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., ... Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259 (4), 660-684.

Bolte, A., Ammer, C., Löf, M., Madsen, P., Nabuurs, G.-J., Schall, P., Spathelf, P., Rock, J. (2009). Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24 (6), 473-482.

Deim, F.S., Groiss, R.-E., Liebhard, P. (2008). Rechtliche Grundlagen zur Holzproduktion im Kurzumtrieb in Österreich (Stand Juni 2008). *Ländlicher Raum. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*.

Eitzinger, J., Kersebaum, K. C., Formayer, H. (2009): Landwirtschaft im Klimawandel -Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Agrimedia, D-29459 Clenze, Deutschland; ISBN: 978-3-86037-378-1

Gerersdorfer, T. Eitzinger, J., Laube W. (2011): Mikroklima im Bereich von Hecken und die Bedeutung für die Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion. [Poster] Klimaforschungsinitiative AustroClim, Tagungsband des 12. Österreichischen Klimatags „Klima, Klimawandel, Auswirkungen und Anpassung in Österreich“, Wien.

Haselmayr, H.P., Baumgarten, A., Schwarz, M., Huber, S., Prokop, G., Sedy, K., Krammer, C., Murer, E., Pock, H., Rodlauer, C., Schaumberger, A., Nadeem, I., Formayer, F. (2019): BEAT –Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich. Erweiterte Zusammenfassung des Forschungsprojekts Nr. 100975. Abrufbar unter: <https://www.ages.at/themen/umwelt/boden/forschung/projekt-beat-bodenbedarf-fuer-dieernaehrungssicherung-in-oesterreich>

Hernández-Morcillo, M., Burgess, P., Mirck, J., Pantera, A., Plieninger, T. (2018). Scanning agroforestry-based solutions for climate change mitigation and adaptation in Europe. *Environmental Science and Policy* 80, 44-52.

Kay, S., Graves, A., Palma, J.H.N., Moreno, G., Roces-Díaz, J.V., ... , Herzog, F. (2019). Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosystem Services* 36, 100896.

Kay, S., Jäger, M., Herzog, F. (2019). Ressourcenschutz durch Agroforstsysteme – standortangepasste Lösungen. *Agrarforschung Schweiz* 10 (9), 308-315.

Lackóová, L., Kozlovsky Dufková, J. (2016). Historical terrain changes mapping due to the wind erosion degradation processes. *Acta Horticulturae et Regiotecturae* 1/2016, 13-16.

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, Hrsg.) (2005). Hecken, Feldgehölze und Feldraine in der landwirtschaftlichen Flur. LfL-Information, 11. Auflage.

Merot, P. (1999). The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate. *Agronomie* 19, 655-669.

Meyer, B.C., Wolf, T., Grabaum, R. (2012). A multifunctional assessment method for compromise optimization of linear landscape elements. *Ecological Indicators* 22, 53-63.

Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Trnka, M., Eitzinger, J., ... , Dubrovský, M. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology* 17 (7), 2298-2318.

Song, B., Robinson, G.M., Bardsley, D.K. (2020). Measuring Multifunctional Agricultural Landscapes. *Land* 9, 260.

Weninger, T., Dürr, A., Lenhart, M., Strauss, P., (2020). Ökosystemdienstleistungen von Bodenschutzanlagen – Eine Literaturübersicht. Eigenverlag BAW, Petzenkirchen. Abrufbar unter: <https://noe.gv.at/noe/Klima/Literaturstudie.pdf>.

Forstbetriebliche und steuerliche Aspekte der Schutzwaldbewirtschaftung

Philipp Toscani, Walter Sekot und Hermann Peyerl

Einleitung

Der Zustand des österreichischen Schutzwaldes signalisiert einen sehr großen und vielfach auch dringlichen Handlungsbedarf. Hochlagenaufforstung, Verjüngung und Pflege der Schutzwälder sind Aufgaben, die auf großer Fläche abseits der vom Dienstzweig der Wildbach- und Lawinerverbauung betreuten ‚hot spots‘ herantreten und nur in Abstimmung mit bzw. unmittelbar durch die überwiegend privaten Waldeigentümer bewerkstelligt werden können. In Ergänzung zu den forstrechtlich normierten Verpflichtungen braucht es zusätzliche, insbesondere ökonomische Leistungsanreize sowie auf betrieblicher Ebene wirksame Hilfestellungen, um die notwendige Intensivierung zu erzielen.

Stand des Wissens

Für einen effizienten Einsatz öffentlicher Mittel gilt es, die Ökonomie der Schutzwaldbewirtschaftung auf betrieblicher Ebene besser zu verstehen. Mayer und Ott (1991) sprechen die betriebswirtschaftliche Problematik explizit an und beziehen sich dabei unter anderem auf Aussagen von Frauendorfer (1973), die sich auf die Ergebnisse des forstlichen Testbetriebsnetzes im österreichischen Großwald der Jahre 1966-1970 stützen. Trotz des in der Zwischenzeit durch das forstökonomische Monitoring angehäuften Datenschatzes und maßgeblicher Entwicklungsschritte liegen auch heute noch keine aussagekräftigen empirischen Daten zur spezifischen Kosten- und Ertragssituation im Schutzwald vor.

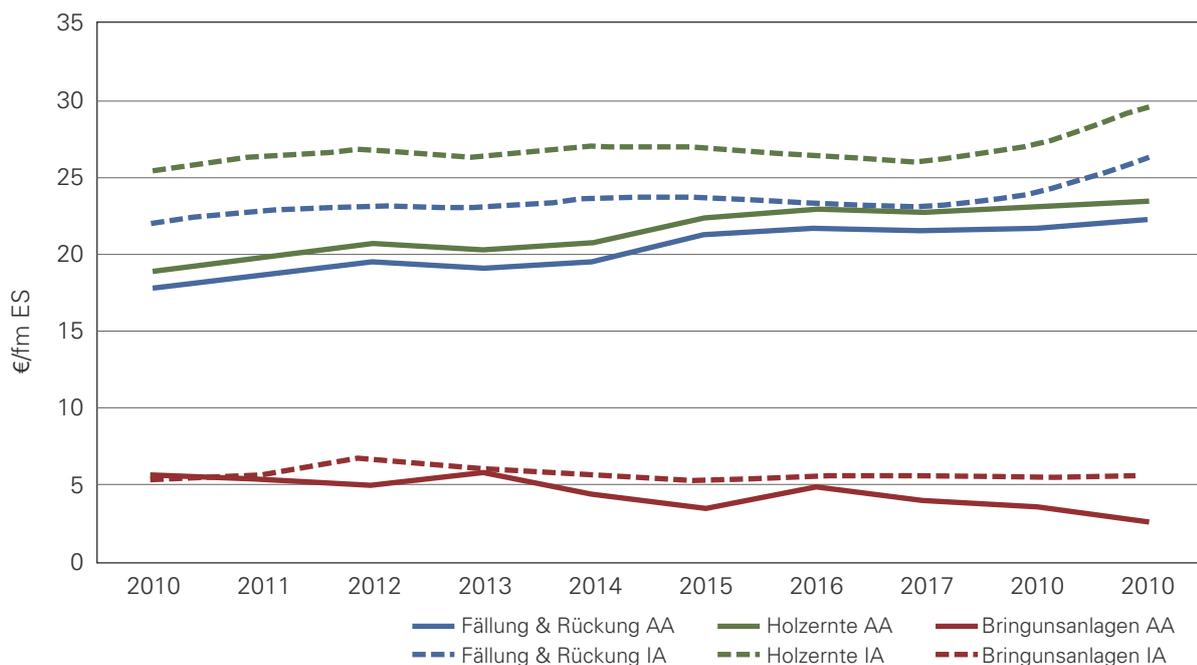


Abbildung 1: Zehnjährige Entwicklung ausgewählter Kennzahlen eines Panel von inneralpinen (IA, n=52) und aueralpinen Betrieben (AA, n=25) im Testbetriebsnetz Großwald (eigene Abbildung).

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Die Testbetriebserhebungen im Großwald erlauben Auswertungen auf einzel- und überbetrieblicher Ebene, bilden aber keine innerbetrieblichen Differenzierungen – insbesondere zwischen Wirtschafts- und Schutzwaldbewirtschaftung – ab. Der überbetriebliche Vergleich forstökonomischer Kennzahlen von Gebirgslagen und außeralpinen Regionen (siehe Abbildung 1) belegt lediglich die generelle Erschwernis der Forstwirtschaft im Bergland, vor allem in Bezug auf die Kostenstellen Erschließung und Holzernte. Dabei können mittlerweile flexible, überbetriebliche Gruppierungen – etwa nach Maßgabe des Anteiles von Seilgelände bei der Holzernte – vorgenommen und zusätzliche Kennzahlen wie insbesondere die Stückkosten der Fällung und Rückung sowie die jährlichen Kosten der Straßeninstandhaltung je Laufmeter (Toscani et al., 2020) ausgewertet werden.

Die Grenze zwischen Schutzwald in Ertrag, der im Sinne einer erwerbswirtschaftlich motivierten Holzproduktion nachhaltig bewirtschaftet werden kann, und Schutzwäldern, die zum Einkommen des Eigentümers keinen positiven Beitrag zu leisten imstande sind, verlagert sich je nach den ökonomischen Rahmenbedingungen. Die in der Vergangenheit zu beobachtenden, langfristigen Entwicklungen legen aber eine anhaltende Tendenz zum Rückzug aus einer über die Holzproduktion motivierten Schutzwaldbewirtschaftung nahe. Analog zur dritten Stufe im Konzept der Intensitätsstufenkalkulation (Speidel, 1972) (siehe Abbildung 2) stellt sich für den Bewirtschafter dann vielfach die Frage, ob das stehende Holz unter Berücksichtigung der Folgekosten der Verjüngung einmalig geerntet und die Fläche danach oder eben unmittelbar *de facto* unbewirtschaftet gelassen werden soll. Zwar sieht Speidel (1972) diese Extensivierung unter Aufrechterhaltung der Nachhaltigkeit der Infrastrukturleistungen vor, wobei aber gleichzeitig nur einfachste Formen der Bestandesbegegnung, geringste Wegedichte und praktisch keine Bestandespflege anzustreben sind. Die von Maier und Ott (1991) postulierte, waldbaulich notwendige, aber überdurchschnittlich aufwändige Bestandespflege wäre auf solchen Schutzwaldflächen dann nicht nachhaltig ge-



währleistet und ohne spezifische Anreize dem Eigentümer auch nicht zumutbar.

Seitens der Österreichischen Bundesforste, die mit Abstand die weitaus größte Schutzwaldfläche betreuen, wird angegeben, dass die Sanierung eines Schutzwaldes etwa 10 Mal so hohe Kosten wie die normale Pflege verursacht (ÖBf, 2015).

Neben dem Einsatz öffentlicher Mittel kommen auch gezielte Entlastungen in Betracht, um die Waldeigentümer zu den für sie sonst unwirtschaftlichen, gesellschaftlich aber umso erwünschteren Maßnahmen zu motivieren. Steuerliche Begünstigungen können flankierende Maßnahmen zur Intensivierung der Schutzwaldbewirtschaftung sein und gesellschaftlich erwünschtes Verhalten fördern. Bislang ist allerdings das Gegenteil der Fall: im Rahmen der forstlichen Einheitsbewertung werden auch *de facto* unproduktiven Schutzwäldern (solchen ohne Holznutzung) pauschal positive Ertrags-

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Ablauf der Kalkulationen zur Ausscheidung von Intensitätsstufen (schematisch)

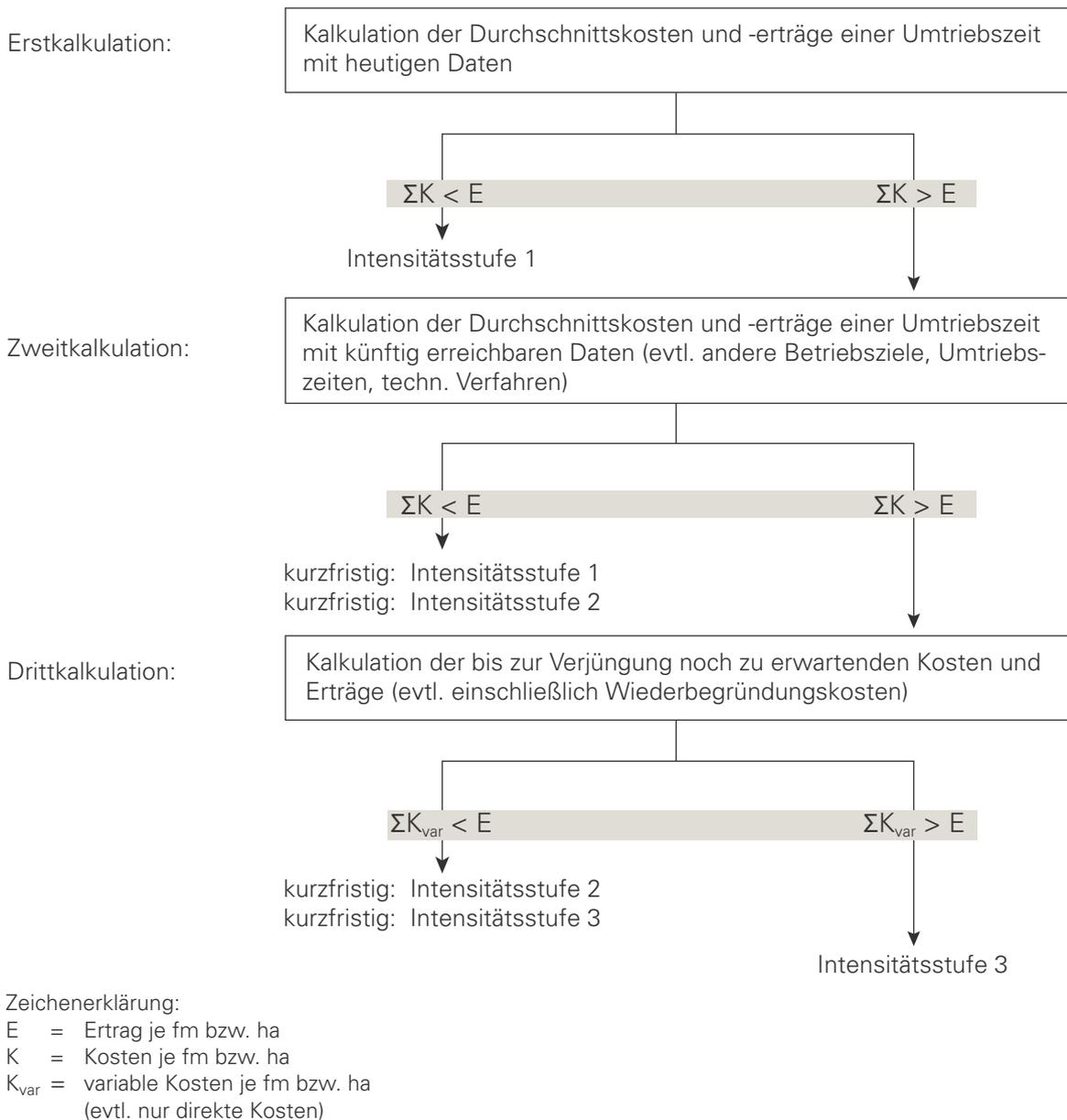


Abbildung 2: Schema der Intensitätsstufenkalkulation (Speidel, 1972, S. 155)

werte zugeordnet, sodass das Eigentum an Schutzwald zu der an der Einheitsbewertung anknüpfenden Abgabenlast beiträgt (vgl. Kundmachung des Bundesministers für Finanzen über die Bewertung von forstwirtschaftlichem Vermögen. Amtsblatt der Wiener Zeitung vom 5.3.2015 (BMF, 2014)).

Die mittel- und langfristige forstliche Betriebsplanung (Forsteinrichtung) behandelt den Schutzwald wegen seiner in der Regel geringen Ertragsfähigkeit i.d.R. nur extensiv. Soweit es sich nicht um Schutzwald in Ertrag handelt, werden diese Flächen von betrieblichen Inventur- und Planungsmaßnahmen überhaupt nicht er-

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

fasst. Es ist daher davon auszugehen, dass auf einzelbetrieblicher Ebene vielfach keine oder nur sehr geringe Datengrundlagen und Planungen in Bezug auf die waldbaulichen Gegebenheiten und Notwendigkeiten im Schutzwald vorliegen.

Die Einbeziehung von Freiwilligenarbeit in gesellschaftlich relevante Tätigkeiten hat sowohl ökonomisches als auch soziales Potenzial (Alpenverein Österreich, n.b.).

Wissensdefizite

Die Länder der DACH-Region (Deutschland, Österreich und Schweiz) haben eine lange Tradition im forstökonomischen Monitoring auf Basis von Testbetriebsnetzen (Hyttinen et al., 1997; Toscani und Sekot, 2018). Im Unterschied zu den Ansätzen in Deutschland und der Schweiz adressiert das forstökonomische Monitoring in Österreich die Schutzwaldbewirtschaftung nach wie vor nicht explizit. Dafür wäre eine innerbetriebliche Differenzierung des Rechnungswesens erforderlich. Zudem erstreckt sich das Testbetriebsnetz im österreichischen Großwald nicht auf die Bundesländer Tirol und Vorarlberg (die spezifischen Erhebungen der früheren Forstlichen Bundesversuchsanstalt in den Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern Westösterreichs wurden bereits Mitte der 1990-er Jahre eingestellt (Aicher, 1998)). Hinsichtlich der ökonomischen Verhältnisse im Kleinwald liegen nur Daten einer kleinen Beurteilungsstichprobe vor (Sekot 2017; Toscani und Sekot, 2017). Das gemeinsame Engagement um eine Verbesserung der Vergleichbarkeit (Bürgi et al., 2016; Sekot et al., 2011) wäre jedenfalls eine gute Basis, um die spezifischen Erfahrungen in den beiden Nachbarländern in die konzeptionellen Überlegungen zur Weiterentwicklung des forstökonomischen Monitorings, wie beispielhaft in Abbildung 3 für Deutschland dargestellt, in Hinblick auf die Schutzwaldbewirtschaftung einfließen zu lassen (Bürgi et al., 2018; DFWR, 1998, 1999; Dög et al., 2016; Huber et al., 2015; Küppers und Dieter, 2008).

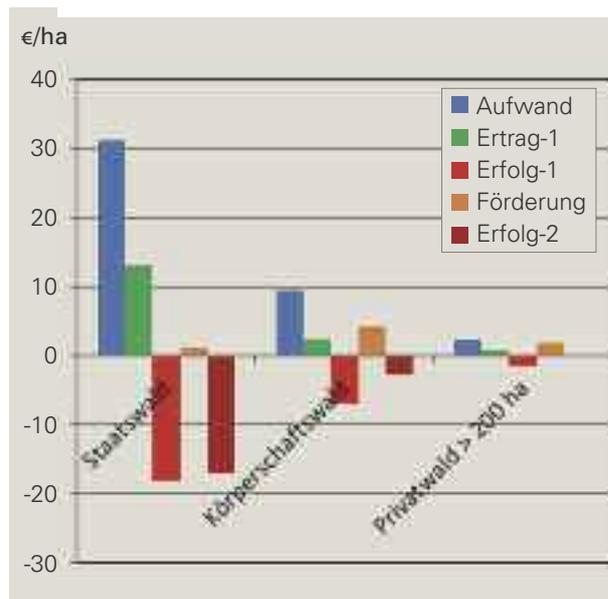


Abbildung 3: Produktbereich 2 ‚Schutz und Sanierung‘: durchschnittliche Ergebnisse 2004–2011. Aktualisierte Darstellung von Speidel (2019, S. 226).

Im Hinblick auf die Schutzwaldpflege fehlen konkrete Konzepte für steuerliche Anreizsysteme sowie entsprechende Kenntnisse hinsichtlich ihrer zweckmäßigen Ausgestaltung und potenziellen Wirksamkeit (vgl. Peyerl und Toscani, 2020).

Es fehlen Konzepte für eine effiziente Datenbeschaffung und Maßnahmenplanung im Hinblick auf die Sicherung bzw. Verbesserung der Schutzwirkung für verschiedene, betriebliche Konstellationen. So stellen auch Knoke et al. (2012, S. 346) fest: „Bisher ist weitgehend offen, wie die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen tatsächlich in wissenschaftlich fundierte Landnutzungs- und Managementsysteme integriert werden könnte.“

Es ist nicht bekannt, welche Erfahrungen österreichische Waldbesitzer mit der Freiwilligenarbeit im alpinen Gelände bisher gemacht haben und wie sie dieser in Bezug auf eine allfällige Unterstützung der Schutzwaldpflege gegenüberstehen.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Potentielle Forschungsthemen

Forschungsfeld 1: Forstökonomisches Monitoring

Vor dem Hintergrund der Gegebenheiten in Österreich sowie der Erfahrungen in den beiden Nachbarländern sind die Möglichkeiten einer spezifischen Detaillierung bzw. Erweiterung des forstökonomischen Monitorings zu untersuchen. Dabei geht es einerseits um die Differenzierung der Erfolgsrechnung nach Wirtschafts- bzw. Schutzwald. Eine gutachtliche Aufteilung im Zuge der Testbetriebserhebungen wäre vergleichsweise einfach. Allerdings würde sich dadurch der Erhebungsaufwand signifikant steigern und es wäre mit eher ungenauen und möglicherweise auch systematisch verzerrten Ergebnissen zu rechnen. Die Bereitschaft, bereits innerbetrieblich eine getrennte Verbuchung zu implementieren, würde jedenfalls spezifischer Anreize bedürfen. Die Machbarkeit der Alternativen ist jedenfalls abzuklären, ebenso wie es die Möglichkeiten und Voraussetzungen für neuerliche Testbetriebserhebungen in den Bundesländern Tirol und Vorarlberg sind (Enk, 1988). Weiters ist abzuklären, inwieweit im Wege der Vor- und Nachkalkulation von ÖBf-eigenen Schutzwaldprojekten Anhaltspunkte für Richtkostensätze entsprechender Maßnahmen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen gewonnen werden könnten.

Forschungsfeld 2: Steuerrechtliche Aspekte

Es sind konkrete Möglichkeiten aufzuzeigen wie Forstbetrieben aber auch Dritten entsprechende Anreize spezifisch in Bezug auf die Schutzwaldpflege vermittelt werden könnten. Forschungsfragen ergeben sich etwa hinsichtlich der Ausgestaltung einer steuerlichen Investitionsprämie („Schutzwaldprämie“) und der steuerlichen Begünstigung von Bewirtschaftungsgemeinschaften. Insbesondere für Kleinstwaldbesitzer könnte ein Konzept für die steuerliche Abzugsfähigkeit von Bewirtschaftungsmaßnahmen als

Sonderausgaben oder außergewöhnliche Belastungen erarbeitet werden. Es sind Überlegungen anzustellen, wie ggf. im Wege der Einheitsbewertung den Steuerpflichtigen Anreize zur Intensivierung der Schutzwaldpflege vermittelt werden könnten.

Forschungsfeld 3: Forstliche Betriebsplanung

Es ist zu untersuchen, wie spezifische betriebliche Planungsgrundlagen für die Schutzwaldbewirtschaftung und dabei insbesondere die Erhaltung bzw. Verbesserung der Schutzfunktion geschaffen werden können. Dazu sind Konzepte und Praktiken der Österreichischen Bundesforste in der Schutzwaldbewirtschaftung zu erheben und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf kleinere Betriebe unter Bezugnahme auf andere, speziell schweizerische Erfahrungen zu prüfen. Möglichkeiten der Unterstützung betrieblicher Inventur- und Planungstätigkeiten durch Bereitstellung und Aufbereitung von Datengrundlagen (insbesondere solcher der Fernerkundung) sind ebenso abzuklären wie eine allfällige Integration in den ‚Managementplan Forst‘ (LK Steiermark, n.b.). Es ist zu untersuchen, ob und inwieweit eine spezifische Verordnung für einen Schutzwald-Waldfachplan sowohl den betrieblichen Planungsaufwand verringern als auch eine Verwaltungsvereinfachung bei der Abwicklung von Förderanträgen ermöglichen könnte.

Forschungsfeld 4: Freiwilligenarbeit

Bisherige Erfahrungen mit sowie die grundsätzliche Haltung von Waldeigentümern bzw. Forstbetrieben gegenüber der Freiwilligenarbeit sind in Erfahrung zu bringen, die wesentlichen, insbesondere rechtlichen Rahmenbedingungen sind abzuklären und Konzepte zur praktischen Umsetzung sind transdisziplinär zu erarbeiten.

SCHUTZWALD – BEWIRTSCHAFTUNG

Literatur

- Aicher, R. (1998). P/5/8 Forstliches Rechnungswesen. In Forstliche Bundesversuchsanstalt (Hrsg.), Jahresbericht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 1997 (S. 102–103). Wien: Im Eigenverlag.
- Alpenverein Österreich. (n.b.). Bergwaldprojekt. Alpenverein Österreich. <https://www.alpenverein.at/portal/bergaktiv/freiwilligenarbeit/bergwaldprojekte/index.php>. Zugegriffen: 25. Februar 2021.
- BMF. (2014). Kundmachung des Bundesministers für Finanzen über die Bewertung von forstwirtschaftlichem Vermögen. Amtsblatt der Wiener Zeitung, 2014(045), 36–39.
- Bürgi, P., Sekot, W., Ermisch, N., Pauli, B., Möhring, B., Toscani, P. (2016). Forstbetrieblicher Kennzahlenvergleich Deutschland – Österreich – Schweiz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 167(2), 73–81. <https://doi.org/10.3188/szf.2016.0073>.
- Bürgi, P., Thomas, M., Pauli, B., Auer, N. (2018). Forstwirtschaftliches Testbetriebsnetz der Schweiz: Ergebnisse der Jahre 2014–2016. Neuchâtel, Schweiz: Bundesamt für Statistik (BFS).
- DFWR. (1998). Empfehlungen des DFWR zur Vereinheitlichung des forstlichen Rechnungswesens. Eigenverlag – Deutscher Forstwirtschafts Rat. www.dfwr.de/download/Empfehlungen_des_DFWR.doc. Zugegriffen: 7. Januar 2013.
- DFWR. (1999). DFWR-Empfehlungen 1998: Transparenz und Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Forstbetrieben. AFZ-Der Wald, 54(8), 414–416.
- Dög, M., Seintsch, B., Rosenkranz, L., Dieter, M. (2016). Belastungen der deutschen Forstwirtschaft aus der Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes [Economic burdens for German forestry due to protection and recreation functions of forests]. Landbauforschung Völkenrode, 66(2), 71–92. <https://doi.org/10.3220/LBF-1467620583000>.
- Enk, H. (1988). 10 Jahre Kostenuntersuchungen bei Tiroler Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern. Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien Nr. 33. (FBVA, Hrsg.). Kommissionsverlag: Agrarverlag.
- Frauendorfer, R. (1973). Betriebswirtschaftliche Thesen. In Studienrichtung Forst- und Holzwirtschaft der Hochschule für Bodenkultur (Hrsg.), 100-Jahrfeier Hochschule für Bodenkultur (Bd. 4, S. 181–185). Wien: Eigenverlag.
- Huber, M., Brang, P., Sandri, A. (2015). Schutz vor Naturgefahren. In A. Rigling & H. P. Schaffer (Hrsg.), Waldbericht 2015 - Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes (S. 94–97). Bundesamt für Umwelt, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- Hyttinen, P., Kallio, T., Olischläger, T., Sekot, W., Winterbourne, J. (1997). Monitoring forestry costs and revenues in selected European countries. (European Forest Institute, Hrsg.). Joensuu, Finland: European Forest Institute.
- Knoke, T., Schneider, T., Hahn, A., Griess, V. C., Rößiger, J. (2012). Forstbetriebsplanung als Entscheidungshilfe. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- Küppers, J.-G., Dieter, M. (2008). Belastungen der Forstbetriebe aus der Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes (2003 bis 2006). Hamburg: vTI, Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft.
- LK Steiermark. (n.b.). Managementplan Forst. Ikonline - Landwirtschaftskammer Steiermark. <https://stmk.lko.at/managementplan-forst+2500+2738626>. Zugegriffen: 24. Februar 2021.
- Mayer, H., Ott, E. (1991). Gebirgswaldbau, Schutzwaldpflege - Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz (2. vollst. neu bearb. Aufl.). Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag.
- Öbf. (2015, Januar 9). Schutzwald-Projekte der Österreichischen Bundesforste. Forstpraxis.de. <https://www.forstpraxis.de/schutzwald-projekte-der-oesterreichischen-bundesforste/>. Zugegriffen: 24. Februar 2021.
- Peyerl, H., Toscani, P. (2020). Schutzwald attraktiv machen: verwalten – investieren – wirtschaften. Wien: Im Eigenverlag.
- Sekot, W. (2017). Forest Accountancy Data Networks as a Means for Investigating Small-Scale Forestry: A European Perspective. Small-scale Forestry, 16(3), 435–449. <https://doi.org/10.1007/s11842-017-9371-4>.
- Sekot, W. (2019). Strategische Unternehmensführung und Diversifikationsmanagement - Studienunterlagen. Wien: Im Eigenverlag.
- Sekot, W., Fillbrandt, T., Zesiger, A. (2011). Improving the International Compatibility of Accountancy Data: The „DACH-Initiative“. Small-scale Forestry, 10(2), 255–269. <https://doi.org/10.1007/s11842-010-9134-y>.
- Speidel, G. (1972). Planung im Forstbetrieb: Grundlagen u. Methoden d. Forsteinrichtung; mit 33 Tab. Hamburg, Berlin: Parey.
- Toscani, P., Sekot, W. (2017). Assessing the Economic Situation of Small-Scale Farm Forestry in Mountain Regions: A Case Study in Austria. Mountain Research and Development, 37(3), 271–280. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00106.1>.
- Toscani, P., Sekot, W. (2018). Forest Accountancy Data Networks—A European Approach of Empirical Research, Its Achievements, and Potentials in Regard to Sustainable Multiple Use Forestry. Forests, 9(4), 220. <https://doi.org/10.3390/f9040220>.
- Toscani, P., Sekot, W., Holzleitner, F. (2020). Forest Roads from the Perspective of Managerial Accounting—Empirical Evidence from Austria. Forests, 11(4), 378. <https://doi.org/10.3390/f11040378>.





Schutzwald – Klimawandel

Klimawandel mit Blick auf den Schutzwald

Marc Olefs, Katharina Enigl, Klaus Haslinger, Christoph Matulla und Georg Pistotnik

Einführung und globaler Kontext

Seit Ende des 19. Jahrhunderts ist die Lufttemperatur in Österreich und im Alpenraum um knapp 2 Grad angestiegen. Diese Änderung ist in etwa doppelt so stark wie im globalen Mittel [1], [2] und liegt 20% über dem Anstieg der mittleren Lufttemperatur von 1,5°C über den globalen Landflächen [3].

Hauptursache dafür ist, dass sich die Luft über Landflächen generell rascher erwärmt als über den thermisch trägeren Ozeanen [3], [4], aber auch der Einfluss gestiegener bodennaher solarer Einstrahlung seit den 1980er-Jahren spielt höchstwahrscheinlich eine wichtige Rolle [5]. Mehr als die Hälfte der globalen Erwärmung seit 1950 ist auf den Einfluss der steigenden anthropogenen Treibhausgasemissionen zurückzuführen [6].

Der Grad der bereits beobachteten und zukünftig erwarteten anthropogenen Klimaerwärmung und damit zusammenhängender Auswirkungen ist durch die globalen historischen und zukünftigen kumulativen Emissionen klimarelevanter Treibhausgase, insbesondere Kohlendioxid (CO₂), definiert. Letztere betragen derzeit knapp 35±1,8 Gigatonnen CO₂ pro Jahr, haben sich in den letzten 40 Jahren verdoppelt und steigen weiter an [7]. Selbst bei einem unmittelbaren, globalen und vollständigen Stopp aller CO₂-Emissionen würde ein großer CO₂-Anteil für Jahrhunderte und länger in der Atmosphäre verbleiben und so das Temperaturniveau hoch halten [8]. Treibhausgase sind in der Lage, die langwellige Wärmestrahlung der Erde zu absorbieren und diese teilweise wieder zum Erdboden zurück zu strahlen. Dadurch erhöht sich die atmosphärische Gegenstrahlung und damit der Energieeintrag zur Erdoberfläche und den bodennahen Luftschichten.

Im Pariser Klimaabkommen [9] hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, die globale Erwärmung bis Ende dieses Jahrhunderts auf einem Niveau wesentlich unter 2°C, wenn möglich auf 1,5°C, bezogen auf das vorindustrielle Temperaturniveau, zu begrenzen. Um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen, müssen die globalen Emissionen möglichst sofort abnehmen, so dass die Nettoemissionen bereits 2055 auf null gesunken sind. Derartige Emissionsreduktionen können nur durch eine umfassende Neuausrichtung unserer technischen und wirtschaftlichen Entwicklung erreicht werden. Daher spricht man auch von einer notwendigen Transformation der Gesellschaft [10].

Um durch Klimamodellierungen die ganze Bandbreite der möglichen zukünftigen Klimaveränderungen zu untersuchen, werden verschiedene Entwicklungen des menschlichen Handelns (Bevölkerung, Weltwirtschaft, technologischer Fortschritt), sog. Klimaszenarien, angenommen. Um weitere Unsicherheiten der Klimamodelle zu berücksichtigen, wie z.B. die Modellierungsmethoden an sich oder natürliche Klimaschwankungen, werden für jedes Klimaszenario viele Klimasimulationen mehrerer unterschiedlicher Modelle mit leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen gerechnet („Modellensemble“). Für jedes Klimaszenario ergibt sich somit eine Bandbreite an möglichen zukünftigen Entwicklungen. Um eine Klimaänderung aus einem Ensemble abzuschätzen, wird im Folgenden der Ensemble-Median verwendet. Er entspricht dem zentralen („durchschnittlichen“) Modell der Verteilung: die eine Hälfte der Modelle liegt oberhalb des Medians, die andere unterhalb.

Für die nahe Zukunft (2021-2050) in Österreich wird weitgehend unabhängig vom Emissionszenario ein weiterer Temperaturanstieg von ca. 1,3°C im Vergleich zur Klimanormalperiode 1971

SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

bis 2000 erwartet. Für die ferne Zukunft (2071-2100) wird die Temperatur je nach Emissionsszenario um weniger als 2°C (RCP 2.6 - Einhaltung des Paris Abkommens) oder 4°C (RCP 8.5 - „ungünstigstes Szenario“ – keine Klimaschutzmaßnahmen) im Vergleich zur Klimanormalperiode 1971 bis 2000 ansteigen (s. Abbildung 1) [11, S. 15]. Die Klimaänderungssignale sind um ca. 0.3°C bis 0.6°C kleiner, wenn als Referenzperiode die aktuelle Periode (1991-2020) anstatt der Periode 1971 bis 2000 betrachtet wird.

Innerhalb Österreichs verliefen die Langzeitvariationen des Temperaturverlaufs in großer räumlicher Übereinstimmung. Nennenswerte Unterschiede in der Temperaturentwicklung gab es weder in der Horizontalen noch in der Vertikalen: Auf dem Sonnblick in 3100 m Seehöhe z. B. hat sich die Atmosphäre seit dem Ende des 19. Jahrhunderts ebenso um etwa 2°C erwärmt wie in Wien [1], [12]. Saisonal betrachtet

ist die Erwärmung im Zeitraum 1989-2018 vs. 1871-1900 im Tiefland im Frühjahr und Winter am stärksten (+2.1 °C bzw. +2.3 °C), gefolgt vom Sommer (+1.8°C), am schwächsten ist sie im Herbst (+1,3°C). Den einzigen signifikanten Unterschied in der Erwärmung zwischen tiefen und hohen Lagen gibt es im Winter (+1.7°C in den Gipfelregionen vs. +2.3 im Tiefland) [13], [14].

Der vom Menschen verursachte Klimawandel bezieht sich nicht nur auf die Temperatur. Weltweit kommt es auch zu Änderungen des Niederschlags, der Sonneneinstrahlung und anderer meteorologischer Größen. Die Veränderungen sind jedoch regional sehr unterschiedlich ausgeprägt. Neben den mittleren Verhältnissen ändern sich auch die Extremereignisse [6]. Im folgenden Kapitel wird auf die wichtigsten und relevantesten Änderungen und Auswirkungen des Klimawandels mit Blick auf den Schutzwald eingegangen.

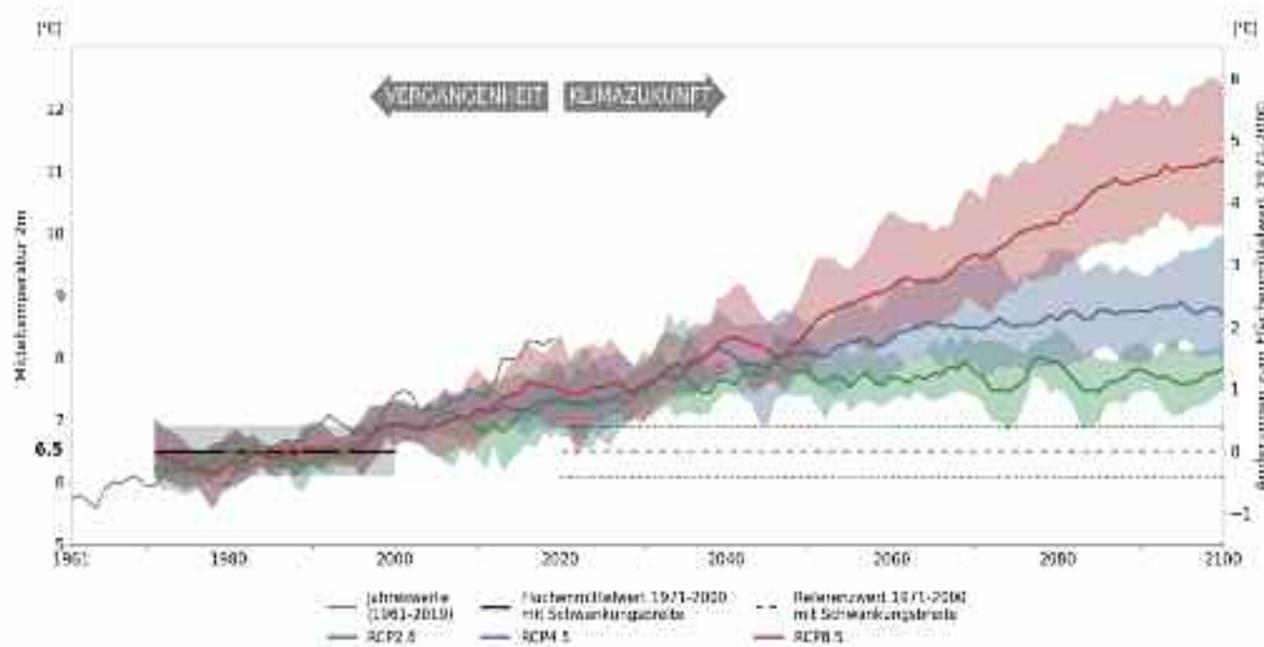


Abbildung 1: Gemessene vergangene (1961 bis 2019) und zukünftige erwartete (Modellberechnungen für RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 im Zeitraum 1970 bis 2100) Jahresmitteltemperaturen für Österreich. Da Klimamodelle keine konkreten Vorhersagen für einzelne Jahre machen können, sind die Modellergebnisse und Messdaten geglättet dargestellt (5-jähriges gleitendes Mittel). Die Bandbreite der verschiedenen Klimamodelle ist pro Szenario durch die farbigen Bereiche angedeutet, die dicke farbige Linie zeigt jeweils den Median der Modelle. Die Variation von Jahr zu Jahr ist durch den schattierten Bereich angedeutet ([11, S. 15], aktualisiert).

Relevante Änderungen und Auswirkungen

Veränderungen des atmosphärischen Bereichs des Wasserkreislaufs

Wie ändert sich die Niederschlagscharakteristik hinsichtlich Menge und Intensität? Sind Änderungen im Niederschlagsregime (Saisonalität) zu erwarten bzw. schon beobachtet?

Der Niederschlag als wichtigste Flussgröße im atmosphärischen Teil des Wasserkreislaufes zeigt im Verlauf der letzten zwei Jahrhunderte einen schwach signifikanten positiven Trend nördlich des Alpenhauptkammes im Gegensatz zu einem leicht negativen Trend auf der Alpensüdseite [15], [16]. Jahr-zu-Jahr Schwankungen übertreffen diese langfristigen Trends jedoch bei weitem [17]. Zusätzlich unterliegen die Niederschlagsmengen Schwankungen auf dekadischen Zeitskalen, feuchten Perioden stehen sehr trockenen Zeitabschnitten gegenüber (Abbildung 2). Hierbei sind vor allem die sog. Dürredekaden der 1860er- und 1940er-Jahre als markante Beispiele zu nennen [18], [19]. Abgesehen von diesen langfristigen Änderungen der abso-

luten Niederschlagsmengen lassen sich auch Änderungen in der Niederschlagscharakteristik feststellen, die mittlere tägliche Niederschlagsintensität hat seit den 1960er-Jahren zugenommen, Tage mit geringen Intensitäten nehmen ab, Tage mit hoher Intensität nehmen zu, insbesondere im Sommer und Herbst [11]. Die Gesamtanzahl der Niederschlagstage bleibt im Jahresmittel dabei gleich, es kommt somit nur zu einer Verschiebung in den Intensitäten.

State-of-the-art Klimaprojektionen zeigen für das 21. Jahrhundert eine Zunahme der jährlichen Niederschlagssumme in Österreich. Dieser positive Trend zeigt sich vor allem in der kalten Jahreszeit (Zunahmen um bis zu 20 % bis 40 %), für den Sommer ist das Signal nicht eindeutig [20]. Die aus der Vergangenheit beobachtete Zunahme der Niederschlagsintensität wird sich jedoch auch in Zukunft fortsetzen.

Wie ändert sich die (potentielle) Verdunstung? Welche Änderungen welcher meteorologischen Variablen die die Verdunstung steuern sind zu erwarten/wurden beobachtet?

Unter potentieller Evapotranspiration (PET) wird jene Wassermenge verstanden, die bei ge-

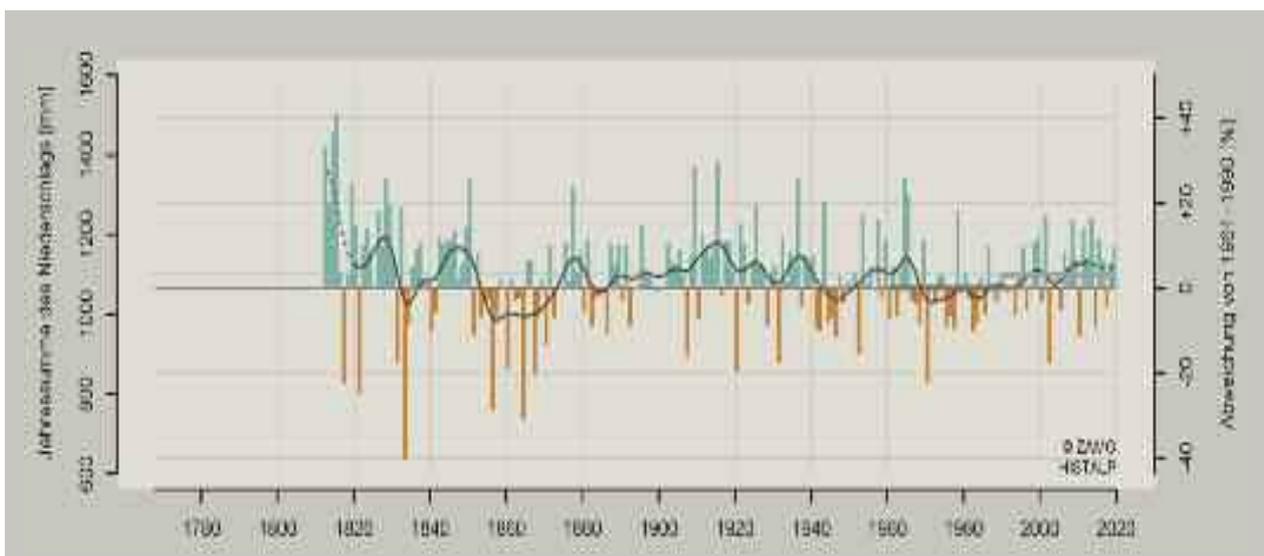


Abbildung 2: Jahressummen des Niederschlags (Balken) und geglätteter Verlauf (schwarze Linie) in Österreich, die Abweichungen beziehen sich auf die Periode 1961-1990 (dunkelgrauer Balken) der hellgraue Balken stellt den Mittelwert der letzten 30 Jahre (1991-2020) dar.

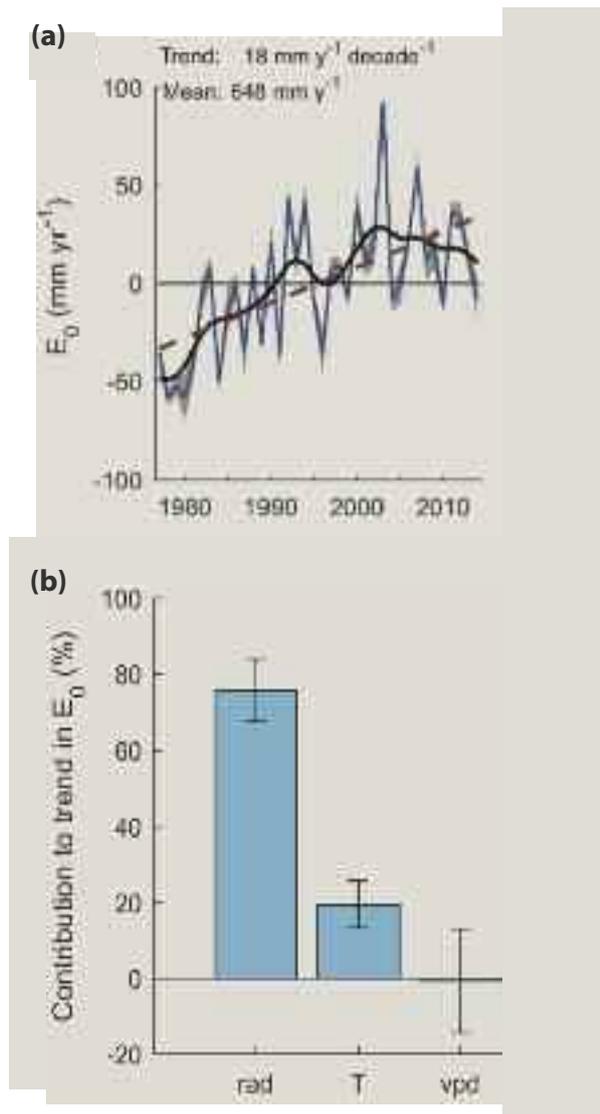


Abbildung 3: (a) Anomalien der Jahressumme der potentiellen Evapotranspiration (E_0) relativ zur Periode 1977–2014, (b) Anteile am Trend der die potentielle Verdunstung antreibenden meteorologischen Variablen Strahlung (rad), Temperatur (T) und Luftfeuchtigkeit (vpd), Abbildung aus DÜTHMANN und BLÖSCHL (2018).

gebenen atmosphärischen Bedingungen bei unlimitiertem Wasserdargebot verdunsten kann. Eine Vielzahl an meteorologischen Größen beeinflussen die PET (Strahlung, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit), was eine Abschätzung dieser Größe nur für den Verlauf der letzten Jahrzehnte, in denen sämtliche Parameter durch Stationsmessungen vorliegen, möglich macht. Die Jahressumme der PET ist in Österreich seit den 1970er-Jahren deutlich an-

gestiegen, im Mittel um +18 mm pro Dekade (siehe Abbildung 3a, bearbeitet nach [21]). Der größte Anteil dieser Zunahme (76%) kann durch einen beträchtlichen Anstieg der Strahlung in den 1980er- und 1990er-Jahren erklärt werden (Abbildung 3b), deutlich geringer ist der Anteil der Lufttemperatur (19%). Die Zunahme der Strahlung ist durch hochqualitative und homogene Datensätze gut belegt [15] und ist die Konsequenz aus einer Zunahme an Hochdruckwetterlagen [22] und dem Umsetzen konsequenter Luftreinhaltemaßnahmen seit den 1980er-Jahren [5] und dem Einsetzen des sog. „Global Brightenings“ [23].

Klimaprojektionen zeigen eine leichte Abnahme der Strahlung im Verlauf des 21. Jahrhunderts im Gegensatz zu einem deutlichen Anstieg der mittleren Lufttemperatur [20]. In Summe ergibt sich daraus ein leichter Anstieg der PET bis 2100 von 6% (RCP4.5) bzw. 12% (RCP8.5) [24]. Extreme Dürreereignisse werden somit in Häufigkeit und Intensität im Laufe des 21. Jahrhunderts weiter zunehmen, ein derartiges Ereignis, das im heutigen Klima im Schnitt alle 20 Jahre auftreten kann, wird am Ende des Jahrhunderts alle 2 bis 5 bzw. 5 bis 15 Jahre vorkommen (kein Klimaschutz (RCP8.5) vs. wirksame Maßnahmen (RCP4.5)) [25].

Wie ändert sich die Schneelage in komplexer Topographie hinsichtlich Saisonalität, Schneeakkumulation und -schmelze, Regen/Schneefallverhältnis?

Aufgrund der starken Abhängigkeit des Schnees von Lufttemperatur und Niederschlag sind räumliche Unterschiede in der zeitlichen Schneedeckenentwicklung vor allem bedingt durch die Seehöhe, schneebringende Luftmassen und deren Herkunft [26], [27] und regional- bis lokal-klimatologische Gegebenheiten (z.B. Föhnhäufigkeit, Inversionen, Stauniederschläge, Absinkeffekte der Schneefallgrenze). Die fortschreitende Klimaerwärmung führt langfristig zu einem höheren Flüssiganteil am Niederschlag (mehr Regen anstatt Schneefall) und zu einer schnelleren Schmelze bestehender Schneedecken. Diese Abnahmen sind aber überlagert

durch starke Jahr-zu-Jahr und multidekadische natürliche Klimaschwankungen, die es auch in Zukunft weiterhin geben wird.

Im Mittel über ganz Österreich und alle Höhenlagen haben die mittlere saisonale Schneehöhe HS (Nov-Apr) bzw. die Schneedeckendauer SCD (Anzahl an Tagen mit einer Schneedecke > 1 cm) im Zeitraum 1961/62 bis 2019/20 um 0.15 m bzw. 42 Tage signifikant abgenommen. Dies entspricht einer relativen, höhenabhängigen Abnahme von 75% bis 5% (HS) beziehungsweise 55% bis 0% (SCD), im Westen und Süden des Landes sind die Abnahmen am stärksten. Im Frühjahr verkürzt sich die Schneedeckendauer stärker als im Frühwinter/Herbst. Lawinenrelevante, saisonal maximale 72-stündige Neuschneesummen zeigen ebenfalls einen signifikant abnehmenden Trend mit regionalen Ausnahmen am östlichen Alpenhauptkamm (Dachstein- und Hochschwabgebiet), wo sich zunehmende Tendenzen zeigen [28].

In der nahen Zukunft (2021-2050) überlagern die starken regionalen Jahr-zu-Jahr und multidekadischen natürlichen Schwankungen des Klimasystems (Temperatur und Niederschlag) in allen Höhenlagen deutlich den Effekt der allmählich steigenden Temperaturen auf die Schneedecke. Diese Schwankungen können sich somit regional sogar stärker bemerkbar machen als der langfristig abnehmende Trend. Für die ferne Zukunft (2071-2100) wirkt sich auf saisonaler Skala selbst in hohen Lagen der Temperaturanstieg stärker aus als ein möglicher Anstieg der Winterniederschläge. Das bedeutet im schlimmsten Fall und ohne Klimaschutz (RCP8.5) eine Abnahme der Schneehöhe um ca. 50%, 70% und 90% in hohen, mittleren und tiefen Lagen. Mit wirksamen Klimaschutzmaßnahmen (RCP4.5) können diese Reduktionen auf ca. 20%, 50% und 70% gedämpft werden, bei globalem Erreichen des Paris-Ziels (RCP2.6) würden sich diese Abnahmen auf ca. 10%, 20% und 40% (hohe, mittlere, tiefe Lagen der europäischen Alpen) drastisch reduzieren lassen. Die Schneedeckendauer verringert sich somit um bis zu einem Monat zu Beginn und bis zu drei Monaten zum Ende der schneebedeckten Zeit [13].

Veränderungen von Extremereignissen

Wie ändern sich extreme Niederschlagsintensitäten?

Wolken und Niederschläge bilden sich beim Aufsteigen feuchter Luftmassen. Großräumige Hebungsprozesse sind an Tiefdruckgebiete gebunden, sind relativ schwach und gleichmäßig und resultieren in Schichtwolken mit flächigen Niederschlägen. Kleinräumige Hebungsprozesse sind die Folge einer instabilen Luftschichtung; sie sind intensiver und unregelmäßiger und manifestieren sich in Quellwolken mit konvektiven Niederschlägen. So klar die Unterscheidung zwischen diesen Niederschlagsformen vom Konzept her ist (siehe Tabelle 01 in [29]), treten in der Realität doch häufig Misch- und Übergangsformen auf.

Je mehr Wasserdampf eine Luftmasse enthält und je stärker die Hebung ist, der sie ausgesetzt wird, desto mehr Niederschlag fällt aus [30]. Im typischen Temperaturbereich, in dem sich unser Klima bewegt, kann eine Luftmasse pro Grad Erwärmung um etwa 7% mehr Wasserdampf aufnehmen. Einer physikalischen Argumentation folgend sollten die Niederschlagsintensitäten im Zuge des Klimawandels in einem vergleichbaren Maß zunehmen [31], [32], bei konvektiven Niederschlägen sogar stärker, weil sich mehr Wasserdampf nicht nur direkt in mehr Niederschlag übersetzt, sondern über die Freisetzung von latenter Wärme zusätzlich auch noch in stärkere Aufwinde in konvektiven Wolken rückkoppelt.

Bisherige Auswertungen langjähriger Tagesdaten des Niederschlages in Mitteleuropa zeigen häufiger positive als negative, wenn auch überwiegend statistisch insignifikante Trends, und zwar sowohl in Stationsmessungen seit Anfang des 20. Jahrhunderts [33], [34] als auch in Flächenmitteln von gegitterten Reanalysen seit Mitte des 20. Jahrhunderts [20], [35], [36] (s. auch Abbildung 4). Die längsten Messreihen stündlicher Niederschläge reichen in Österreich nur bis in die 1980er-Jahre zurück; erste vorläufige Auswertungen ließen positive Trends der Niederschlagsintensitäten erkennen, aber ebenfalls nicht räumlich und zeitlich einheitlich [36].

SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

Die meisten Tiefdruckgebiete sind an den Jetstream gebunden, ein semi-permanentes Starkwindband in höheren Luftschichten über den mittleren geografischen Breiten. Während der letzten Jahrzehnte ließ sich eine langsame Nordwärtsverschiebung des Jetstreams im europäischen Sektor nachweisen [6]. Dadurch beginnt der Alpenraum im Sommer immer öfter unter den subtropischen Hochdruckgürtel zu rutschen, in dem nicht mehr die Wasserdampfkapazität von Luftmassen, sondern das Vorkommen von hebungsfördernden Tiefdruckgebieten den limitierenden Faktor für Niederschläge darstellt. Indirekt schlägt sich diese Verschiebung in den Sommermonaten auch in sinkender relativer Luftfeuchtigkeit und steigender Sonnenscheindauer über die letzten Jahrzehnte nieder [12], [37]. Die uneinheitlichen Trends von Starkniederschlägen lassen sich so interpretieren, dass das höhere Potenzial in solch „mediterran“ anmutenden Sommern seltener durch passende Wetterlagen freigesetzt wird.

Die bisher umfangreichsten Auswertungen regionaler Klimaprojektionen legen nahe, dass sich diese langsame Verschiebung der globalen Strömungsmuster im 21. Jahrhundert fortsetzen und auch die bestehenden Niederschlagsregimes weiter nach Norden ziehen dürfte. Für Mitteleu-

ropa lässt dies vor allem im Sommer unregelmäßigere, aber intensivere Niederschläge erwarten [38], [39]. Im speziellen ist dies auch für die besonders wetterwirksamen Vb-Tiefs absehbar [35], [40], [41]. Der konvektive Anteil am Gesamtniederschlag wird in einem wärmeren Klima sehr wahrscheinlich zunehmen. Eine Ausdehnung der Gewittertätigkeit in den Frühling und Herbst sowie ins bisher wegen der langen Schneebedeckung gewitterarme Hochgebirge ist zu erwarten, könnte allerdings durch eine Abnahme im Hochsommer vor allem in den flachen Regionen kompensiert werden [32], [42].

Erwähnt seien allerdings auch die erheblichen Unsicherheiten, die sowohl der numerischen Modellierung selbst als auch ihrer Interpretation zugrunde liegen. Zwar verbessert sich unser Prozessverständnis, wie sich großräumige Variationen der atmosphärischen Zirkulation auf das Auftreten von Tiefdruckgebieten und deren flächigen Starkniederschlägen auswirken [43]. Der Bezug von konvektiven Starkniederschlägen zu bestimmten Wetterlagen wurde hingegen erst wenig untersucht [44]. Trends von Starkniederschlägen sind zudem besonders stark von Zyklen und zufälligen Schwankungen überlagert, sodass sich Signale des Klimawandels nur langsam aus dem „Rauschen“ herauschälen werden.

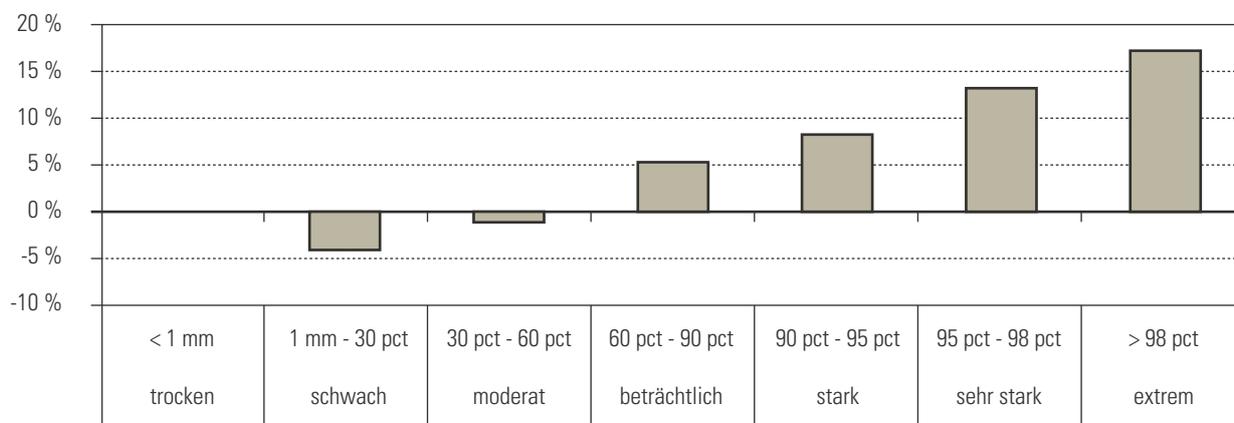


Abbildung 4: Änderung der Häufigkeit von Niederschlagstagen unterschiedlicher Intensität in Österreich. Dargestellt sind prozentuelle Änderungen in der Anzahl von Tagen je Niederschlagsklasse (Klassengrenzen: Perzentile auf Basis eines gegitterten Tagesniederschlags-Datensatzes (1 km x 1 km) für 1971 bis 2000). Vergleichszeiträume: 1961-1985 und 1986-2010 [20].

Welche direkten (Muren, Hangrutschungen) oder indirekten (gesteigerter Oberflächenabfluss) Auswirkungen sind bei veränderten Niederschlagsintensitäten zu erwarten bzw. wurden schon beobachtet?

Das häufigere Auftreten von Starkniederschlagsereignissen und der Temperaturanstieg (mit Einfluss auf Schneeschmelze und Permafrostbedingungen) im 20. Jahrhundert [14] führte in weiten Teilen des Europäischen Alpenraums zu einer Zunahme an Rutschungsereignissen [45]–[47] und gemeinsam mit erhöhter Exposition auch an durch Muren und Hangrutschungen induzierten Schäden [48]–[50]. Mit den projizierten Änderungen in Niederschlag und Temperatur und dem damit einhergehenden beschleunigten Verlust an Eisflächen sowie dem durch die höher liegende 0°C-Isotherme vermehrten Niederschlagsauftreten in Form von Regen werden Änderungen in Frequenz und Magnitude von Muren erwartet [51]–[53]. Insbesondere in den Sommermonaten werden Erhöhungen der Magnitude aufgrund größerer Mengen an verfügbarem Sediment [54] sowie höherer Niederschlagsintensitäten möglich [53]. Aufgrund seines Einflusses auf Grundwasserspiegel sowie Porenwasserdruck und somit auf die Hangstabilität, ist der Niederschlag einer der Hauptauslöser von Hangrutschungsereignissen [55], [56]. Die Reaktion eines Hanges auf meteorologische Bedingungen variiert abhängig vom Rutschungstyp [57], dem Volumen und der Tiefe [56]. Gemeinsam mit Temperaturerhöhungen und dem dadurch induzierten Tauen des Permafrosts führen Änderungen des Niederschlags zu Veränderungen von Hangstabilitäten, die sich auf Frequenz, Intensität und Saisonalität von Rutschungsereignissen auswirken [51]. Die Reaktion ist hierbei stark von den lokalen Begebenheiten abhängig [53]. Allgemein gültige Aussagen für den Europäischen Alpenraum können aufgrund der Unsicherheit des Niederschlags und insbesondere dessen Extremen [58], sowie der Komplexität der Prozesse nicht getätigt werden [55].

Künftige, veränderte Niederschlags- sowie Temperaturbedingungen und das daraus folgende geänderte Schneesverhalten bewirken auch eine

Änderung des Oberflächenabflusses in Quantität und Saisonalität bis zum Ende des Jahrhunderts [51], [59]. Je nach betrachtetem Szenario kommt es mit der Verlagerung des Niederschlagsmaximums in den Winter und des früheren Eintretens der Schneeschmelze zu einer Verschiebung des Spitzenabflusses um bis zu zwei bis drei Monate früher im Jahr [60]. Eine zweite Spitze im Sommer ist stark abhängig von der verfügbaren Gletscherspeisung, welche bis 2100 kontinuierlich abnehmen wird [51]. Generalisierte Aussagen für Österreich können nicht getroffen werden, da genaue Ausprägungen eine starke Abhängigkeit des betroffenen Einzugsgebietes von Topographie, Landnutzung und Vegetation aufweisen [60].

Wie ändern sich extreme Windgeschwindigkeiten?

Unter Windgeschwindigkeit versteht man die Strömungsgeschwindigkeit der Luft relativ zur Erdoberfläche. Per Definition spricht man von einem Sturm, wenn die Strömungsgeschwindigkeit relativ zur Erdoberfläche 75 km/h oder 9 Beaufort überschreitet [61]. Stürme werden anhand ihrer Entstehungsbedingungen und ihrer Ausdehnung unterschieden: Für Mitteleuropa und somit den Alpenraum sind außertropische Stürme (Stürme in mittleren und hohen Breiten, z. B. Sturmtiefs) und kleinräumige Stürme relevant.

Außertropische Stürme

Die für Mitteleuropa relevanten Tiefdruckgebiete entstehen über dem Atlantischen Ozean, wo an der Polarfront, dem Grenzbereich zwischen kalten und warmen Luftmassen, optimale Bedingungen für deren Ausbildung vorherrschen. Außertropische Stürme erstrecken sich meist über 1.000 km und haben eine Lebensdauer von 3 bis 10 Tagen. Die besonders kräftigen Sturmtiefs, die Mitteleuropa in der Periode 1990–2008 erreichten, fallen mit einer ausgeprägt positiven Phase der NAO (Nordatlantische Oszillation) zusammen. Österreich war besonders von den Stürmen namens Vivian (1990), Wiebke (1990), Lothar (1999), Kyrill (2007) und

Emma (2008) betroffen. Insgesamt entstanden in diesem Zeitraum Schäden von mehreren 100 Millionen Euro [62].

Zur robusten Beschreibung von Änderungen des Windklimas eignen sich lange zurückreichende Luftdruckmessreihen, aus denen räumliche Luftdruckunterschiede berechnet werden, besser als direkte Windmessungen [12], [63]. Eine Untersuchung von [63] zeigt in drei untersuchten Regionen Europas (Nordwest-, Nord- und Mitteleuropa) keinen langfristigen Trend zu mehr Stürmigkeit in der Vergangenheit. Auch andere Untersuchungen über das Sturmklima über Nordwesteuropa [64] verdeutlichen zwar die hohe Variabilität auf der jährlichen und dekadischen (10- bis 50-jährigen) Zeitskala, zeigen aber keine Zunahme der Stürmigkeit während der letzten 100 Jahre. Die Zugbahnen der Tiefdruckgebiete über Europa haben sich demnach weiter nach Norden bzw. Nordosten hin verlagert.

Analysen von Klimaprojektionen zukünftiger Sturmtätigkeit über Zentraleuropa und Österreich zeigen kein eindeutiges Ergebnis bei der Änderung der Anzahl an Stürmen (in etwa gleich viele Studien, die von einer Zu- bzw. Abnahme ausgehen). Die Mehrzahl dieser Studien beschreibt jedoch im Zuge eines sich wandelnden Klimas eine Zunahme der Sturmintensität [64], [65].

Kleinräumige Stürme

Kleinräumige Stürme lassen sich in orografische Ereignisse („Föhn“ oder „Bora“, je nachdem, ob mit ihnen eine Erwärmung einhergeht oder nicht) und konvektive Ereignisse einteilen. Beide Phänomene zählen zu den Fallwinden und können, wenn man von sehr seltenen starken Tornados absieht, die größten bekannten Windgeschwindigkeiten unserer gemäßigten Klimazone produzieren. So wurde am 11. Dezember 2017 während einer Südföhn-Episode von einer Wetterstation der ÖBB am Feuersang (2477 m), einem Berg oberhalb des Nordportals der Tauernschleuse im Gasteiner Tal, eine maximale Böe von 250 km/h gemessen [66]. Eine Ge-

witterlinie an der Kaltfront des Sturmtiefs „Emma“ am 1. März 2008 produzierte in St. Peter am Hart im oberösterreichischen Innviertel ähnliche Windspitzen, die anhand des Schadensbildes auf den Bereich von 252 ± 12 km/h geschätzt wurden und damit einem der stärksten, weltweit bekannten konvektiven Fallwinde entsprechen [67].

Das Schadenspotenzial konvektiver Stürme ist auch bei vergleichbaren Windgeschwindigkeiten größer als jenes von Föhnstürmen. Ihr Auftreten ist überwiegend auf die warme Jahreszeit beschränkt und räumlich viel variabler. Sie treffen daher oft auf voll belaubte Bäume und eine weniger angepasste Vegetation als Föhnstürme, die überwiegend im Winterhalbjahr und regelmäßiger in den gleichen Regionen wiederkehren. Außerdem wird der Impact konvektiver Stürme oft durch begleitenden heftigen Regen oder gar Hagel verschärft. In Radardaten sind Gewitter mit einer erhöhten Sturmgefahr als bogenförmige Linien, sogenannte Bogenechos, erkennbar [68].

Aufgrund ihrer Flüchtigkeit lassen sich noch kaum profunde Aussagen über das Verhalten von kleinräumigen Stürmen im Klimawandel treffen.

Das Auftreten von Föhnstürmen hängt besonders stark an bestimmten Wetterlagen, bei denen die Alpen entweder von Süden oder von Norden überströmt werden. Die zu erwartende Häufigkeit und Intensität solcher Situationen in einem zukünftigen Klima wurde nach bestem Wissen der Autoren noch nicht untersucht.

Für konvektive Stürme lassen sich zumindest erste Studien anführen und physikalisch begründete Annahmen treffen. Die Entstehung konvektiver Stürme wird vor allem durch starke Höhenwinde und trockene Luft mit entsprechend viel Verdunstung von fallendem Niederschlag gefördert. Wenn sich die beobachtete polwärtige Verschiebung des Jetstreams fortsetzt [6], sind diese Beiträge tendenziell gegengleich: der Höhenwind nimmt ab, dafür werden die Luftmassen trockener. Wie sehr sich diese beiden Gunstfaktoren zur Bildung konvektiver

SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

Stürme zukünftig überlappen werden, ist also unklar – und zwar noch über die bereits im Abschnitt über Starkregen behandelten Unsicherheiten in Bezug auf die Gewittertätigkeit selbst hinaus. Bisherige Auswertungen regionaler Klimamodelle lassen insgesamt eine Zunahme des Risikos konvektiver Stürme im Verlauf des 21. Jahrhunderts erwarten [69]. Bereits die 2010er-Jahre brachten in Mitteleuropa eine Häufung langlebiger Gewittersysteme, die von ungewöhnlich schweren Stürmen begleitet waren und stets den Randbereich besonders heißer Luftmassen entlangzogen. Nachdem die Mehrzahl dieser Ereignisse zunächst hauptsächlich die nördlichen Nachbarländer betroffen hatte, wurde Österreich erst im Sommer 2017 gleich mehrmals heimgesucht. Abbildung 5 zeigt die aus Schadensmeldungen rekonstruierten Windspitzen eines Gewittersturms, der am 10. August 2017 von Mittelitalien bis Polen zog und dabei auch den Süden und Osten Österreichs betraf. Die Kombination aus Ausdehnung und

Intensität machte ihn zu einem der heftigsten sommerlichen Gewitterstürme der letzten Jahrzehnte in Österreich. Ob diese Ereignisse bereits einen Trend einleiten oder nur einer zyklischen oder zufälligen Häufung entsprungen sind, wird sich allerdings erst in einigen Jahren klarer beurteilen lassen.

Wie ändert sich die Häufigkeit, Andauer und Intensität von Hitzewellen?

Der deutliche Temperaturanstieg führte auch zu einer Veränderung der temperaturabhängigen Extremwerte. So stieg z.B. die Anzahl von Sommertagen (Tageshöchstwert $\geq 25^{\circ}\text{C}$) und Tropennächten (Tagestiefstwert nicht unter 20°C) im Zeitraum 1948 bis 2010 signifikant [70]. Serien von aufeinanderfolgenden Hitzetagen (Tage mit Höchstwerten über 30°C), also Hitzewellen, sind dabei auch häufiger und länger geworden [71].

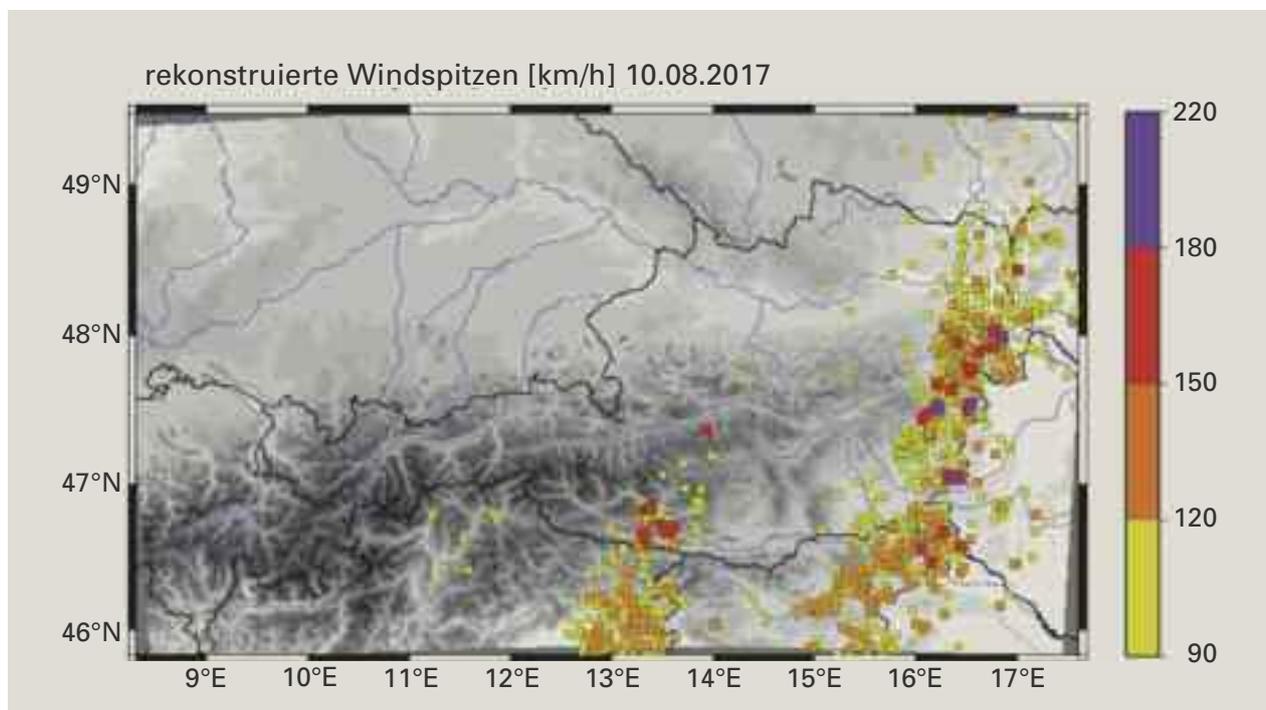


Abbildung 5: Rekonstruierte Windspitzen des Gewittersturms vom 10. August 2017 über dem Süden und Osten Österreichs. Die Schadensmeldungen wurden aus dem Bild- und Textmaterial von Feuerwehreinsätzen und Augenzeugen-Berichten gesammelt, verortet und in die jeweils wahrscheinlichsten Windspitzen übergeführt.

Mit dem weiteren Anstieg der mittleren Lufttemperatur in der Klimazukunft ändern sich auch die Temperaturextrema in allen Höhenlagen. Signifikante Änderungen der Hitzetage ergeben sich jedoch nur für Lagen unterhalb von etwa 1000 m. Stärkste Zunahmen sind im Sommer, im Alpenvorland, dem Flach- und Hügelland und dem Klagenfurter Becken zu finden. Des Weiteren kommt es zu einem zunehmenden Auftreten von Sommer- und Hitzetagen in den Übergangsjahreszeiten. So steigt beispielsweise die Anzahl der Hitzetage in der nahen bzw. fernen Zukunft um 3 Tage (RCP2.6; gleich für nahe und ferne Zukunft), 4 bzw. 7 Tage (RCP4.5) und 12 bzw. 19 Tage (RCP8.5) im Österreichmittel des jeweiligen Ensemble-Median. Massive Änderungen ergeben sich in RCP8.5 in der fernen Zukunft mit einer Zunahme an Sommertagen (Tage mit Höchstwerten über 25°C) von 50 Tagen in der Südoststeiermark und im Nordwesten Vorarlbergs sowie mit einer Zunahme von knapp über 40 Hitzetagen in der Südoststeiermark und im Tiroler Inntal [13].

Forschungsbedarf

(formuliert als Forschungsfragen aus allen Themenbereichen)

- Wie gut können State-of-the-art Klimamodelle Prozesse der natürlichen Klimavariabilität in Hinblick auf Trockendekaden abbilden?
- Welche Möglichkeiten oder Schwierigkeiten ergeben sich dadurch für eine jährliche oder dekadische Klimavorhersage?
- Welche Auswirkung hat ein erhöhter CO₂ Gehalt der Atmosphäre auf die Verdunstungsleistung der Vegetation und ergeben sich daraus Kompensationseffekte in Österreich?
- Wie robust ist das zukünftige Klimaänderungssignal hinsichtlich verringerter Strahlung und inwiefern lassen sich andere Steuerungsgrößen der PET (Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit) robust für die Zukunft aus Klimaprojektionen ableiten?
- Wie stark verändern sich extreme mehrtägige Neuschneesummen langfristig in der Klimazukunft und abhängig von der Region und Höhenlage in Österreich?
- Wie verändert sich auf regionaler Skala die Häufigkeit und Intensität von Episoden mit Nassschneelawinen im Klimawandel in verschiedenen Höhenlagen?
- Welchen Einfluss haben großskalige, klimawandelbedingte Änderungen von Temperatur und Niederschlag auf die Wälder und ihre schützende Funktion hinsichtlich Muren, Hangrutschungen und Oberflächenabfluss?
- Wie gut können künftige Klimamodelle den Niederschlag – speziell dessen Extreme - im topographisch komplexen Terrain abbilden, um die derzeitige Unsicherheit von Änderungen im Auftreten hydrologisch ausgelöster Naturgefahrenereignisse zu verringern?
- Wie verhalten sich sub-tägliche bis substündliche Niederschlagsextreme in Österreich und dem Alpenraum im Zuge des Klimawandels?
- Wie sehr können kombinierte oder aufeinander folgende Extremereignisse (z.B. Stürme und Starkniederschläge, die zu Verklauungen führen, oder Eisbruch und folgende Trockenheit/Hitze (Beispiel Waldviertel 2014/15) die auftretenden Schäden gegenüber solitären Extremen aufschaukeln, und wie kann man die Schutzwälder resilienter gegenüber solchen Einwirkungen gestalten?
- Wie lassen sich Schadensinformationen aus vielfältigen Quellen möglichst vollständig zusammenführen, um die besten „Übersetzungsschlüssel“ zwischen meteorologischen Extremen und auftretenden Schäden zu erhalten?
- Lassen sich Muster finden, welche Wetterlagen insbesondere kleinräumige Starkniederschläge oder Stürme begünstigen, um die Vorlaufzeit und Genauigkeit von Warnungen zu erhöhen und auch Risikoabschätzungen zu optimieren?

Literatur

- [1] ZAMG, „HISTALP Langzeitklimareihen – Österreich: Jahresbericht 2019“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: http://www.zamg.ac.at/histalp/download/newsletter/HISTALP_AT_Jahresnewsletter_2019.pdf.
- [2] Austrian Panel on Climate Change und H. Kromp-Kolb, Hrsg., Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014: Austrian assessment report 2014 (AAR14). Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2014.
- [3] IPCC, Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change, Hrsg., „Observations: Atmosphere and Surface“, in Climate Change 2013 - The Physical Science Basis, Cambridge: Cambridge University Press, 2014, S. 159–254.
- [5] S. C. Scherrer und M. Begert, „Effects of large-scale atmospheric flow and sunshine duration on the evolution of minimum and maximum temperature in Switzerland“, *Theor Appl Climatol*, März 2019, doi: 10.1007/s00704-019-02823-x.
- [6] IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013.
- [7] P. Friedlingstein u. a., „Global Carbon Budget 2019“, *Earth Syst. Sci. Data*, Bd. 11, Nr. 4, S. 1783–1838, Dez. 2019, doi: 10.5194/essd-11-1783-2019.
- [8] R. Knutti und J. Rogelj, „The legacy of our CO₂ emissions: a clash of scientific facts, politics and ethics“, *Climatic Change*, Bd. 133, Nr. 3, S. 361–373, Dez. 2015, doi: 10.1007/s10584-015-1340-3.
- [9] UNFCCC, „The Paris Agreement“, 2015. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-parisagreement>.
- [10] F. W. Geels, „Sustainability transitions“, in Companion to Environmental Studies, ROUTLEDGE in association with GSE Research, 2018, S. 719–724.
- [11] B. Chimani u. a., „Endbericht ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich - Daten - Methoden - Klimaanalyse. Projektbericht“, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://data.ccca.ac.at/dataset/a4ec86ca-eeae-4457-b0c7-78eed6b71c05>.
- [12] I. Auer u. a., „HISTALP–historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region“, *International Journal of Climatology*, Bd. 27, Nr. 1, S. 17–46, 2007.
- [13] M. Olefs, H. Formayer, A. Gobiet, W. Schöner, und T. Marke, „Kapitel 2: Klimawandel – Auswirkungen mit Blick auf den Tourismus“, in Tourismus und Klimawandel; Österreichischer Special Report Tourismus und Klimawandel (SR19), U. Pröbstl-Haider, D. Lund-Durlacher, M. Olefs, und F. Prettenhaler, Hrsg. Springer, 2020, S. 19–46.
- [14] M. Kuhn und M. Olefs, „Elevation-Dependent Climate Change in the European Alps“, in *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, Oxford University Press, 2020.
- [15] I. Auer u. a., „A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800–2002“, *International Journal of Climatology*, Bd. 25, Nr. 2, S. 139–166, Feb. 2005, doi: 10.1002/joc.1135.
- [16] M. Brunetti, M. Maugeri, T. Nanni, I. Auer, R. Böhm, und W. Schöner, „Precipitation variability and changes in the greater Alpine region over the 1800–2003 period“, *Journal of Geophysical Research*, Bd. 111, Nr. D11, 2006, doi: 10.1029/2005JD006674.
- [17] G. Blöschl u. a., „Auswirkungen der Klimaänderung auf Österreichs Wasserwirtschaft – ein aktualisierter Statusbericht“, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Juli 2018, doi: 10.1007/s00506-018-0498-0.
- [18] K. Haslinger und G. Blöschl, „Space-Time Patterns of Meteorological Drought Events in the European Greater Alpine Region Over the Past 210 Years: SPACE-TIME PATTERNS OF DROUGHT EVENTS“, *Water Resources Research*, Bd. 53, Nr. 11, S. 9807–9823, Nov. 2017, doi: 10.1002/2017WR020797.
- [19] K. Haslinger, F. Holawe, und G. Blöschl, „Spatial characteristics of precipitation shortfalls in the Greater Alpine Region—a data-based analysis from observations“, *Theoretical and Applied Climatology*, Mai 2018, doi: 10.1007/s00704-018-2506-5.
- [20] B. Chimani, M. Hofstätter, und A. Lexer, „ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich“, 2016/2, 2016.
- [21] D. Duethmann und G. Blöschl, „Why has catchment evaporation increased in the past 40 years? A data-based study in Austria“, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, S. 1–24, März 2018, doi: 10.5194/hess-2018-129.
- [22] P. Ceppi, S. C. Scherrer, A. M. Fischer, und C. Appenzeller, „Revisiting Swiss temperature trends 1959–2008“, *International Journal of Climatology*, Bd. 32, Nr. 2, S. 203–213, Feb. 2012, doi: 10.1002/joc.2260.
- [23] M. Wild, „Global dimming and brightening: A review“, *J. Geophys. Res.*, Bd. 114, S. D00D16, Juni 2009, doi: 10.1029/2008JD011470.
- [24] M. Gali Reniu, „Evapotranspiration projections in Austria under different climate change scenarios“, Master Thesis, Universität für Bodenkultur, Vienna, 2017.
- [25] K. Haslinger, W. Schöner, und I. Anders, „Future drought probabilities in the Greater Alpine Region based on COSMO-CLM experiments – spatial patterns and driving forces“, *Meteorologische Zeitschrift*, Bd. 25, Nr. 2, S. 137–148, Mai 2016, doi: 10.1127/metz/2015/0604.
- [26] H. Formayer und P. Haas, „Einfluss von Luftmasseneigenschaften auf die Schneefallgrenze in Öster-

- reich“, in *Tourismus im Klimawandel: Zur regionalwirtschaftlichen Bedeutung des Klimawandels für die österreichischen Tourismusgemeinden*, Bd. 6, F. Pretenthaler und H. Formayer, Hrsg. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), 2011, S. 48–50.
- [27] W. Schöner, Koch, Roland, Matulla, Christoph, Marty, Christoph, und Tilg, Anna-Maria, „Spatiotemporal patterns of snow depth within the Swiss-Austrian Alps for the past half century (1961 to 2012) and linkages to climate change“, *International Journal of Climatology*, Okt. 2018, doi: 10.1002/joc.5902.
- [28] M. Olefs, R. Koch, W. Schöner, und T. Marke, „Changes in Snow Depth, Snow Cover Duration, and Potential Snowmaking Conditions in Austria, 1961–2020—A Model Based Approach“, *Atmosphere*, Bd. 11, Nr. 12, S. 1330, Dez. 2020, doi: 10.3390/atmos11121330.
- [29] G. Pistotnik, M. Hofstätter, und A. Lexer, „Starkniederschlag und Hagel“, in *ExtremA 2019. Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich*, T. Glade, M. Mergili, und K. Sattler, Hrsg. Vienna University Press, 2020, S. 141–172.
- [30] C. A. Ill. Doswell, H. E. Brooks, und R. A. Maddox, „Flash flood forecasting: an ingredients-based methodology“, *Weather and Forecasting*, Bd. 11, Nr. 4, S. 560–581, 1996.
- [31] C. Volosciuk, D. Maraun, V. A. Semenov, N. Tilinina, S. K. Gulev, und M. Latif, „Rising Mediterranean Sea Surface Temperatures Amplify Extreme Summer Precipitation in Central Europe“, *Scientific Reports*, Bd. 6, Nr. 1, Okt. 2016, doi: 10.1038/srep32450.
- [32] S. Brönnimann, J. Rajczak, E. M. Fischer, C. C. Raible, M. Rohrer, und C. Schär, „Changing seasonality of moderate and extreme precipitation events in the Alps“, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Bd. 18, Nr. 7, S. 2047–2056, Juli 2018, doi: 10.5194/nhess-18-2047-2018.
- [33] O. Zolina, C. Simmer, A. Kapala, S. Bachner, S. Gulev, und H. Maechel, „Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very dense observational network“, *J. Geophys. Res.*, Bd. 113, Nr. D6, S. D06110, März 2008, doi: 10.1029/2007JD008393.
- [34] S. C. Scherrer, M. Begert, M. Croci-Maspoli, und C. Appenzeller, „Long series of Swiss seasonal precipitation: regionalization, trends and influence of large-scale flow: SWISS PRECIPITATION - REGIONALIZATION, TRENDS AND INFLUENCE OF FLOW“, *International Journal of Climatology*, Bd. 36, Nr. 11, S. 3673–3689, Sep. 2016, doi: 10.1002/joc.4584.
- [35] M. Hofstätter, A. Lexer, M. Homann, und G. Blöschl, „Large-scale heavy precipitation over central Europe and the role of atmospheric cyclone track types: HEAVY PRECIPITATION AND CYCLONE TRACKS“, *Int. J. Climatol.*, Bd. 38, S. e497–e517, Apr. 2018, doi: 10.1002/joc.5386.
- [36] M. Hofstätter u. a., „WETRAX – Weather Patterns, Cyclone Tracks and related Precipitation Extremes. Großflächige Starkniederschläge im Klimawandel in Mitteleuropa. Projektendbericht“, *Geographica Augustana*, Bd. 19, S. 240, 2015.
- [37] G. Pistotnik, P. Groenemeijer, und R. Sausen, „Validation of Convective Parameters in MPI-ESM Decadal Hindcasts (1971–2012) against ERA-Interim Reanalysis“, *metz*, Bd. 25, Nr. 6, S. 753–766, Dez. 2016, doi: 10.1127/metz/2016/0649.
- [38] J. Rajczak und C. Schär, „Projections of Future Precipitation Extremes Over Europe: A Multimodel Assessment of Climate Simulations: Projections of Precipitation Extremes“, *J. Geophys. Res. Atmos.*, Bd. 122, Nr. 20, S. 10,773–10,800, Okt. 2017, doi: 10.1002/2017JD027176.
- [39] M. Adinolfi, M. Raffa, A. Reder, und P. Mercogliano, „Evaluation and Expected Changes of Summer Precipitation at Convection Permitting Scale with COSMO-CLM over Alpine Space“, *Atmosphere*, Bd. 12, Nr. 1, S. 54, Dez. 2020, doi: 10.3390/atmos12010054.
- [40] K. M. Nissen, G. C. Leckebusch, J. G. Pinto, und U. Ulbrich, „Mediterranean cyclones and windstorms in a changing climate“, *Regional Environmental Change*, Bd. 14, Nr. 5, S. 1873–1890, Okt. 2014, doi: 10.1007/s10113-012-0400-8.
- [41] M. Messmer, J. J. Gómez-Navarro, und C. C. Raible, „Sensitivity experiments on the response of Vb cyclones to sea surface temperature and soil moisture changes“, *Earth System Dynamics*, Bd. 8, Nr. 3, S. 477–493, Juli 2017, doi: 10.5194/esd-8-477-2017.
- [42] G. Pistotnik, „Crowdsourced severe weather reports in a high-impact situation: a showcase and its implications to maximize their value and usability“, gehalten auf der 11th European Conference on Severe Storms, Krakow, Poland, 2019.
- [43] M. Hofstätter und G. Blöschl, „Vb cyclones synchronized with the Arctic-/North Atlantic Oscillation“, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Bd. published Mar, 26th 2019-early online, März 2019, doi: 10.1029/2018JD029420.
- [44] R. Kirnbauer, G. Pistotnik, und G. Blöschl, „Klimawandel als Herausforderung für die Wildbachverbauung“, *Wildbach- und Lawinenverbau*, Bd. 178, S. 58–77, 2016.
- [45] A. Dietrich und M. Krautblatter, „Evidence for enhanced debris-flow activity in the Northern Calcareous Alps since the 1980s (Plansee, Austria)“, *Geomorphology*, Bd. 287, S. 144–158, Juni 2017, doi: 10.1016/j.geomorph.2016.01.013.
- [46] M. Keiler, J. Knight, und S. Harrison, „Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps“, *Phil. Trans. R. Soc. A.*, Bd. 368, Nr. 1919, S. 2461–2479, Mai 2010, doi: 10.1098/rsta.2010.0047.
- [47] M. Pelfini und M. Santilli, „Frequency of debris flows and their relation with precipitation: A case study in the Central Alps, Italy“, *Geomorphology*, Bd. 101, Nr. 4, S. 721–730, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.geomorph.2008.04.002.
- [48] D. Rickenmann, *Methods for the quantitative assessment of channel processes in torrents (steep streams)*. London, UK: CRC Press/Balkema is an imprint of the Taylor & Francis Group, an Informa business, 2016.

- [49] N. Andres und A. Badoux, „The Swiss flood and landslide damage database: Normalisation and trends“, *J Flood Risk Management*, Bd. 12, Nr. S1, Okt. 2019, doi: 10.1111/jfr3.12510.
- [50] S. Fuchs, M. Keiler, S. Sokratov, und A. Shnyparkov, „Spatiotemporal dynamics: the need for an innovative approach in mountain hazard risk management“, *Nat Hazards*, Bd. 68, Nr. 3, S. 1217–1241, Sep. 2013, doi: 10.1007/s11069-012-0508-7.
- [51] R. Hock u. a., „High Mountain Areas“, in *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, und N. M. Weyer, Hrsg. 2019.
- [52] C. Harris u. a., „Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses“, *Earth-Science Reviews*, Bd. 92, Nr. 3–4, S. 117–171, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.earscirev.2008.12.002.
- [53] M. Stoffel, T. Mendlik, M. Schneuwly-Bollschweiler, und A. Gobiet, „Possible impacts of climate change on debris-flow activity in the Swiss Alps“, *Climatic Change*, Bd. 122, Nr. 1–2, S. 141–155, Jan. 2014, doi: 10.1007/s10584-013-0993-z.
- [54] R. Lugon und M. Stoffel, „Rock-glacier dynamics and magnitude–frequency relations of debris flows in a high-elevation watershed: Ritigraben, Swiss Alps“, *Global and Planetary Change*, Bd. 73, Nr. 3–4, S. 202–210, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.gloplacha.2010.06.004.
- [55] J. L. Wood, S. Harrison, T. A. R. Turkington, und L. Reinhardt, „Landslides and synoptic weather trends in the European Alps“, *Climatic Change*, Bd. 136, Nr. 2, S. 297–308, Mai 2016, doi: 10.1007/s10584-016-1623-3.
- [56] M. J. Crozier, „Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review“, *Geomorphology*, Bd. 124, Nr. 3–4, S. 260–267, Dez. 2010, doi: 10.1016/j.geomorph.2010.04.009.
- [57] K. Enigl, C. Matulla, M. Schlögl, und F. Schmid, „Derivation of canonical total-sequences triggering landslides and floodings in complex terrain“, *Advances in Water Resources*, S. 178–188, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.04.018>.
- [58] A. Gobiet, S. Kotlarski, M. Beniston, G. Heinrich, J. Rajczak, und M. Stoffel, „21st century climate change in the European Alps—A review“, *Science of The Total Environment*, Bd. 493, S. 1138–1151, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050.
- [59] M. Beniston, F. Keller, und S. Goyette, „Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies“, *Theoretical and Applied Climatology*, Bd. 74, Nr. 1–2, S. 19–31, Jan. 2003, doi: 10.1007/s00704-002-0709-1.
- [60] M. Beniston, „Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps“, *Journal of Hydrology*, Bd. 412–413, S. 291–296, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.06.046.
- [61] WMO, „The Beaufort scale of wind force (technical and operational aspects)“, *World Meteorological Organization (WMO)*, Genf, Schweiz, Report submitted by the President of the Commission for Maritime Meteorology to the WMO Executive Committee at its twenty-second session. Report on marine science affairs (MSA) 3, 1970.
- [62] F. Prettenthaler, H. Albrecher, J. Köberl, und D. Kortschak, „Risk and Insurability of Storm Damages to Residential Buildings in Austria“, *Geneva Pap Risk Insur Issues Pract*, Bd. 37, Nr. 2, S. 340–364, Apr. 2012, doi: 10.1057/gpp.2012.15.
- [63] C. Matulla, W. Schöner, H. Alexandersson, H. von Storch, und X. L. Wang, „European storminess: late nineteenth century to present“, *Climate Dynamics*, Bd. 31, Nr. 2–3, S. 125–130, Aug. 2008, doi: 10.1007/s00382-007-0333-y.
- [64] F. Feser, M. Barcikowska, O. Krueger, F. Schenk, R. Weisse, und L. Xia, „Storminess over the North Atlantic and Northwestern Europe - A Review“, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Bd. 141, S. 350–382, 2015, doi: DOI:10.1002/qj.2364.
- [65] C. Matulla u. a., „Meteorologische Extremereignisse - Stürme“, in *ExtremA 2019 - Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich*, Vienna University Press, 2020.
- [66] H. Bayer, „Wo der Föhnsturm am heftigsten blies: Am Feuersang in Gastein wurden 250 km/h gemessen“, *Salzburger Nachrichten*, Dez. 12, 2017.
- [67] G. Pistotnik, A. M. Holzer, R. Kaltenböck, und S. Tschannett, „An F3 downburst in Austria – A case study with special focus on the importance of real-time site surveys“, *Atmospheric Research*, Bd. 100, Nr. 4, S. 565–579, Juni 2011, doi: 10.1016/j.atmosres.2010.10.011.
- [68] R. W. Przybylinski, „The bow echo: Observations, numerical simulations, and severe weather detection methods“, *Weather and Forecasting*, Bd. 10, S. 203–218, 1995, doi: 10.1175/1520-0434(1995)010<0203:TBEONS>2.0.CO;2.
- [69] A. T. Rädler, P. Groenemeijer, E. Faust, und R. Sausen, „Detecting Severe Weather Trends Using an Additive Regressive Convective Hazard Model (AR-CHaMo)“, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Bd. 57, Nr. 3, S. 569–587, März 2018, doi: 10.1175/JAMC-D-17-0132.1.
- [70] J. Nemeč, C. Gruber, B. Chimani, und I. Auer, „Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenised dataset“, *International Journal of Climatology*, Bd. 33, Nr. 6, S. 1538–1550, Mai 2013, doi: 10.1002/joc.3532.
- [71] ZAMG, „Hitzewellen sind länger und häufiger geworden“, Aug. 03, 2018. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/hitzewellen-sind-laenger-und-haeufiger-geworden> (zugegriffen Feb. 23, 2021).

Waldbrandprävention, -bekämpfung und Nachbehandlung von Waldbrandflächen

Harald Vacik und Mortimer Müller

Stand des Wissens

Unkontrollierte Vegetationsbrände stellen ein weltweit zunehmendes Problem dar. Als Haupttreiber für das Auftreten und Verhalten von Waldbränden in Europa und im Alpenraum sind

- der Klimawandel in Verbindung mit höheren Temperaturen, Hitzewellen, längeren Trockenperioden, starkem Wind und abiotischen/biotischen Störungen sowie
- die sich ändernden sozioökonomischen Faktoren und eine extensive Waldbewirtschaftung zu nennen.

Derzeit treten in Österreich etwa 250 Waldbrände pro Jahr auf, mit einem Schwerpunkt im Frühjahr und Hochsommer. 85% aller Waldbrände werden direkt oder indirekt durch den Menschen ausgelöst. Als häufigste Brandursachen gelten weggeworfene Zigaretten, Feuer außer Kontrolle, ausgebrachte heiße Asche und

Brandstiftung. 15% der jährlichen Waldbrände in Österreich werden durch Blitzschläge ausgelöst. In den Sommermonaten kann der Anteil bis zu 50% betragen. Die meisten Waldbrände ereignen sich in Niederösterreich, Tirol, der Steiermark und Kärnten, wobei in den alpinen Landesteilen häufig Schutzwälder betroffen sind. Bei einem Großteil der österreichischen Waldbrände handelt es sich um kleinflächige Schwelbrände und Bodenfeuer geringer Intensität, die lediglich die Bodenvegetation verbrennen und eine Brandfläche von weniger als 0,3 Hektar aufweisen. Für österreichische Verhältnisse extreme Waldbrände (≥ 30 Hektar) treten im Schnitt alle fünf Jahre auf. In Südeuropa, aber auch im Alpenraum, gewinnt das Wildland-Urban-Interface (WUI) immer mehr an Bedeutung. Hierbei handelt es sich um jene Bereiche, bei denen die Vegetation direkt an Siedlungen und kritische Infrastrukturen grenzt, wodurch eine hohe Entstehungsgefahr mit einem hohen



SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

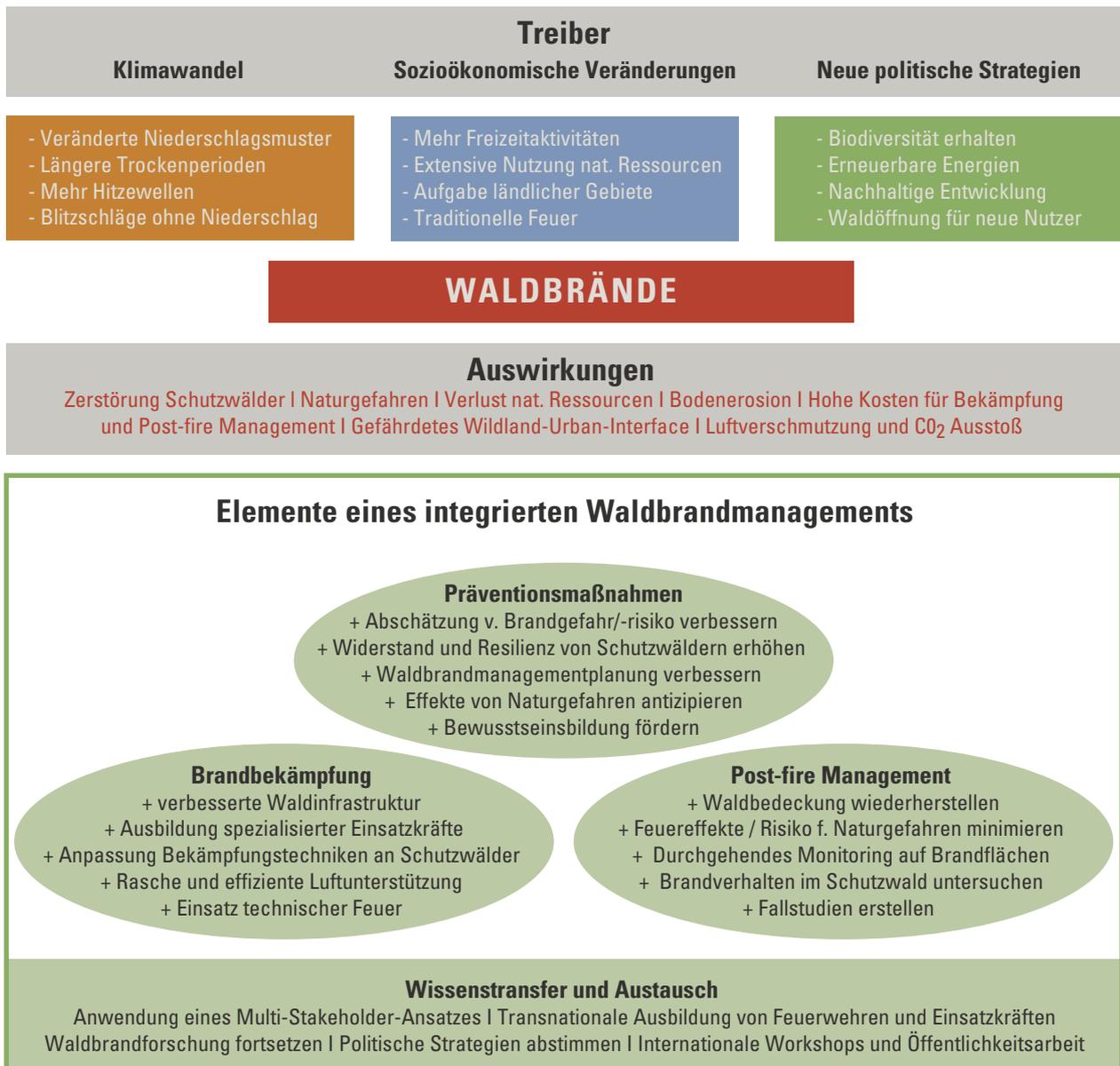


Abbildung 1: Elemente eines integrierten Waldbrandmanagements, adaptiert für österreichische Verhältnisse

Schadenspotenzial zusammenfällt. Für die umfassende Behandlung der Waldbrandthematik im Alpenraum wird von den politischen Entscheidungsträgern, den Einsatzorganisationen, den Behörden und der Waldbrandforschung ein integriertes Waldbrandmanagement mit Maßnahmen zur Prävention, zur Brandbekämpfung sowie zur Nachbehandlung von Brandflächen angestrebt (Abbildung 1). Hierbei sollen sowohl die Treiber für das Auftreten von Waldbränden als auch deren mögliche Auswirkungen berücksichtigt und der Wissenstransfer zwischen den Akteuren unterstützt werden.

Defizite

In Österreich werden derzeit kaum Maßnahmen zur Waldbrandprävention umgesetzt. Besonders wichtig sind eine verbesserte Abschätzung der Waldbrandgefahr und des Waldbrandrisikos und gezielte Maßnahmen zum Schutz gefährdeter Schutzwälder, um die Bewaldung sicherzustellen und Naturgefahren zu vermeiden. Es fehlen zielgerichtete waldbauliche Maßnahmen zur Waldbrandvermeidung oder zur Senkung des Waldbrandrisikos, wie z. B. eine geänderte Baumartenwahl, kontrolliertes Abbrennen von Brenn-

material in Hochrisikogebieten und angepasste Pflegemaßnahmen. Neben der Abstimmung mit Naturschutzaktivitäten, wobei hier die Verteilung von Totholz mengen eine große Rolle spielt, sind eine aktive, zielgruppen- und mediengerechte Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit zur Steuerung des Verhaltens von Touristen und Erholungssuchenden entscheidend.

In Österreich fehlen die empirischen Grundlagen zum Verhalten von Waldbränden in unterschiedlichen Vegetationstypen im Gebirge. Speziell sollten die verfügbaren Brennstoffmengen und die Vegetationsstruktur im Schutzwald explizit erfasst werden. Daneben benötigt es eine räumlich hochaufgelöste und umfassende Risikobewertung mit Einbezug der Vulnerabilität von Wäldern, Siedlungen und Infrastrukturen, um Präventionsmaßnahmen im Schutzwald priorisieren zu können. Hierfür müssen auch Wasserentnahmestellen und Löschteiche, Landeplätze für Hubschrauber sowie die Walderschließung erfasst werden. Waldfachpläne mit Berücksichtigung der Thematik Waldbrand existieren in Österreich nur vereinzelt und beziehen keine Vulnerabilität, klimatischen Veränderungen oder Extremszenarien mit ein.

Bei der Restaurierung von Waldbrandflächen nach großflächigen, die Vegetationszusammensetzung verändernden Waldbränden, fehlen Erfahrungswerte für eine kosteneffektive und sinnvolle Vorgehensweise zur Sicherstellung der Wiederbewaldung und Schutzwirkung. Demonstrationsflächen sollten angelegt werden, um langfristige Erfahrungen durch ein integrales Monitoring hinsichtlich Mortalität, Wiederbewaldung, Erosion, etc. sammeln zu können. Bei Extrembränden oder dem gleichzeitigen Auftreten mehrerer Großbrände kann es in Zukunft erforderlich sein, die Einsatzplanung, Einsatzsicherung sowie die Bekämpfungsstrategien der Einsatzkräfte zu adaptieren. Darunter fallen eine angepasste Ausrüstung, mehr Spezialkräfte oder der Einsatz von technischen Feuern zur Brandbekämpfung. Die Entwicklung von regionalen Konzepten zur Waldbrandbekämpfung unter Berücksichtigung des WUI und der Vulnerabilität ist somit vordringlich.

Forschungsthemen

Aufgrund des skizzierten Stands des Wissens und der Defizite, lassen sich folgende Forschungsbereiche definieren:

Waldbrandgefahr und Risiko:

- Analyse der räumlichen und zeitlichen Veränderung der Waldbrandgefahr unter Berücksichtigung des Klimawandels und eine integrierte Abschätzung des Waldbrandrisikos auf der Basis von Entstehungsgefahr, Waldbrandverhalten und Vulnerabilität von Wäldern, Siedlungen und Infrastrukturen.
- Analyse der Bedeutung des Wildland-Urban-Interface (WUI) und die Entwicklung von Extremszenarien für die Waldbrandprävention und bei der Waldbrandbekämpfung sowie die Erarbeitung geeigneter Maßnahmen.

Waldbrandverhalten:

- Untersuchung des Waldbrandverhaltens und der Vulnerabilität österreichischer Waldgesellschaften mithilfe eines Waldbrandsimulators für Gebirgswälder und Abschätzung von Kaskadeneffekten (z. B. Sturm – Borkenkäfer – Waldbrand – gravitative Naturgefahren).

Waldbrandprävention:

- Evaluierung von präventiven waldbaulichen Maßnahmen im Schutzwald hinsichtlich der Bedeutung der Baumartenwahl und der Bestandesstruktur für die Entstehung und Ausbreitung von Waldbränden.
- Analyse der unterschiedlichen Zielpräferenzen und der Bedeutung von Waldfunktionen für die Ableitung von Maßnahmen zur Waldbrandprävention und Möglichkeiten zur Schaffung geeigneter rechtlicher Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Multifunktionalität der Wälder.

Literatur

- Conedera, M; Krebs, P; Valese, E; Cocca, G; Schunk, C; Menzel, A; Vacik, H; Cane, D; Japelj, A; Muri, B; Ricotta, C; Oliveri, S; Pezzatti, GB (2018) Characterizing Alpine pyrogeography from fire statistics.. *Applied Geography*, 98, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.011>
- Müller M.M., Vacik H., Diendorfer G., Arpaci A., Formayer H., Gossow H., (2013). Analysis of lightning-induced forest fires in Austria. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1/2), S. 183–193.
- Müller M.M., Vacik H., Valese E., (2015). Anomalies of the Austrian Forest Fire Regime in Comparison with Other Alpine Countries: A Research Note. *Forests*, 2015(6), S. 903–913.
- Müller M.M., Vilà-Vilardell L., Vacik H. (2020): Waldbrände in den Alpen – Stand des Wissens, zukünftige Herausforderungen und Optionen für ein integriertes Waldbrandmanagement. Vollständig überarbeitete deutsche Fassung des Originals: Forest fires in the Alps – State of knowledge, future challenges and options for an integrated fire management. EUSALP Action Group 8.
- Sass O. (Hrsg.), (2019). Waldbrände in den Nordtiroler Kalkalpen. *Innsbrucker Geographische Studien* Bd. 41.
- Vacik H., Arndt N., Arpaci A., Koch V., Müller M.M., Gossow H., (2011). Characterisation of forest fires in Austria. *Austrian Journal of Forest Science*, 128(1), S. 1–32.
- Vacik, H; Müller, MM; Degenhart J; Sass, O (2020): Auswirkungen von Waldbränden auf die Schutzfunktionalität alpiner Wälder. In: Glade, T; Mergili, M; Sattler K (Hrsg.), *ExtremA 2019 - Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich*, 174-201; V&R Unipress, Vienna University Press, 1. Auflage, Wien; ISBN 978-3-7370-109
- Valese E., Conedera M., Held A.C., Ascoli D., (2014). Fire, humans and landscape in the European Alpine region during the Holocene. *Anthropocene*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2014.06.006>
- Wastl C., Schunk C., Leuchner M., Pezzatti G.B., Menzel A., (2012). Recent climate change: Long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology* 162-163, 1-13.

Forstschutz im Schutzwald – biotische Schadfaktoren (Insekten, Pilze, Eipilze)

Gernot Hoch, Thomas Kirisits, Peter Baier und Thomas Cech

Zustand und Stand des Wissens

Änderungen der klimatischen Bedingungen können für die Baumarten im Schutzwald zu vermehrtem abiotischen Stress führen, die Lebensbedingungen für Schadorganismen verändern und deren Wechselwirkungen mit den Wirtsbäumen modifizieren (Lexer et al. 2014; Hoch et al. 2019). Aufgrund des Klimawandels ist zukünftig

vermehrt damit zu rechnen, dass Waldbestände auf Standorten stocken, die mit den ökologischen Ansprüchen der Baumarten nicht übereinstimmen. Das fördert das Auftreten von Schadorganismen, wobei neben bereits bekannten Verursachern auch mit Schädigungen durch bisher unauffällige Krankheitserreger und Insekten zu rechnen ist. Neben Schädigungen, deren Ursache-Folge-Wirkungen schon bekannt

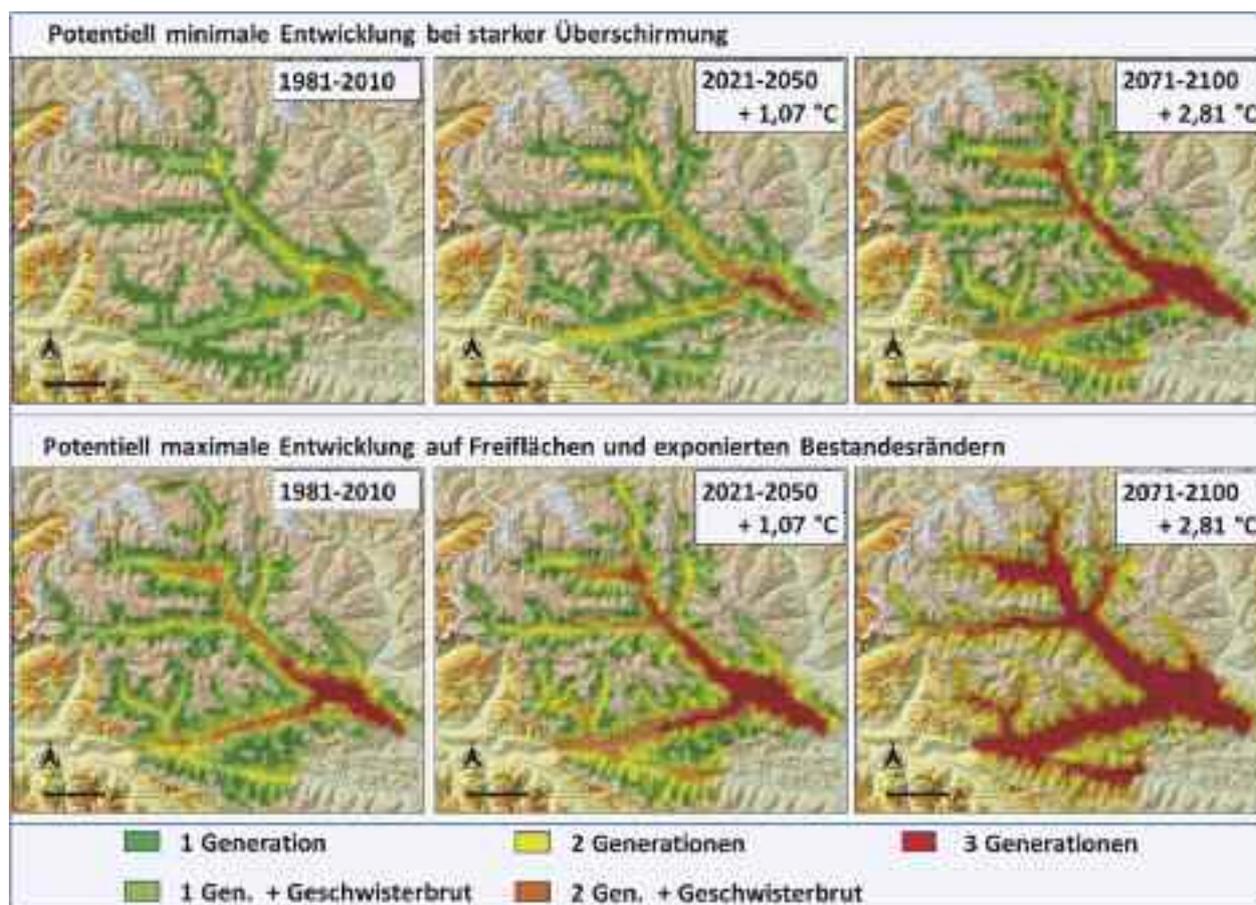


Abbildung 1: Generationsentwicklung des Buchdruckers (*Ips typographus*) bei unterschiedlichen Klimaszenarien am Beispiel Osttirols: Auch in größerer Seehöhe nimmt die Zahl möglicher Generationen des Buchdruckers bei der anhand des regionalen Klimamodells ALADIN projizierten Klimaänderung zu. Damit ist auch in höheren Lagen stark ansteigender Befallsdruck zu erwarten (aus: Schopf et al. 2016).



Abbildung 2: Der Sechszählige Kiefernborkekäfer (*Ips acuminatus*) brachte Kiefern auf einem steilen, felsigen Hang zum Absterben. Steinschlagnetze müssen die verlorene Schutzwirkung kompensieren.

oder relativ leicht zu erklären sind, könnten bisher beispiellose Komplexkrankheiten bzw. komplexe Krankheitsphänomene eine Folge des Klimawandels sein. Dabei wirken abiotische und biotische Faktoren zusammen, ohne dass Schädigungen monokausal auf eine Ursache zurückzuführen sind. Invasive Schadorganismen – eingeschleppt durch internationalen Waren- oder Personenverkehr oder eingewandert in Folge der Klimaänderung – setzen viele Baumarten unter Druck (Kirisits 2010; Lexer et al.

auch in den Hochlagen stark zunehmen wird (Abbildung 1). Ein erhöhtes Brutholzangebot nach abiotischen Schadereignissen fördert Borkenkäferkalamitäten. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Entwicklung des Buchdruckers ist gut untersucht und findet in Form von Modellen in der Forstschutzpraxis Anwendung (Baier et al. 2007, Jakoby & Wermelinger 2016, Ogris et al. 2019). Aber auch an Tanne und Kiefern sorgten Borkenkäfer in den letzten Jahren nach extremer Trockenheit für erhöhte

2014). Ein effektives Schädlingsmanagement erfordert insbesondere durch die vielfältigen Ansprüche an die Funktionen des Schutzwaldes und durch häufig erschwerte Zugänglichkeit der Flächen einen hohen Aufwand.

In den letzten Jahren manifestierten sich Auswirkungen des Klimawandels in Form von Massenvermehrungen verschiedener Borkenkäferarten (Hoch & Steyrer 2020). An der Fichte profitierte der Buchdrucker (*Ips typographus*) von durch Trockenheit geschwächten Wirtsbäumen und schnellerer Entwicklung bei höheren Temperaturen, auch in Hochlagen zeigte sich eine Zunahme der Generationen pro Jahr und damit ein steigendes Vermehrungspotential (Schopf et al. 2019). Weiter steigende Temperaturen in Folge der Klimaänderung lassen erwarten, dass durch früheren Schwärmbeginn im Frühjahr, bessere Bedingungen für die Brutentwicklung im Sommerhalbjahr und längere Entwicklungsmöglichkeiten im Herbst das Vermehrungspotenzial der Borkenkäfer und somit das Risiko für das Entstehen einer Massenvermehrung mit Stehendbefall

SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

Baummortalität. Tannenborkenkäferarten (*Pityokteines* spp.) führten in Vorarlberg zu außergewöhnlich hohen Ausfällen bei Tannen im Jahr 2019 (Steyrer et al. 2020). An Kiefern sorgte vor allem der Sechszählige Kiefernborkekäfer (*Ips acuminatus*) im Osten Österreichs für hohe Baummortalität (Steyrer et al. 2020). Eine Massenvermehrung in einem steilen Steinschlagschutzwald in Kärnten demonstrierte das Schädigungspotential dieser Art sehr eindrücklich (Krehan 2011; und Abbildung 2). Auch *I. acuminatus* wird sehr wahrscheinlich von steigenden Temperaturen profitieren (Colombardi et al. 2012).

Die Bedeutung von Wundfäulen (bedingt durch Schäl-, Ernte- und Steinschlagschäden) ist seit Jahrzehnten unvermindert hoch. Wurzel- und Stammfäulen sind insbesondere in überalterten Schutzwäldern bedeutende Mortalitätsfaktoren bzw. wirken prädisponierend für abiotische und biotische Störungen. Zur biologischen Kontrolle

des Wurzelschwamms (*Heterobasidion annosum*) gibt es erfolgversprechende Untersuchungen (Cech et al. 2008, Müller 2015), die aber in Österreich bislang keine Umsetzung in die Praxis fanden. Das gilt in ähnlicher Weise für das integrierte Management dieses wichtigen Wurzelfäuleerregers. Zahlreiche weitere Baumkrankheiten, die durch klimatische Faktoren stark beeinflusst werden, können Hochlagenaufforstungen massiv beeinträchtigen bzw. ein erhebliches Hindernis für die natürliche Verjüngung darstellen.

In den Alpen verursachen Kiefern- (*Viscum album* ssp. *austriacum*) und Tannenmistel (*Viscum album* ssp. *abietinum*) gebietsweise starke Schädigungen an ihren Wirtsbaumarten, vor allem in lichten Waldbeständen und auf trockenen Standorten, wo sie insbesondere nach Trockenperioden zum Absterben von Bäumen beitragen können (Cech und Perny 1998; Lexer et al. 2014). Sie sind auch an komplexen Krank-



Abbildung 3: Starker Befall von Latschen in einem Schutzwald mit der Lecanosticta-Nadelbräune (Erreger: *Lecanosticta acicola*). Der Nadelverlust kann bis zum Absterben von Pflanzen führen.

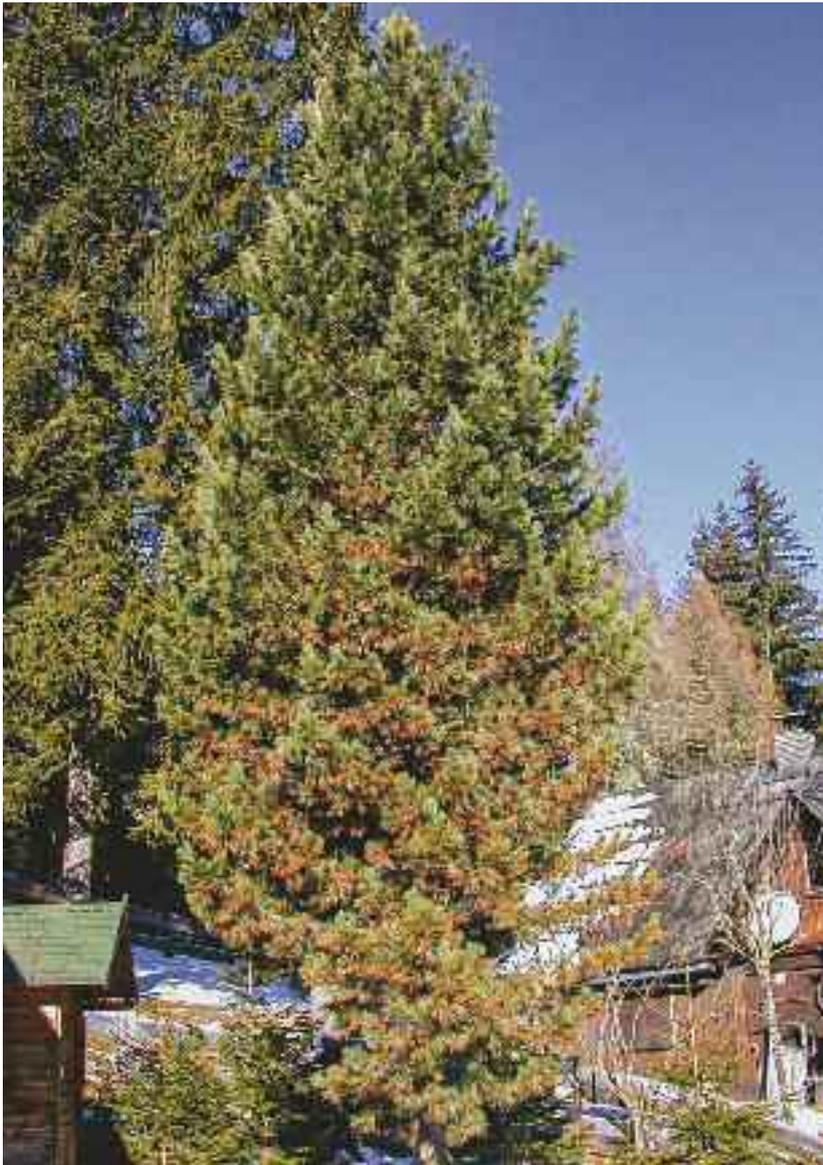


Abbildung 4: Starker Befall einer Zirbe mit der *Dothistroma*-Nadelbräune (Erreger: *Dothistroma septosporum*), einer Nadelkrankheit, die vermehrt auch in Hochlagen zu beobachten ist.

heitsphänomenen beteiligt. Misteln haben hohe Licht- und Wärmeansprüche und es ist aufgrund des Klimawandels zu erwarten und teilweise schon dokumentiert, dass sich ihre Verbreitungsgebiete ausdehnen (v.a. auch in größere Seehöhen) sowie ihre Häufigkeit und Bedeutung als Schädigungs- und Störungsfaktor zunehmen werden (Lexer et al. 2014).

Nicht heimische, invasive Pathogene und Insekten stellen auch für Schutzwälder eine Gefahr dar. Temperaturerhöhung ermöglicht das Einwandern bzw. die Etablierung neuer Arten. Die Holländische

Ulmenwelke (Kirisits & Konrad 2004, 2006) oder das Eschen (trieb)sterben (Heinze et al. 2017; Kirisits et al. 2021) bedrohen wichtige Baumarten in ihrer Existenz. In den letzten Jahren zeigte die *Lecanosticta*-Nadelbräune (Erreger: *Lecanosticta acicola*) eine vermehrte Ausbreitung mit starken Schadaufreten an Spirken und Latschen in Schutzwäldern (Abbildung 3), wobei auch das Absterben von Bäumen nach mehrjähriger Erkrankung dokumentiert ist (Cech & Brandstetter 2017; Weinmar & Traxl 2018). Die *Dothistroma*-Nadelbräune (Erreger: *Dothistroma septosporum*) (Abbildung 4) nahm vor allem an Zirbe aber auch Latsche zu (Kirisits & Cech 2007; Kirisits et al. 2013; Drenkhan et al. 2016). Bei diesem Krankheitserreger ist nachgewiesen, dass er durch warmfeuchtes Klima, das Sporulation, Infektion und parasitische Ausbreitung im Gewebe der Wirtspflanzen fördert, begünstigt wird (Drenkhan et al. 2016). Das *Diplodia*-Kieferntriebsterben (Erreger: *Diplodia sapinea*) ist gegenwärtig ein wichtiger Krankheitserreger an der Schwarzkiefer im Osten

Österreichs (Kirisits 2010; Hoch et al. 2016). Dieser Klimawandel-Gewinner wird durch Temperaturerhöhung und Trockenheit gefördert. Der Erreger könnte zukünftig auch in alpine Gebiete vordringen und dort neben der Schwarzkiefer vermehrt auch Waldkiefer, Latsche und vielleicht sogar Zirbe schädigen.

Phytophthora-Arten sind als bestandesbedrohende Erreger von Feinwurzelkrankheiten und Wurzelhalsfäulen bekannt (Jung et al. 2013). In den letzten Jahren wurden weltweit zahlreiche neue Arten dieser Gattung von ver-

SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

schiedenen Wirtsbäumen beschrieben. Studien zeigen die weite Verbreitung dieser Pathogene insbesondere auch an Pflanzenmaterial (Jung et al. 2016). In Gebirgs- und Schutzwäldern sind beispielsweise *Phytophthora alni* (Erreger der Phytophthora-Wurzelhalsfäule der Erle) an Grauerle sowie *Phytophthora plurivora*, *P. cambivora* und andere Arten an Rotbuche wichtige Krankheitserreger. Welche Pathogene oder Schadinsekten künftig eingeschleppt werden, kann kaum vorhergesagt werden; mit einigen Arten wie dem Asiatischen Eschenprachtkäfer (*Agilus planipennis*) ist aber jedenfalls in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten zu rechnen (Hoch & Evans 2018).

Defizite

Die Wirkung klimatischer Faktoren, die Wechselwirkung mit dem Wirtsbaum sowie der Zusammenhang mit Standorts- bzw. Bestandesfaktoren sind nur bei wenigen Schadorganismen hinreichend bekannt. Diese Kenntnisse bilden jedoch die Basis für die (Weiter-)Entwicklung von Managementkonzepten und -werkzeugen. Im Falle nicht heimischer, invasiver Arten sind darüber hinaus die Klärung möglicher Einschleppungspfade und der Mechanismen der Ausbreitung sowie die Überwachung und Dokumentation der räumlich-zeitlichen Ausbreitung von großer Bedeutung.

Forschungsthemen

Borkenkäfermassenvermehrungen im Schutzwald

- Analyse der durch Klimawandel bedingten Veränderungen trophischer Interaktionen (Wirtsbaum – Schaderreger – Antagonistenkomplex) in nadelholzdominierten Schutzwäldern und des abiotischen Störungsregimes

- Schaffung von flächendeckenden Datengrundlagen (Wald – Boden – Klima) zur Erstellung von Modellen zur Abschätzung der Gefährdung durch Borkenkäfer und der Befallsausbreitung als Entscheidungsgrundlage für das zukünftige Schutzwaldmanagement
- Evaluierung von Totholzbeständen nach Borkenkäferbefall hinsichtlich Schutzwirksamkeit gegenüber Naturgefahren, Boden- und Humusschutz, Resilienz (Verjüngung) und Biodiversität im Schutzwald
- Evaluierung, Adaptierung und Neuentwicklung von Forstschutzroutinen, Monitoring- und Bekämpfungsmaßnahmen gegen Borkenkäfermassenvermehrungen, insbesondere in schwer zugänglichen Gebirgsschutzwäldern

Phytopathogene Pilze und Misteln im Schutzwald

- Wurzel- (v.a. *Heterobasidion* spp. und *Armillaria* spp.) und Stammfäulen (z.B. *Stereum sanguinolentum*): Analyse des Vorkommens und der Vorschädigungen, Auswirkungen auf Bestandesstabilität gegenüber Sturm- und Schneeeinwirkung, Trockenheitsresistenz und Interaktion mit anderen biotischen Schadfaktoren (z.B. Borkenkäferbefall), Entwicklung integrierter Managementkonzepte (z.B. Baumarten- und Standortwahl, Vermeidung mechanischer Schäden, Zeitpunkt der Holzernte, biologische und chemische Stockbehandlung, Technik der Bestandesbegründung)
- klimatisch gesteuerte Epidemien (Zirben- und Lärchentriebsterben, Lärchenkrebs) in Hochlagenaufforstungen unter Berücksichtigung standörtlicher und mikroklimatischer Gegebenheiten bei der Bestandesbegründung
- klimatisch bedingte Änderungen der Infektionsvoraussetzungen bei einheimischen Nadelpathogenen (z.B. Fichtennadelrost) und Bedeutung der Wirtsbaumresistenz
- Erhöhung der Anfälligkeit gegenüber Wind- und Schneewurf/-bruch durch unsachgemäße Aufforstungspraktiken und Wahl nicht geeigneter Provenienzen (Lärchenkrebs)

SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

- Monitoring des Auftretens und der Krankheitsintensität von Kiefern- und Tannenmistel in Gebirgs- und Schutzwäldern

Invasive Arten und Neobiota – neue biotische Schadfaktoren im Schutzwald

- invasive Nadelpathogene als Schadfaktoren an Kiefernarten (Erreger der Lecanosticta- und Dothistroma-Nadelbräune), Monitoring der Krankheitsintensität auf permanenten Beobachtungsflächen, Untersuchung der befallsfördernden Wirkung von Klima- und Standortfaktoren und der Ausbreitungsmechanismen
- Monitoring des Vorkommens und der Wirtsbaumarten von *Diplodia sapinea*, dem Erreger des Diplodia-Triebsterbens der Kiefer, um dessen mögliche räumliche Ausbreitung und Erweiterung des Wirtsbaumspektrums zu dokumentieren
- *Phytophthora*-Arten als bestandesbedrohende Erreger von Wurzelhalsfäulen bei Schutzwaldbaumarten, wie z.B. Erlenarten und Rotbuche
- Krankheitsverlauf und Intensität des Eschenriebsterbens auf unterschiedlichen Standorten, Auslese von krankheitsresistenterem Vermehrungsgut (Unger et al. 2020; Kirisits et al. 2021), künftige Bedrohung durch den Asiatischen Eschenprachtkäfer
- Einwanderung des Pinienprozessionsspinners in Südösterreich infolge höherer Wintertemperaturen; Ausbreitung könnte zu mehrjährigen Schädigungen und infolge sogar zum Absterben von Kiefern insbesondere an steilen, sonnigen Schutzwaldstandorten führen

Literatur

- Baier, P., Pennerstorfer, J., Schopf, A. 2007: PHENIPS-A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management* 249, 171-186.
- Cech, T., Perny, B. 1998: Kiefernsterben in Tirol. *Forstschutz Aktuell* (Wien) 22, 12-15.
- Cech, T.L., Steyrer, G., Lakomy, P. 2008: Preliminary results of Norway spruce stump treatment with *Hypholoma fasciculare* und *Phlebiopsis gigantea* in an Austrian Alpine protection forest. In: Garboletto, M., Gonthier, P. (Eds.): *Proceedings of the 12th International Conference on Root and Butt Rots of Forest Trees*. Berkley, California - Medford, Oregon, 12.-19.8.2007. The University of California, Berkeley, USA, 192-194.
- Cech, T.L., Brandstetter, M. 2017: Die Lecanosticta-Nadelbräune. *Forstzeitung* (Wien) 128, 4-5.
- Colombardi, F., Battisti, A., Schroeder, L.M., Faccoli, M. 2012: Life-history traits promoting outbreaks of the pine bark beetle *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in the south-eastern Alps. *European Journal of Forest Research* 131, 553-561.
- Drenkhan, R., Tomešová-Haataja, V., Fraser, S. et al. 2016: Global geographic distribution and host range of *Dothistroma* species: a comprehensive review. *Forest Pathology* 46, 408-442.
- Heinze, B., Tiefenbacher, R., Litschauer, R., Kirisits, T. 2017: Ash dieback in Austria – history, current situation and outlook. In: Vasaitis, R., Enderle, R. (Eds.), *Dieback of European Ash (*Fraxinus* spp.) – Consequences and Guidelines for Sustainable Management*. SLU Service/Repro, Uppsala, ISBN 978-91-576-8696-1, 33-52.
- Hoch, G., Cech, T.L., Perny, B. 2016: Die Profiteure vom Wald ohne Wasser: Warum Trockenheit Borkenkäfer, Triebsterbenspilze und andere Schadorganismen begünstigt. *BFW Praxisinformation* 40, 9-11.
- Hoch, G., Evans, H. 2018: Internationale Konferenz „Preparing Europe for invasion by the beetles emerald ash borer and bronze birch borer“, Wien, 1.-4. Oktober 2018. *Forstschutz Aktuell* (Wien) 65, 38-44.
- Hoch, G., Schopf, A., Weizer, G. (Eds.) 2019: *Der Buchdrucker - Biologie, Ökologie, Management*. Bundesforschungszentrum für Wald, Wien. 208 pp.
- Hoch, G., Steyrer, G. 2020: Zunehmende Schäden durch Borkenkäfer im Klimawandel. *CCCA Fact Sheet* 31. https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/02_Klimawissen/FactSheets/31_zunehmende_schaeden_durch_borkenkaefer_20200806.pdf
- Jakoby, O., Wermelinger, B. 2016: *Simulation der Buchdrucker-Entwicklung in der Schweiz*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. www.borkenkaefer.ch
- Jung, T., Vettraino, A.M., Cech, T., Vannini A. 2013: The Impact of invasive *Phytophthora* species on European forests. In: Lamour, K. (Ed.): *Phytophthora – a global perspective*. CABI Plant Protection Series, 146-158.
- Jung, T., Orlikowski, L., Henricot, B. et al. 2016: Widespread *Phytophthora* infestations in European nurseries put forest, semi-natural and horticultural ecosystems at high risk of *Phytophthora* diseases. *Forest Pathology* 46, 2, 134-163.

SCHUTZWALD – KLIMAWANDEL

- Kirisits, T. 2010. Eingeschleppte Krankheitserreger an Waldbäumen und Klimawandel. In: Rabitsch, W., Essl, F. (Eds.): Aliens. Neobiota und Klimawandel. Eine verhängnisvolle Affäre? Bibliothek der Provinz, Weitra, ISBN 978-3-900000-81-3, 59-69.
- Kirisits, T., Konrad, H. 2004. Dutch elm disease in Austria. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales (Forest Resources and Systems)* 13, 81-92.
- Kirisits, T., Konrad, H. 2006. Die Holländische Ulmenwelke in Österreich – Ein Beitrag anlässlich der Wahl der Ulme zum „Baum des Jahres 2006“ in Österreich. *Forstschutz Aktuell (Wien)* 38, 20-23.
- Kirisits, T., Cech, T. L. 2007: Auffälliges Vorkommen der *Dothistroma*-Nadelbräune an Zirben im oberen Murtal. *Forstschutz Aktuell (Wien)* 41, 13-15.
- Kirisits, T., Halmschlager, E., Hintsteiner, M., Barnes, I., Cech, T. 2013: *Dothistroma* needle blight and brown spot needle blight in Austria – a review. In: Mendel University (Ed.): Abstracts of the Conference of IUFRO Working Party 7.02.02 Foliage, shoot and stem diseases of forest trees, “Biosecurity in natural forests and plantations, genomics and biotechnology for biosecurity in forestry”, Brno and Černa Horá, Czech Republic, 20-25 May 2013, 131-132.
- Kirisits, T., Klumpp, R., Freinschlag, C. et al. 2021. Resistenz gegen das Eschentriebsterben als Perspektive zur Erhaltung der Esche. In: Leitner, T., Horvath, E. (Eds.): Österreichisches Forst-Jahrbuch 2021, Österreichischer Agrarverlag, Wien; ISBN: 978-3-7040-2516-6, S. 168-171.
- Krehan, H. 2011: Borkenkäferprobleme bei Kiefern in einem Steinschlagschutzwald in Kärnten. *Forstschutz Aktuell (Wien)* 53, 2-4.
- Lexer, M.J., Rabitsch, W., Grabherr, G. et al. 2014. Der Einfluss des Klimawandels auf die Biosphäre und Ökosystemleistungen. In: Austrian Panel on Climate Change (APCC): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, ISBN 978-3-7001-7699-2, 467-556.
- Müller, R. 2015: Evaluating the persistence of *Phlebiopsis gigantea* in Norway spruce stumps after root rot protection treatment in a subalpine forest in Tyrol. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Ogris, N., Ferlan, M., Hauptman, T., Pavlin, R., Kavčič, A., Jurc, M., de Groot, M. 2019. RITY – A phenology model of *Ips typographus* as a tool for optimization of its monitoring. *Ecological Modelling* 410, 108775.
- Schopf, A., Baier, P., Pennerstorfer, J. 2016. Erstellung von Risikoprofilen für ausgewählte Schutzwaldgebiete des Ostalpenraums (Österreich und Südtirol) in Bezug auf die Störungsregime Sturm/Schneebruch/Dürre – Borkenkäferbefall – Waldbrand und Klimawandel. Endbericht von Start-Clim2015.E. In: StartClim2015: Weitere Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, ÖBf, Land Oberösterreich, 47 pp.
- Schopf, A., Schebeck, M., Kirisits, T. 2019: Biologie des Buchdruckers. In: Hoch, G., Schopf, A. Weizer, G. (Eds.): Der Buchdrucker - Biologie, Ökologie, Management. Bundesforschungszentrum für Wald, Wien. 9-56.
- Steyrer, G., Cech, T.L., Fürst, A., Hoch, G., Perny, B. 2020: Waldschutzsituation 2019 in Österreich: Schäden durch Borkenkäfer weiter extrem hoch. *Forstschutz Aktuell (Wien)* 64, 33-44.
- Unger, G. M., Konrad, H., Geburek, T., Schwanda, K., Kirisits, T. 2020. „Esche in Not“: Es geht weiter! *Forstzeitung (Wien)* 131 (06-2020), 16-17.
- Weinmar, M., Traxl, P. 2018: Untersuchungen von *Lecanosticta*- und *Dothistroma*-Befall im Karwendeltal. Diplomarbeit an der Höheren Bundeslehranstalt für Forstwirtschaft, Bruck an der Mur (unveröffentlicht).





Schutzwald – gesellschaftliche Aspekte

Governance von Nutzungskonflikten

Gerhard Weiß und Karl Hogl

Herausforderungen und Ziele

Im Aktionsprogramm Schutzwald „Wald schützt uns“ werden folgende Herausforderungen genannt, die sich auf Nutzungskonflikte beziehen und für deren Regelung von besonderer Bedeutung sind:

- Klimawandel-Adaption „klimafiter Schutzwald“;
- Schutzwald kostet Geld – was sind mögliche Finanzierungsquellen?
- Konflikte zwischen verschiedenen Nutzungen: zunehmende Freizeitnutzung vs. Lebensraum der Wildtiere und Arbeitsplatz der WaldbewirtschafterInnen;

Weiters sprechen die Leitlinien folgende Themen und Ziele mit unmittelbarer Relevanz von bzw. für Schutzwald-Governance an:

- Priorisierung des Schutzzweckes
- Öffentliches Bewusstsein
- Beteiligung der Akteure an Entscheidungen und Maßnahmen
- Attraktivierung der Schutzwaldbewirtschaftung für WaldeigentümerInnen
- Sektorübergreifende Politikkoordination
- Engagement für eine europäische Schutzwaldpolitik

Dieses Kapitel stellt den Stand des Wissens hinsichtlich der Fragen dar, inwieweit verschiedene Nutzungsansprüche im Schutzwald in Konflikt stehen und wie sie geregelt werden können, welche Regelungs- bzw. Governance-Ansätze mit welchem Erfolg zum Einsatz kommen, welche Lücken oder Schwächen wissenschaftlich identifiziert und welche Verbesserungserfordernisse abgeleitet wurden. Spezifische raumplanerische Regelungsansätze werden im Kapitel „Raumordnerische Ansätze in der Schutzwaldpolitik“ behandelt.

Ein besonderes Augenmerk ist auf die neuen Herausforderungen durch den Klimawandel und gesellschaftliche Veränderungen zu legen, etwa hinsichtlich verschiedenster Freizeitnutzungen in Schutzwäldern, neuer Entwicklungen in verschiedenen Politikfeldern (zB Natura 2000) oder geänderter wirtschaftlicher Rahmenbedingungen.

Grundlagen – Nutzungskonflikte und Governance

Problemaufriss

Seit den 1970er-Jahren wurde zunehmend deutlich, dass Schutzwälder in Österreich vielerorts in keinem ausreichend guten Zustand sind, um die vielfältigen Wirkungen zu erfüllen, die gewünscht werden, wobei in erster Linie der Schutz vor Naturgefahren von herausragender Bedeutung ist, zumal es dabei um Leben und beträchtliche Werte geht (Glück und Weber, 1998; Weiss, 1998). In der Schutzwaldpolitik wurden seither vielfältige Maßnahmen gesetzt, um den Schutzwaldzustand zu verbessern, u.a. durch Schutzwaldsanierungsförderungen, Integralmeliorationsprojekte und flächenwirtschaftliche Projekte des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinverbauung (WLV), Initiativen zur „Belebung“ der Bannwaldregelungen, oder auch die Einrichtung von Schutzwaldplattformen und das Etablieren von Schutzwaldpartnergemeinden. Die Erfolge dieser Anstrengungen waren von sehr unterschiedlichem und insgesamt unzufriedenstellendem Erfolg, wobei die Hindernisse sowohl in komplexen natürlichen Zusammenhängen als auch in komplexen Interessenslagen bzw. -konflikten zu

suchen sind. Das Aktionsprogramm Schutzwald nennt dazu sehr treffend Konflikte zwischen verschiedenen Nutzungen als wesentliche Herausforderungen, ebenso wie die Frage der Finanzierung von Maßnahmen zur Schutzwaldpflege. Für diese altbekannten Probleme sind nach wie vor effektive Lösungen zu suchen.

Hinzu kommen neue Herausforderungen, insbesondere durch den Klimawandel und vielfältige gesellschaftliche Veränderungen. Seit Jahren wird erkennbar, dass durch die steigenden Mitteltemperaturen und zunehmende Trockenperioden die Borkenkäfergefahr in höhere Lagen steigt. Windwurfereignisse potenzieren die Waldschäden und erhöhen das Risikopotential für Siedlungen, Infrastrukturen und Menschen.

Gesellschaftliche Veränderungen sind vielfältig, etwa die zunehmende Zahl nicht-traditioneller WaldeigentümerInnen, schwierigere wirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Waldbewirtschaftung, zunehmende Freizeitnutzung unterschiedlichster Formen sowie ein wachsender Druck seitens der Interessen an Natur- und Biodiversitätsschutz. Es ist weiters offen, was allenfalls steigende Nachfragen nach traditionellen und neuen Holzprodukten im Rahmen der Bioökonomie für die Behandlung der Schutzwälder längerfristig bedeuten wird, etwa mit Blick auf die Balance zwischen stofflicher und energetischer Nutzung von Holzbiomasse und wie sich eine stärkere Nutzung im Schutzwald auf deren Wirkungen gegen Naturgefahren auswirken würde.

In vielen der genannten Problemkreise geht das Streben nach einer zielführenden Beteiligung der Öffentlichkeit und betroffener Interessengruppen mit einer Reihe wichtiger Fragestellungen einher. Sie müssen letztlich adressiert werden, um eine bessere Politikkoordination und breite Akzeptanz von forstlichen Maßnahmen zu gewährleisten und auch eine Attraktivierung der Schutzwaldbewirtschaftung zu erreichen, wie sie in den Leitlinien des Schutzwald-Aktionsprogrammes angestrebt wird.

All diese Fragen sind für die Lösung der jahrzehntelangen Schutzwaldproblematik grundlegend. Die Behandlung dieser sozial- und politikwissenschaftlichen Fragen ist in der Forschung allerdings unterrepräsentiert (vgl. ExtremA, 2019).

Nutzungen, Interessen, Werte und Konflikte in Bezug auf Schutzwald

Die Herausforderungen der Schutzwaldpolitik sind wie in anderen Bereichen der Forstpolitik die Regelung verschiedener Nutzungsinteressen am Wald. Dabei sind institutionelle Fragen (Glück, 2002) wie auch Fragen der Politikimplementation zentral (Krott, 1991). Insbesondere im Schutzwald ist in vielen Fällen eine multifunktionale Bewirtschaftung zielführend bzw. notwendig (Buttoud, 2002). Dabei ist das Konzept der Multifunktionalität und die Forderung einer multifunktionalen Waldbewirtschaftung durchaus kritisch zu hinterfragen, da es hinsichtlich der im konkreten Fall zu treffenden Prioritäten oft vage bleibt. Des weiteren hängt die sinnvolle Ausgestaltung der „multifunktionalen“ Planung und Wahl von integrierter oder segregativer Zuweisung von Nutzungen immer von den konkreten Situationen vor Ort ab. Diese mögen in bestimmten Fällen, wo einem Interesse bzw. einer Ökosystemdienstleistung Priorität zugewiesen wird, eine monofunktionale Bewirtschaftung nahelegen, etwa in Objektschutzwäldern.

Eine undifferenzierte Verwendung des Begriffs macht ihn nichtssagend und verhindert eine zweckmäßige Regelung der betreffenden Interessen und Werthaltungen mehr als dass sie diese unterstützt (Krott, 1989; Glück, 2000a; 2000b; 2002, Buttoud, 2002; Weiss et al., 2003; Weiss und Meier-Glaser, 2012; Suda und Arzberger, 2011). Zielführender ist es daher, von konkreten Nutzungsinteressen und/oder verschiedenen Werthaltungen und von damit einhergehenden Konflikten zu sprechen. Damit kommen Konzepte der Ökonomie und der Sozial- bzw. Politikwissenschaften zum Tragen.

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Wirksame multifunktionale bzw. integrierte Ansätze zur Schutzwaldbewirtschaftung müssen daher zweckmäßige Abstimmungsprozesse zwischen unterschiedlichen Interessengruppen finden (Weiss et al., 2004; vgl. auch integriertes Naturgefahrenmanagement, Kapitel „Raumordnerische Ansätze“).

Güter und Dienstleistungen des Schutzwaldes - institutionelle Regelungsformen

Schutzwälder produzieren zahlreiche Güter und Dienstleistungen, die in einem gewissen Ausmaß auf ein und derselben Fläche entstehen bzw. erwirtschaftet werden können (Koppelproduktion), wobei sie häufig nur in einem bestimmten Ausmaß synergistisch entstehen können. Darüber hinaus kommt es zu Trade-offs (Glück, 2000a; 2000b; Weiss et al. 2011).

Die Rechte an diesen Gütern und Dienstleistungen sind durch Eigentumsrechte (Property Rights) institutionell geregelt (Glück, 2002; Weiss und Meier-Glaser 2012). Tätigkeiten der Waldbewirtschaftung können positive oder negative externe Effekte zeitigen, etwa auf die Biodiversität und Schönheit der Landschaft, den Erholungswert oder eben durch Einfluss auf den Schutz vor Naturgefahren. Von diesen vielfältigen Leistungen profitieren einzelne Nutznießer, sie liegen aber auch im öffentlichen Interesse, zu deren Sicherung die Regelungen des Forstgesetzes und andere politische Instrumente geschaffen wurden.

Viele Wirkungen von Schutzwäldern, insbesondere der Schutz vor Naturgefahren, haben den Charakter öffentlicher Güter. Sie können daher nicht über Märkte in ausreichender Quantität und Qualität zur Verfügung gestellt werden. Grundsätzlich stehen als institutionelle Regelungsformen neben dem Markt (privat), der Staat sowie gemeinschaftliche Formen der Regelung zur Verfügung (Ostrom et al., 1994). Während die Bannwald-Regelungen Rechte und Zuständigkeiten grundsätzlich den beiden unmittelbar betroffenen Parteien GrundbesitzerIn und UnterliegerIn zuweist – nach ökonomischer Theorie die effizienteste Regelung – springt im

Falle der Förderungen von Schutzwaldmaßnahmen der Staat ein (Schmiderer und Weiss, 1999; Weiss, 1999). Durch den lokalen Wirkungsbereich vieler Waldleistungen würde nach Glück (2002) eine lokale, gemeinschaftliche Form der Waldbetreuung die ideale Regelungsform darstellen. Die Idee von Schutzwaldgemeinschaften oder ähnlicher Konstruktionen erscheint daher grundsätzlich vielversprechend.

Politische Instrumente und Governance-Ansätze

Der Politik stehen regulative, finanzielle (ökonomische, monetäre), informationelle, planerische sowie prozedurale Instrumente zur Verfügung. Deren Wirkungen lassen sich aber nicht so leicht trennen, da sie vielfach und zweckmäßigerweise als Instrumentenbündel zum Einsatz kommen und dabei zusammenwirken.

Das österreichische Forstgesetz regelt einige sehr grundsätzliche Rechte und Pflichten mit Bezug zu Schutzwald sehr klar. In der politischen Praxis kommt es bei starken Interessenkonflikten allerdings häufig zu vergleichsweise vagen Regelungen bzw. Umsetzungsdefiziten von gesetzlichen Regelungen, wenn beispielsweise die staatlichen Behörden gegenüber starken Interessengruppen an die Grenzen ihrer Durchsetzungsmacht stoßen. Auch die Aufteilung relevanter Zuständigkeiten auf verschiedene Verwaltungseinheiten ist mitunter ein wesentliches Hindernis, etwa dann, wenn die Ursache für den nicht zufriedenstellenden Zustand vieler Schutzwälder in einer mangelhaften Implementation des Jagdrechts liegt (Rechnungshof, 2015).

Die politische Realität und reale Verhältnisse vor Orte zeigen nicht nur die Möglichkeiten, sondern auch Grenzen staatlich-hierarchischer Umsetzung auf. Governance-Ansätze versprechen u.a. einen realitätsnäheren Rahmen zu bieten, indem von Verhandlungsprozessen zwischen privaten und staatlichen Akteuren ausgegangen wird, und zwar nicht nur bei der Formulierung von Maßnahmen, sondern auch in der Umsetzung (Implementation). Sie versuchen,

die realen Verhältnisse zu berücksichtigen und konstruktiv in nicht-hierarchischen Netzwerken zu arbeiten, aktiv Politikkoordination herzustellen, und schrittweise vorgehend Maßnahmenprogramme zu planen und umzusetzen (Glück und Humphreys, 2002; Pülz und Rametsteiner, 2002; Hogl et al., 2008). Zu einem solchen Ansatz zählen auch Strategien der Suche nach Bündnispartnern sowie das Etablieren von Plattformen zur Politikabstimmung und Einbindung von Interessengruppen und/oder der Bevölkerung, wie sie in den letzten Jahrzehnten auch in der Schutzwaldpolitik verstärkt eingesetzt wurden. Holistische, iterative und partizipative Steuerung gewinnt damit an Bedeutung, ohne die Bedeutung der klassischen regulativen und ökonomischen Instrumente zu schmälern.

Nutzungen und Konflikte: Akteure, Interessen und Werthaltungen

Für das Verständnis der Schutzwaldproblematik ist das Wissen um die Akteure (SchutzwaldbewirtschafterInnen, NutzerInnen, NutznießerInnen), deren Interessen und Werthaltungen sowie die damit verbundenen Konflikte grundlegend. Dabei spielen selbstverständlich auch öffentliche Akteure eine Rolle. Sie werden im nächsten Abschnitt besprochen.

Obwohl de facto eine genaue Abgrenzung nicht möglich ist, kann zwischen Interessen- und Wertkonflikten unterschieden werden. Während Interessenkonflikte durch gesetzliche Regelungen geklärt oder vertraglich ausgeglichen werden können, führen diese Wege im Falle von Wertkonflikten nur beschränkt zum Erfolg. In realen Konflikten überlagern sich zudem oft beide Konfliktdimensionen (Interessen- und Wertekonflikte). Dennoch ist die Unterscheidung zur Konfliktanalyse mit Blick auf potentielle Regelungsprozesse und für die Suche nach geeigneten Maßnahmen i.d.R. hilfreich.

Die Akteursgruppen können nach unterschiedlichen Kriterien unterschieden werden. In Hinblick auf spezifische Nutzungen des Schutzwaldes sind die wesentlichen Interessen die folgenden:

- Forstwirtschaft
- Schutz vor Naturgefahren
- Jagd
- Natur- und Landschaftsschutz, Biodiversität
- Freizeitnutzung und Tourismus
- Landwirtschaft

Die Ursachen für schlechten Schutzwaldzustand liegen vielfach in einer nicht abgestimmten Schutzwaldnutzung durch diese Akteursgruppen, etwa wenn der Wildstand eine ausreichende und zweckmäßige Form der Verjüngung nicht zulässt, oder wenn Weidetiere die Aufforstungen beschädigen. Diese Nutzungen sind oft in verschiedenen Händen, allerdings nicht in allen Fällen. So sind die Wald- und die Jagdbewirtschaftung immer (auch) mit Grundeigentum verbunden.

Weiters ist zu unterscheiden, auf welcher Ebene die Konflikte bestehen oder ausgetragen werden:

- auf Ebene konkreter GrundbesitzerInnen und anderen Nutzergruppen (Schutzbegünstigte, Jagdausüberne, NaturschutzvertreterInnen, WaldbesucherInnen, etc.),
- oder auf politisch-institutioneller Ebene, also zwischen Interessenvertretungen, Behörden und politischen EntscheidungsträgerInnen.

Nutzungskonflikte waren Gegenstand bisheriger Untersuchungen, doch lag der Schwerpunkt des Interesses stärker auf den Rollen öffentlicher Akteure (Weiss, 1999), weniger auf den Interessen, Werthaltungen, Präferenzen, Motiven und dem Verhalten anderer Akteursgruppen und deren Einfluss auf die Waldbewirtschaftung. Dabei wären auch unterschiedliche Gruppen innerhalb bestimmter Kategorien zu untersuchen, wie bspw. unterschiedliche Typen von WaldeigentümerInnen (Hogl et al., 2005; Weiss et al., 2019). Dies ist von besonderer Bedeutung, denn eine erfolgreiche institutionelle Regelung erfordert

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

1. klare Definitionen von Rechten und Pflichten und
2. eine möglichst fundierte, realistische Einschätzungen der Interessenlagen der Regelungsadressaten, um
3. die Regelungsinstrumente und Maßnahmen möglichst treffsicher an deren Werthaltungen, Interessen, Motiven und Handlungsmöglichkeiten auszurichten.

1. Eine klare gesetzliche Definition von Rechten und Pflichten (bzw. Zuständigkeiten und Eigentumsrechten) ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Regelung von Nutzungskonflikten. Dies stellt sich in der Waldpolitik leider oftmals erschwert dar, da sich natürliche Entwicklungen und Naturkräfte mit Effekten, die allein menschlichen Einflüssen zugeschrieben werden können, überlagern. Dadurch wird die Lösung der Frage nach Schuld bzw. Verantwortung im Schadensfall häufig erschwert (z.B. die Klärung, ob ein konkreter Steinschlag oder Lawinenabgang aus einem Waldgebiet durch die Waldbewirtschaftung verursacht wurde) (Weiss, 1999). Diesbezüglich stellt die gesetzliche Grundlage zur Unterscheidung von Standorts- und Objektschutzwäldern durch die FG-Novelle 2002 eine wichtige Verbesserung und Basis dar.

2. Eine klare Analyse der Interessenlagen der Beteiligten ist für ein Design möglichst effektiver politischer Instrumenten grundlegend. Im Rahmen unverbindlicher Diskussionen in Schutzwaldplattformen kann bspw. nicht erwartet werden, dass sich Nutznießer zu freiwilligen Zahlungen verpflichten. Der gegenseitige Austausch kann aber eine solide Basis für die Einrichtung von stärker institutionalisierten Strukturen und Maßnahmen zu einer effektiven Kontrolle von gesetzlichen Bestimmungen oder der Umsetzung gesetzlicher Regelungen schaffen (bspw. für jagdgesetzliche Instrumente im Schutzwald).

Ein anderes Beispiel ist die Gestaltung staatlicher Fördermaßnahmen, zu welchen Interessentenbeiträge zu leisten sind.

Wesentliche Fragen für die Ausgestaltung der Instrumente sind: Wer wird verpflichtet? In welcher Höhe? (Weiss, 2001). Dabei ist die Strategie der Forstbehörde differenziert zu betrachten, die eine Schutzwaldbewirtschaftung „mit den Waldeigentümern“ erreichen möchte. Angesichts der nur bedingten Erfolge dieser bisherigen Strategie erscheint es angeraten, zu überdenken, inwieweit die Waldeigentümer*innen mittels Information und Beratung zu einer gewünschten Schutzwaldbewirtschaftung motiviert werden können. Anreize werden nur wirken, wenn die WaldeigentümerInnen tatsächlich an einer Bewirtschaftung interessiert sind. Die konkrete Ausgestaltung der Förderinstrumente, etwa hinsichtlich der Interessentenbeiträge, hat eine direkte Auswirkung auf deren Erfolg. In diesem Zusammenhang kann die Unterscheidung der Konstellationen von Interessentlagen zwischen Standorts- und Objektschutzwäldern hilfreich sein: Im Fall von Objektschutzwäldern sind UnterliegerInnen mit einzubeziehen, bei Standortschutzwäldern die WaldeigentümerInnen. Auch die Höhe des Förderanteils spielt eine Rolle, da dieser dazu beitragen soll, das Interesse der Beteiligten an einer erfolgreichen Umsetzung sicherzustellen (Weiss, 2001c).

3. Die klare Ansprache von Interessen am Schutz vor Naturgefahren kann als wesentlicher Faktor für eine zweckmäßige Schutzwaldbehandlung angesehen werden. UnterliegerInnen könnten durch verstärkte Information und finanzielle Beteiligung an Schutzwaldsanierungsmaßnahmen und -pflege in ihrer Rolle als Interessenten mobilisiert werden (Weiss, 1999; Weiss, 2001c). Dies wird durch die Zuweisung von finanziellen Interessentenanteilen bei flächenwirtschaftlichen Maßnahmen (Weiss, 1999) oder auch über die Einbindung in Schutzwaldplattformen (Voitleithner, 2006) angestrebt. Der Nutzen ergibt sich bspw. aus deren Mobilisierung in Verhandlungsnetzwerken, indem u.a. stärkerer Druck auf die Jagdausübenden erzeugt wird. Für die Bewusstseinsbildung sind auch weitere öffentliche Akteure von Bedeutung,

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

beispielsweise Gemeindeverwaltungen und Bildungseinrichtungen.

Zwischen forstlichen und anderen Interessen an Schutzwaldnutzungen – bspw. jenen der Jagdwirtschaft und des Naturschutzes – sind oft sehr emotionalisierte und polarisierte Wertekonflikte zu beobachten. Diese mögen sich mit Interessenkonflikten überlagern, können aber zum Teil durch professionelle Kommunikation entschärft werden, indem gegenseitige Vermittlung von Information und die Arbeit an gegenseitigem Verständnis erreicht wird. Diesem Zweck können Gesprächsplattformen oder Mediationsprozesse (je nach Konfliktniveau) dienen, wobei für den Erfolg stets eine professionelle Durchführung erforderlich ist (Rappold, 2000).

Konflikte kann durch vielfältige Maßnahmen vorgebeugt werden, etwa durch frühzeitige Einbindung Betroffener, die Beiziehung von ExpertInnen oder die Schaffung öffentlicher Aufmerksamkeit (Weiss, 1999). Ein Beispiel ist die Zuziehung von ExpertInnen der Wildökologie, des Naturschutzes und der Tourismuswirtschaft, um Konflikte zwischen Schutzwaldmanagement, Jagdwirtschaft, Naturschutz und Tourismus möglichst zu versachlichen. Die Durchführung von Öffentlichkeitsbeteiligung ist allerdings keinesfalls eine triviale Aufgabe. Ihr Erfolg hängt von vielerlei Faktoren auf Seiten der Beteiligten (Rappold, 2000) als auch seitens der Verwaltung ab (Arzberger, 2014). Dabei sind etwa die professionelle Durchführung von Beteiligungsprozessen wichtig, als auch ihre institutionelle Ausgestaltung und ihr Bezug zu regulativen und ökonomischen Instrumenten (Weiss, 2001c).

Öffentliche Politik

Die Handlungsweisen der öffentlichen Verwaltung im Forstsektor (Krott, 1989, 1991) und die Umsetzung der Schutzwaldpolitik (Weiss, 1999) wurden in der Vergangenheit sehr umfassend untersucht. Aus jüngerer Zeit gibt es zur Schutzwaldpolitik in Österreich allerdings nur vereinzelte wissenschaftliche Arbeiten und

regionale Bestandsaufnahmen (vgl. Kössler, 2019).

Eine umfassende Evaluierung der Umsetzung der **Bannwaldregelung** ergab, dass die Bannwaldfläche zwischen den Jahren 1975 und 1995 von ca. 25.800 ha auf ca. 10.500 sank (Schmidlerer und Weiss, 1999; Weiss, 2001b). Derzeit sind ca. 10.445 ha Schutzwald als Bannwald ausgewiesen (Rechnungshof, 2015, Zahl von 2012). Die Bannwaldfläche entspricht etwa 3 Promille der Schutzwaldflächen und die Bannwaldbestimmungen sind somit weiterhin faktisch ungenutzt, entgegen der forstgesetzlichen Verpflichtung (Rechnungshof, 2015). Viele für Objekte schutzwirksame Wälder sind nicht als Bannwald ausgewiesen und auch in erklärten Bannwäldern konnte im Rahmen der genannten Untersuchungen kaum eine verbesserte Waldbewirtschaftung beobachtet werden. In der Praxis findet das Instrument „Bannlegung“ also kaum Anwendung. Es wird von VertreterInnen der Forstbehörden als Instrument beschrieben, dass in der Umsetzung mit einem enormen bürokratischen Aufwand verbunden ist, da Bannlegungsverfahren sehr langwierig sein können und mit ungewissem Ausgang enden (Rechnungshof, 2015; Kössler, 2019). Während die grundsätzlichen Bestimmungen des Bannwaldparagraphen zu den Eigentumsrechten unverzichtbar sind, bleibt die Frage einer möglichst effizienten und effektiven Steuerung der Waldbewirtschaftung von Bann- bzw. Objektschutzwäldern nach wie vor eine, die zusätzlicher Forschungsanstrengungen bedarf (sh. auch Kapitel „Raumordnerische Ansätze“). Fragen der Finanzierung der Waldbewirtschaftung in Wäldern mit direkter Schutzfunktion und der geeigneten Einbindung der Betroffenen (WaldeigentümerInnen und UnterliegerInnen) bleiben offen. Vor dem Hintergrund sich ändernder Rahmenbedingungen, sich weiterentwickelnder politischer Instrumente und sich allenfalls verändernden Haltungen der beteiligten Akteure ist eine forstpolitische Neubewertung des Bannwaldinstrumentes oder allfälliger Adaptierungen denkbar. Aus der Sicht der Forschung fehlen dazu Untersuchungen zu den Erfahrungen mit jüngeren Instrumenten (bspw. Schutzwaldplattformen) und de-

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

taillierte Einblicke in die Erfahrungen und Sichtweisen der Akteure, die bisher kaum Gegenstand von Untersuchungen waren. Dabei wäre auf unterschiedliche Problemsituationen, Typen von WaldeigentümerInnen und Unterliegerkategorien sehr spezifisch einzugehen.

Auch die Analysen der **Förderungen von Hochlagenaufforstung und Schutzwaldsanierung** in den 1990er Jahren (Weiss, 1999, und zahlreiche Diplomarbeiten) wiesen auf eine bescheidene Wirksamkeit im Sinne von Aufforstungserfolgen und Verbesserungen der Waldzustände hin. Als Gründe dafür wurden vor allem überhöhte Wildstände bzw. nicht angepasste Jagdbewirtschaftungsmethoden festgestellt (Weiss, 1999; 2003). Den Fördermaßnahmen gelang es nur sehr begrenzt, eine Lösung der ursächlichen Probleme zu bewirken.:

- Aus institutioneller Sicht liegt die grundsätzliche Herausforderung im Auseinanderfallen von Eigentum und Nutzen (UnterliegerInnen), aber auch in der institutionellen Aufteilung der „Verwaltung“ des Waldes in verschiedene Fachbehörden und den damit verbundenen Koordinationsproblemen (Weiss und Meier-Glaser 2012).
- Gruppeninteressen (GrundeigentümerInnen, Jagd, UnterliegerInnen, wirtschaftliche Entwicklungsinteressen) machen eine zielorientierte Schutzwaldbewirtschaftung schwierig, aber auch Klientelorientierung und/oder informelle Verwaltungsinteressen wurden als Hürden beschrieben (Weiss 1999; 2001a;).
- Unterschiedliche Werthaltungen zwischen VertreterInnen beteiligter Sektoren tragen zu Blockaden bei, etwa in Form von Polarisierungen zwischen „forstlichen“, „jagdlichen“, „weidewirtschaftlichen“, oder „naturschutzorientierten“ Werten und Zielen (Weiss, 2000b).

Der Vergleich von Schutzwaldsanierungsprojekten und **flächenwirtschaftlichen** Projekten ergab, dass die Forstdienste und der Forsttechnische Dienst der Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV) entsprechend ihrer primären Arbeitsauf-

gaben sehr unterschiedlich an Schutzwaldsanierungsprojekte herangehen. Forstdienste orientieren sich dabei stärker an den vielfältigen Wirkungen der Wälder und an der großflächigen Schutzwaldkulisse (Bezug zu Standortschutzwald) und zielen in der Regel darauf ab, die WaldeigentümerInnen mit geeigneten Anreizen zu einer gewünschten Waldbewirtschaftung zu motivieren. Die WLV richtet ihre Arbeit dagegen primär an den direkten Schutzwirkungen und den Objektschutzwäldern aus (Weiss, 1999; 2000b; 2001a; 2002). Diese unterschiedlichen Charakteristika ergeben Möglichkeiten, deren Tätigkeitsfelder zweckmäßig aufzuteilen, aber auch Synergien in einer Zusammenarbeit zu nutzen.

In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass die explizite Unterscheidung von Standorts- und Objektschutzwäldern für eine klare Analyse und konstruktive Diskussion grundlegend ist. Der „bipolare Charakter“ des Begriffs Schutzwald (i.e. „der schützende Wald muss geschützt werden“, Suda und Arzberger 2011, 286) führt zu Unklarheiten und verhindert rationale Lösungen etwa durch eine mythosartige Verwendung des Begriffs „Schutzwald“ (ebenda) oder durch eine bewusste Verwischung bzw. Vermischung der zwei Bedeutungen (Weiss, 1999; 2003). Obwohl sich die zwei inhaltlichen Bedeutungen von Standortschutzwald (Wald schützt sich selbst) und Objektschutzwald (Wald schützt menschliche Objekte/Werte) in Gebirgswäldern oft überlappen, sollten nach Weiss (1999, 2001c) für die Entwicklung zweckmäßiger Instrumente die sehr unterschiedlichen Problemsituationen auseinandergehalten werden.

In den **flächenwirtschaftlichen Gemeinschaftsprojekten** der Forstdienste und der WLV wurden teilweise Erfolge in der Waldverbesserung erzielt, indem die unterschiedlichen Expertisen und Routinen zielgerichtet und koordiniert eingesetzt wurden (Weiss, 1999). Dabei kann die konsequente Anwendung der Ministeriums-Richtlinie zu den Hinderungsgründen für eine Maßnahmensetzung durch öffentliche Mittel der WLV aus dem Katastrophenfonds dazu beitra-

gen, in den prioritären Objektschutzwäldern eine adäquate Wildbewirtschaftung durchzusetzen. Die WLV konnte sich im Rahmen ihrer Projekte teilweise von Jagd-Interessen unabhängig machen und konsequent Rahmenbedingungen schaffen, die eine adäquate Waldverjüngung erlauben (Beispiele in Vorarlberg, Weiss, 1999). Dazu war die Umsetzung jagdrechtlicher Instrumente notwendig. Es wäre eine lohnende Forschungsfrage, inwieweit solche Lösungen auch in anderen Regionen gefunden wurden bzw. wie sie auf andere Situationen übertragen werden könnten.

In jüngerer Zeit wurden verstärkt neuere Governance Ansätze verfolgt, wie etwa die Einrichtung von **Schutzwaldplattformen**. Diese werden allerdings vor allem für Bewusstseinsbildung eingesetzt, kaum zur Konfliktregelung i.e.S. (Voitleithner, 2006; Kössler, 2019). Die Schutzwaldplattformen scheinen mit den erhofften Wirkungen zu einer Mobilisierung der Nutznießer wenig Erfolg gehabt zu haben und wurden daher in den letzten Jahren immer weniger aktiv (Rechnungshof, 2015; Kössler, 2019). Diesbezüglich empfiehlt der Rechnungshof (2015) zur Verbesserung des Schutzwaldmanagements eine bessere Abstimmung über Verwaltungseinheiten hinweg, insbesondere zwischen Forst und Jagd.

Während mit diesen Untersuchungsergebnissen sehr grundsätzliche Problemzusammenhänge, klar wurden, die auch weiterhin gültig sind, fehlt detailliertes Wissen über **neuere Entwicklungen** in den forstpolitischen Instrumenten und deren Anwendung in der Praxis (z.B. Anwendung regulativer Instrumente und Förderungen in den verschiedenen Bundesländern, Kooperationslösungen wie Schutzwaldgemeinden in Tirol, Wassergenossenschaften in Salzburg, Kärntner Waldpflegeverein). **Gesellschaftliche Veränderungen** haben Auswirkungen auf Interessenlagen und Problemsichten der Akteure und auch institutionelle Sichtweisen und Handlungsweisen verändern sich im Laufe der Zeit bzw. lassen sich verändern (Arzberger, 2014; Weiss, 2021). Somit sind neue Untersuchungen zu den wesentlichen Akteuren erforderlich, um forstpolitische Ent-

scheidungen auf eine solidere weil aktuelle Basis stellen zu können und neue Lösungsmöglichkeiten für die Schutzwaldproblematik zu entwickeln.

Neue Herausforderungen und internationaler Kontext

Klimawandelszenarien leiten aus dem globalen Klimawandel für Österreich bzw. die Alpen steigende Temperaturen und zunehmende Trockenperioden ab, wie sie in den vergangenen Jahren schon deutlich zu beobachten waren und sich in Zukunft verstärken sollen. Dazu kommt eine zunehmende Gefahr von Extremwetterereignissen wie Stürme und Starkniederschläge, was als Folge ein verstärktes Auftreten von Naturgefahren wie Muren erwarten lässt (z.B. Crozier, 2010). Somit wächst einerseits die Bedeutung der Gebirgswälder für den Schutz vor diesen Gefahren, andererseits deren Gefährdung. Verstärktes Auftreten von Stürmen und die wärmer werdenden Bedingungen im Gebirge drohen die Gefahr durch Borkenkäferkalamitäten und ähnliche Bedrohungen massiv zu erhöhen.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass sich die vorhandene, nichtzufriedenstellende Situation in den Schutzwäldern noch **verschärfen** wird. Die über Jahrzehnte hartnäckig bestehenden Probleme, etwa in der Koordinierung widerstrebender Interessen, werden noch drängender nach Lösungen verlangen. Dasselbe gilt für die Wirkungsbeeinträchtigungen in der Gefahrenzonenplanung (Weiss, 2002; Pukall und Kruse, 2016). Insgesamt potenzieren sich die kritischen Entwicklungen auf gesellschaftlicher und ökologischer Ebene, wenn auf der einen Seite sich die Nutzung der österreichischen Alpentäler weiter intensiviert und auf der anderen Seite die Schutzwälder sich weiter destabilisieren. Umso wichtiger werden dynamische, vorausschauende Planungen im Naturgefahrenmanagement, die Zusammenschau von Waldentwicklung, gesellschaftlicher Entwicklungen und des Schutzes vor Naturgefahren, aber eben auch die verbesserte Implementation der vorhandenen

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

politischen Instrumente, intersektorale Politikkoordination und die gegenseitige Abstimmung zwischen Interessengruppen in neuen Governance-Ansätzen (Weiss, 2002; Pukall und Kruse, 2016).

In den Ostalpen, mit den teils hohen Siedlungsdichten, beobachten wir weitere Intensivierungen der Nutzung des begrenzten Dauersiedlungsraums. Zunehmende Urbanisierung, Tertiärisierung und wachsende Bedeutung von Kommunikation und Mobilität erhöhen ebenfalls die **gesellschaftliche Vulnerabilität** gegenüber Naturgefahren und erhöhen damit die Bedeutung der Schutzwirkungen der Wälder. Abgestimmte örtliche und regionale Raumplanungsinstrumente und Raumentwicklungsplanungen auf der Basis verknüpfter Klima- und Gesellschaftsszenarien werden damit wichtiger (sh. Kapitel Raumordnerische Ansätze).

Es ist zu erwarten, dass sich bestimmte **Nutzungskonflikte** verschärfen, da nicht nur Entwicklungsinteressen zunehmen, sondern auch vielfältige Güter und Wirkungen des Gebirgswaldes verstärkt nachgefragt werden: Aufgrund der Ziele und angestrebten Maßnahmen zur Förderung der Bioökonomie werden sowohl die energetische als auch die stoffliche Nutzung des Holzes und anderer Waldprodukte aller Wahrscheinlichkeit nach zunehmen. Zugleich steigt das Bedürfnis nach Freizeitnutzung im Wald und der Tourismus bleibt nach wie vor ein zentraler Wachstumssektor in den Alpenregionen. Dazu kommen vermehrt legitime Ziele und Verpflichtungen aus dem Bereich des Biotop- und Artenschutzes, etwa aus den Vorgaben des Natura 2000-Programmes der EU (Geitzenauer et al., 2016; Weiss et al., 2017). Fragen der Kostentragung betreffen auch diese Naturschutzmaßnahmen und die Frage der Zielabstimmung ist im Schutzwald besonders kritisch, wo sich Ziele aus dem Biodiversitätsschutz mit dem Schutz vor Naturgefahren widersprechen können (Pukall, o.D.).

Diese Entwicklungen erfordern vermehrt den Einsatz von Instrumenten zum Interessensausgleich, zur Kommunikation und Öffentlichkeits-

arbeit. Zu diesen neuen **Governance-Instrumenten** gibt es vergleichsweise noch wenig Erfahrung in Wissenschaft und Praxis der Schutzwaldpolitik (Voitleithner, 2006; Rappold, 2000).

Forschung ist sowohl zu den Instrumenten notwendig, als auch zu den einzelnen Nutzergruppen, inklusive der Waldeigentümerseite. Die **Waldeigentumsstrukturen** ändern sich, u.a. durch Urbanisierungsprozesse (Weiss et al., 2019; UNECE/FAO, 2020). Durch Strukturänderungen in der Landwirtschaft und der Gesellschaft insgesamt verändern sich die Rahmenbedingungen für die WaldbesitzerInnen als auch deren Sichtweisen und Prioritäten und Handlungskapazitäten. Diese Entwicklungen wirken sich auf verschiedene Arten von EigentümerInnen unterschiedlich aus, etwa für öffentliche und private Betriebe, Forstbetriebe oder KleinwaldbesitzerInnen, oder für bäuerliche oder nicht-traditionelle WaldbesitzerInnen. Zu diesen Entwicklungen liegen derzeit erst ansatzweise Forschungen vor, das Wissen über Besitzertypen und deren Eigenschaften und Kontextbedingungen ist aber grundlegend für einen zielgerichteten Einsatz forstpolitischer Instrumente (Hogl et al., 2005).

Für die Gesetzgebung zur Behandlung von Schutzwald ist durch die verfassungsmäßige Zuständigkeit der Bundesebene für das gesamte Forstwesen (inklusive Schutz vor Wildbächen und Lawinen) ganz überwiegend der Bund zuständig. In den Gebirgsbundesländern gibt es teilweise ergänzende Waldordnungen. Im **internationalen Kontext** sind verschiedene Politikebenen und Politikprozesse von Bedeutung, die aber bisher nur begrenzt die Schutzwaldpolitik beeinflussen (siehe auch Kapitel „Schutzwald - Internationales“).

Auf EU-Ebene ist keine formale Zuständigkeit für das Forstwesen vorgesehen, doch sind zahlreiche Politikbereiche relevant. So sind bspw. Fördermittel für die ländliche Entwicklung auch für den Wald vorgesehen und werden in der Schutzwaldsanierung auch eingesetzt. Auch Regelungen der Bereiche Umwelt- oder Wasserpolitik haben Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung und den Schutz vor Naturgefahren.

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Abstimmungsbedarf wegen allfälliger Zielkonflikte bestehen insbesondere mit Agrarförderungen (Almwirtschaft) oder Naturschutzbestimmungen der Europäischen Union (Natura 2000). Für Wälder sind weiters die EU-Forststrategien und darauf bezogene Aktionspläne von Relevanz, die die Koordination der Waldpolitik der Mitgliedsstaaten zum Ziel haben und von diesen jeweils für bestimmte Zeiträume gemeinsam formuliert werden. Der Bergwald und dessen Schutzwirkungen sind in diesen rechtlich unverbindlichen Strategien bisher wenig verankert, wohl weil dieses Thema für relativ wenige Länder von so zentraler Bedeutung ist (Aggestam und Pülzl, 2018).

Die Alpenkonvention nimmt mit dem Bergwaldprotokoll sehr direkt Bezug auf die Rolle des Gebirgswalds zum Schutz vor Naturgefahren und zu seinen multifunktionalen Wirkungen. Die Zielsetzungen beinhalten, den Bergwald als naturnahen Lebensraum zu erhalten und Schalenwildbestände auf ein Maß zu begrenzen, dass eine natürliche Verjüngung standortgerechter Bergwälder ohne Verbiss-Schutzmaßnahmen möglich macht. Den Schutzfunktionen des Bergwaldes wird explizit Vorrangstellung eingeräumt. Als völkerrechtlicher Vertrag ist die Alpenkonvention mit ihren Durchführungsprotokollen rechtlich bindend und daher umzusetzen (Rechnungshof, 2015).

Forschungsdefizite

Zusammenfassend können die folgenden Forschungsdefizite genannt werden:

- Nach den eingehenden Evaluierungen und Analysen der Schutzwaldpolitik in den 1990er-Jahren fehlen Untersuchungen der neueren Entwicklungen, bspw. zu regulativen Instrumenten, den Schutzwaldplattformen, Schutzwaldpartnergemeinden und der neuen Ausgestaltung von Förderungen für die Schutzwaldsanierung.
- Es ist wenig bekannt zu zahlreichen Konflikten und Konfliktregelungen, etwa hinsichtlich der Jagd, Naturschutzinstrumenten (Natura

2000), Freizeitnutzung und Tourismusinteressen.

- Es liegen kaum Analysen zu den Interessen, Werthaltungen und Motivationen der wesentlichen Akteure im Schutzwald vor, vor allem zu jenen der WaldeigentümerInnen, Schutzbegünstigten, Jagdtausübenden, NaturschutzvertreterInnen, FreizeitnutzerInnen sowie der wesentlichen Interessensvertretungen und der Öffentlichkeit.
- Die Auswirkungen zahlreicher gesellschaftlicher Veränderungen auf die Vulnerabilität der Siedlungen, Infrastrukturen und kultivierten Liegenschaften im Gebirgsraum und die sich damit ändernde Rolle der Schutzwälder sind kaum bekannt.
- Neue Governance-Ansätze in der Schutzwaldpolitik (intersektorale Kooperation, Partizipation, Bewusstseinsbildung), neue Finanzierungsformen, neue institutionelle Ansätze und Kooperationsmodelle oder soziale Innovationen in der Schutzwaldbewirtschaftung wurden bisher höchstens ansatzweise untersucht. Es mangelt an einer aktuellen Basis mit ausreichender Breite.
- Die tatsächliche Nutzung und Bedeutung von EU-Politiken und internationaler Vereinbarungen (z.B. Alpenkonvention) und ihre Potentiale bzw. mögliche Beiträge zur Verbesserung der österreichischen Schutzwälder wurden bislang nicht untersucht.

Forschungsthemen

Es lassen sich somit die folgenden primären Forschungsthemen formulieren:

- Aktualisierung der Analysen verschiedener regulativer, finanzieller und informationeller Instrumente der Schutzwaldpolitik, insbesondere zu
 - » möglichen Verwaltungsvereinfachungen und allfälligen Anpassungen an geänderte gesellschaftliche Rahmenbedingungen;
 - » neuen Förderansätzen mit EU-Kofinanzierung; und
 - » zu neueren Instrumenten wie die Schutzwaldplattformen auf unterschiedlichen

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Verwaltungsebenen oder andere Informations-Instrumente (Schutzwaldplan etc.) sowie die Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für die Weiterentwicklung dieser Instrumente.

- Konfliktanalysen und Lösungsansätze, insbesondere hinsichtlich der Jagd, Naturschutzinstrumenten (z.B. Natura 2000) und Interessen der Freizeitnutzung und des Tourismus.
- Interessen, Werthaltungen und Motivationen von Akteuren (und Interessenvertretungen), insbesondere aus der Forstwirtschaft, dem Schutz vor Naturgefahren, Jagd, Naturschutz, Freizeit, Tourismus und Öffentlichkeit.
- Einfluss unterschiedlicher Waldbesitztypen auf die Waldbewirtschaftung und Auswirkungen der sich ändernden Waldbesitzstrukturen auf deren Interessen, Werthaltungen und Motivationen in Bezug zur Schutzwaldbewirtschaftung.
- Auswirkungen gesellschaftlicher Veränderungen (Urbanisierung, Mobilität, Freizeitgesellschaft, etc.) auf die Vulnerabilität der Siedlungen, kultivierte Flächen und Infrastrukturen im Gebirgsraum und die sich damit ändernde Bedeutung der Schutzwälder.
- Wirkungsmechanismen, Erfolgsfaktoren und Anwendungsmöglichkeiten neuer Governance-Ansätze in der Schutzwaldpolitik, bspw. der folgenden:
 - » intersektorale Kooperation (bisherige Erfahrungen mit bspw. den Schutzwaldplattformen und anderen Dialogforen, und mögliche neue Kooperationsfelder, mit bspw. der Jagd, dem Naturschutz, der Freizeitwirtschaft und Tourismus);
 - » Partizipationsprozesse auf Projektebene und verschiedenen Verwaltungsebenen;
 - » öffentliche Bewusstseinsbildung (Schutzwaldpreis; Waldschulen, Wald- und Umweltpädagogik, Medienkampagnen, Informationsbereitstellung im Internet und sozialen Medien, Dialogforen).
- Erfahrungen mit und Möglichkeiten für neue Finanzierungsformen (integrierte Förderungsmodelle, private Ko-Finanzierung, Versicherungsmodelle, Patenschaften, Sponsoring, etc.).
- Neue institutionelle Ansätze für regionales, parzellenübergreifendes, integriertes Schutzwaldmanagement mit Einbindung der wesentlichen Stakeholder:
 - » neue institutionelle Betreuungsformen und Kooperationsmodelle, z.B. Bewirtschaftungsgemeinschaften für Schutzwald (Schutzwaldgemeinschaften, Schutzwaldpartnerschaften, Schutzwaldgenossenschaften, Waldpflegevereine, etc.) oder andere Gemeinschaftsmodelle (Wassergenossenschaften, Einzugsgebietsbewirtschaftung);
 - » integrierte Planung bzw. Abstimmung zwischen oder Koordination von verschiedenen Planungsansätzen, bspw. mit der wildökologischen Raumplanung oder Natura2000-Managementplänen;
 - » Eigentumserwerb durch Schutzbegünstigte (Gemeinden, einzelne Untertlieger oder in Form von Interessengemeinschaft).
- Evaluierung der Potentiale sozialer Innovationen für die Schutzwaldbewirtschaftung wie bspw. der folgenden Beispiele:
 - » Model-Forests oder ähnliche Ansätze zur regionalen, integrierten und partizipativen Waldbewirtschaftung;
 - » Volunteering/Freiwilligenarbeit (Bergwaldprojekt, freiwilliges Umweltjahr).
- Die Bedeutung internationaler Ebenen für die Schutzwaldpolitik:
 - » Rolle verschiedener Politikbereiche der EU für die Schutzwaldbewirtschaftung (z.B. Forst, Wasser, Naturschutz), mögliche Zielkonflikte und Abstimmungsbedarf bzw. deren Potentiale für die Schutzwaldverbesserung;
 - » Evaluierung der Umsetzung der Alpenkonvention (insbesondere des Bergwaldprotokolls) hinsichtlich forstlicher und jagdlicher Zielsetzungen auf Bundesebene und in den verschiedenen Bundesländern.

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Literatur

- Aggestam, F; Pülzl, H. (2018): Coordinating the Uncoordinated: The EU Forest Strategy FORESTS. 2018; 9(3).
- Arzberger, M.B. (2014): Partizipation im Schutz- und Bergwaldmanagement der Bayerischen Forstverwaltung. Verändertes Verwaltungshandeln im Schatten eines starken Symbols. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 185. Jg., 9/10: 235-248.
- Buttoud, G. (2002): Multipurpose management of mountain forests: which approaches? *Forest Policy and Economics*, Volume 4, Issue 2, Pages 83-87, ISSN 1389-9341, [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(02\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(02)00008-4).
- Crozier, MJ (2010), Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology* 124(3-4): 260-267, doi: 10.1016/j.geomorph.2010.04.009, 00100.
- Geitzenauer, M., K. Hogl, G. Weiss (2016): The Implementation of Natura 2000 in Austria – A European policy in a federal system. *Land Use Policy*, Volume 52, March 2016, Pages 120-135.
- Glück, Peter 2000a: Policy means for ensuring the full value of forests to society. *Land Use Policy* 17/3: 177 – 185. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(00\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(00)00018-1)
- Glück, Peter 2000b: Theoretical perspectives for enhancing biological diversity in forest ecosystems in Europe. *Forest Policy and Economics* 1/3, 195 – 207. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(00\)00014-9](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(00)00014-9).
- Glück, Peter 2002: Property rights and multipurpose mountain forest management. *Forest Policy and Economics* 4, 2: 125- 134. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(02\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(02)00012-6)
- Glück, P., Weber, M., (Eds.), 1998. *Mountain Forestry in Europe: Evaluation of Silvicultural and Policy Means*. Universität für Bodenkultur Wien, Publication Series of the Institute for Forest Sector Policy and Economics, vol. 35, p. 301.
- Glück, P; Humphreys, D. (2002): Research into National Forest Programmes in a European context. *FOREST POLICY ECON.* 2002; 4(4): 253-258.
- Hogl, K., Pregernig, M., Weiss, G. (2005): What is New about New Forest Owners? A Typology of Private Forest Ownership in Austria. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy*, Vol. 4, No. 3, 325-342
- Hogl, K; Nordbeck, R; Pregernig, M; Hauser, M. (2008): New Modes of Governance: Programmatic Rhetoric and Actual Practices. *GAI A*. 2008; 17(4): 399-400.
- Krott, M.; 1989: Forstliche Raumplanungspolitik. Praxis und Zukunft des Österreichischen Waldentwicklungsplanes. *Forstliche Schriftenreihe*, Univ. f. Bodenkultur, Wien; Bd. 2, 200 S.; Hrsrg.: Österr. Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumborschung an der Univ. f. Bodenkultur. ISBN 3-900865-01-9
- Krott, M., 1991. *Umweltpolitische Problemlösung durch Öffentliche Verwaltung*. In: *Österreichische Zeitschriften für Politikwissenschaft*. Wien. S. 43-57.
- Ostrom, E., Gardner, R., Walker, J., 1994. *Rules, Games, and Common-Pool Resources*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Pukall, Klaus (Hrsg., o.D.): *Biotop- und Artenschutz in Schutzwäldern*. Freising. Online verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/1574460> (zuletzt besucht 22.3.2021).
- Pukall, K. und S. Kruse, 2016: Die zentrale Herausforderung der Klimawandelanpassung für das Naturgefahrenmanagement im Alpenraum: Berücksichtigung des zukünftigen Wandels des Schadenpotentials. *Interprävent Tagungsband*.
- Pülzl, H; Rametsteiner, E. (2002): Grounding international modes of governance into National Forest Programmes *FOREST POLICY ECON.* 2002; 4(4): 259-268.
- Rappold, G., 2000. *Bürgerbeteiligung im Rahmen des Naturgefahrenmanagements*. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien. Wien.
- Schmiderer, H. und G. Weiss (1999): *Die Bannwaldpolitik in Österreich*. Schriftenreihe des Instituts für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft, Band 38, Wien (304 S.)
- Suda, M. und Arzberger, M. B. (2011): Der Schutzwald-Mythos: „Alpen ohne Bergwald sind wie ein Bergschuh ohne Schuhband!“ In: *Verein zum Schutz der Bergwelt - Jahrbuch 2009/2010* (74./75. Jg.): 275-294
- UNECE/FAO, 2020: *Who owns our forests? Forest ownership in the ECE region*; ECE/TIM/SP/43, UNITED NATIONS PUBLICATION, Geneva; ISBN 978-92-1-004828-6
- Voitleithner, J. 2006. *Schutzwaldplattformen in Österreich. Aktivitäten, Erfolgsfaktoren und Perspektiven*. Beratungsprojekt im Auftrag der Landesforstdirektion im Amt der Tiroler Landesregierung. Innsbruck.
- Weiss, Gerhard (1998): *Bewertung der Maßnahmen zur Schutzwaldverbesserung*. 4 Bände. Projektbericht an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien.
- Weiss, G., 1999. *Die Schutzwaldpolitik in Österreich. Einsatz forstpolitischer Instrumente zum Schutz vor Naturgefahren*. Schriftenreihe des Instituts für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien; Band 39. Wien
- Weiss, G., 2000a. *Evaluation of Policy Instruments for Protective Forest Management in Austria*. In: *Forest Policy and Economics* 1 (2000) 243-255.
- Weiss, G. (2000b): *Perceptions of Risks in Mountain Forests*. In: Price, Martin and Nathalie Butt (eds.): *Forests in sustainable mountain development. A state-of-knowledge report for 2000*. Oxon: CABl, pp. 359-366.
- Weiss, G. (2001a): *Administrating Risk – A Social Science Perspective on Natural Hazards Prevention Based on an Austrian Case Study*. In: Gadow, K. v. (ed.): *Risk Analysis in Forest Management*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer: 171-200.

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

- Weiss, G. (2001b): Mountain Forest Policy in Austria: A Historical Policy Analysis on Regulating a Natural Resource. In: *Environment and History* 7/3, pp. 335-355.
- Weiss, G. (2001c). Strategien für die Gebirgswalderhaltung auf Basis von Erfahrungen aus Österreich und anderen Alpenländern. In: Moser, A. (Hrsg.), *Kompetenz für gemeinsame Aufgaben- Wie praktisch muss Forschung sein? Beiträge zur Österreichischen Forsttagung 2001*. Eigenverlag des Institutes für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, Universität für Bodenkultur Wien. S. 37-48.
- Weiss, G. (2002): The Political Practice of Natural Hazards Control in Austria and the Question of Climate Change. In: Steininger, K.W. and H. Weck-Hannemann (eds.), *Global Environmental Change in Alpine Regions: Impact, Recognition, Adaptation and Mitigation*. Cheltenham: Edward Elgar. Pp. 131-149.
- Weiss, G. (2003): Die Überalterung der Zerfallsphase. Die Sprache der Schutzwaldsanierung und deren Fallen für eine Lösung des Verjüngungsproblems. In: Müller, F. (Hrsg.), *Mariabrunner Waldbautage – Ist die Verjüngung des Bergwaldes gesichert? BFW-Berichte, Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald*, Nr. 130, Wien, S. 161-168.
- Weiss, G., M. Weber, W. Schönenberger, (2003): New Silvicultural and Planning Paradigms for Integrated Mountain Forest Management. In: F. Brun and G. Buttoud (eds.), *The Formulation of Integrated Management Plans for Mountain Forests*. Quaderni del Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale, Grugliasco: p. 11-18.
- Weiss, G. (2004): The Political Practice of Mountain Forest Restoration – Comparing Restoration Concepts in Four European Countries. In: *Forest Ecology and Management* 195: 1-13.
- Weiss, G. (2006): Politische Herausforderungen für die Umsetzung eines integrierten Naturgefahrenmanagements. In: Fuchs, S., Khakzadeh, L.M. und K. Weber (Hrsg.): *Recht im Naturgefahrenmanagement*. Studienverlag, Innsbruck: 187-196.
- Weiss, G., S. Ramcilovic, R. Mavsar (2011): Financing mechanisms for forest ecosystem services in Europe and their implications for forest governance. In: *Allgemeine Forst- und Jagdzeitschrift* 182, 5/6, 61-69.
- Weiss, G. und A. L. Meier-Glaser (2012): Coase und der Schutz vor Naturgefahren durch den Wald – eine institutionenökonomische Analyse. *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen* 163 (1/2012): 17-28.
- Weiss, G; Sotirov, M; Sarvasova, Z, 2017. Implementation of Natura 2000 in forests. In: Sotirov, M (ed), *Natura 2000 and forests – assessing the state of implementation and effectiveness*, 25p; EFI, Joensuu, FI; ISBN 978-952-5980-37-0
- Weiss, G; Lawrence, A; Hujala, T; Lidestav, G; Nichiforel, L; Nybakk, E; Quiroga, S; Sarvasova, Z; Suarez, C; Zivojinovic, I. (2019): Forest ownership changes in Europe: State of knowledge and conceptual foundations *FOREST POLICY ECON*. 2019; 99: 9-20.
- Weiss, G. (2021): „Alpine Raumordnung“ Lehrveranstaltungsunterlagen, BOKU.

Wildökologie – Wildmanagement - Wildeinfluss im Schutzwald

Heimo Schodterer, Friedrich Reimoser, Fritz Völk und Josef Zandl

Stand des Wissens

Problematik

Viele Schutzwälder weisen mangelhafte Waldverjüngung auf. Auf etwa der Hälfte der verjüngungsnotwendigen Schutzwaldfläche ist nach der Österreichischen Waldinventur 2007-09 keine Verjüngung vorhanden, nur etwa auf einem Viertel bis auf einem Drittel der Schutzwaldflächen mit notwendiger und vorhandener Verjüngung wird kein Wildschaden ausgewiesen (Schodterer H. 2011).

Während sich durch die Klimaerwärmung die Standortbedingungen für die Baumarten und Waldgesellschaften verändern und es vermehrt zu Stürmen, Trockenperioden und Schädlingsbefall kommt, werden die Schutzwälder zunehmend zu Rückzugsgebieten für Schalenwild. Die ohnehin hohen und nicht an die Tragfähigkeit der vorhandenen Habitats angepassten Schalenwildbestände (Rotwild, Rehwild, Gamswild) weichen zunehmend in für den Menschen schwer zugängliche und damit relativ ruhige Schutzwaldbereiche aus, sei es um dem Jagddruck oder der zunehmenden Störung durch die Freizeitgesellschaft zu entgehen.

Dadurch wird das Aufkommen von Verjüngung auf ohnedies schwierigen, oft seichtgründigen, steilen oder vergrasteten Standorten durch den Wildeinfluss stark verzögert oder ganz verhindert. Besonders das An- bzw. Aufkommen von verbissbeliebten Mischbaumarten, wie Tanne und vielen Laubbaumarten, wird durch Wild oder auch Weidevieh durch Verbiss, Vertritt, Fegen, Schlagen oder Schälen vielerorts völlig verunmöglicht.



SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Wild wird bei der Schutzwaldbewirtschaftung meist nicht als Standortfaktor berücksichtigt, und umgekehrt auch der Waldzustand nicht bei der Wildbewirtschaftung. Forst- und Jagdbetrieb laufen oft zu wenig abgestimmt völlig unabhängig nebeneinander ab.

Einflussgrößen der Wildlenkung

Das Wild wird bewusst, oder unbewusst weg von Wirtschaftswaldbereichen und Lagen außerhalb des Waldes in meist schwer zugänglichen Schutzwald gelenkt und dadurch dort konzentriert (Völk F.2019; Reimoser F., Reimoser S.2019,2020; Reimoser F. 2016, 2020).

Das kann bewusst geschehen um etwa bei Erhaltung eines hohen Jagdwertes die Wildschäden aus dem Wirtschaftswald in den Schutzwald „abzuleiten“, wo für den Betrieb kein kurzfristiger betriebswirtschaftlicher Schaden droht.

Sehr oft geschieht es aber auch unbewusst, etwa durch:

- Massnahmen im Rahmen des Jagdbetriebes, etwa Lenkungsmassnahmen wie die Anlage oder das Auflassen von Fütterungen, Kurrungen, Salzlecken, Äsungsflächen, Anlage von Wintergattern die sich alle ungewollt auch auf den Schutzwald auswirken. Wintergatter sollen zum Beispiel Rotwild im Frühling so lange festhalten bis sie ohne den Wirtschaftswald zu beeinträchtigen direkt in die Hochlagen ziehen können. Dabei denkt man an die Freiflächen oberhalb des Waldes, trifft aber eben ungewollt auch die oberen Schutzwaldbereiche. Aber auch die Art der Bejagung wie wie z.B. regelmäßige Ansitzjagd, die für das Wild bei oftmaliger Wiederholung vorhersehbar wird, oder oftmalige Jagdgänge in jagdlich attraktiven Revierteilen, außerhalb schadenskritischer Flächen und Zeiträume, oder erhöhter Jagddruck im Zuge der Wildstandsregulierung in leicht zu bejagenden Bereichen außerhalb des Schutzwaldes haben Wildlenkende Wirkung.
- Maßnahmen im Rahmen der forstlichen Bewirtschaftung gestalten den Lebensraum des Wildes und somit dessen Gewohnheiten entscheidend mit. Alle forstlichen Eingriffe oder Unterlassungen beeinflussen das Angebot von Nahrung und Deckung und somit auch die räumliche Verteilung des Wildes. Schaffung von auch tagsüber zugänglichem Nahrungsangebot durch Auflichtung dichter Waldbestände im Wirtschaftswald kann benachbarte Schutzwaldbestände entlasten.
- Maßnahmen im Rahmen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung insbesondere der Grünlandbewirtschaftung und Weidehaltung schaffen Nahrungsangebot für Schalenwild außerhalb des Waldes, Eine intensive Nutzung von Mähwiesen und Weiden durch Rotwild kann aber bei hohem Ertragsausfall oder Verschmutzung von Silage durch Rotwildlösung von den Bewirtschaftern oft nicht toleriert werden. Durch unüberwindbare (Elektro-)Zäune, oder vorübergehend auch intensive Düngung mit Gülle sowie, Reduktion der Äsungsmasse durch Pflegemaßnahmen wie z.B. Mulchen im Herbst sind diese Flächen für Wild oft nicht nutzbar.
- Maßnahmen der Tourismus und Freizeitwirtschaft beeinflussen Wild und dessen Lebensraum direkt und indirekt durch die Errichtung von Infrastruktur und flächige Beunruhigung. Dadurch wird das Wild vermehrt in steile Schutzwaldbereiche abgedrängt. Durch Störungen bei der Jagd wird die Wildstandsregulierung erschwert.
- Maßnahmen durch Besiedlung, Gewerbe und -Infrastruktur verkleinern die Wildlebensräume und unterbrechen die Wildwechsel und verändern damit die Wildverteilung.
- Zusammengefasst beeinflussen viele menschliche Tätigkeiten wie Jagd, Freizeitnutzung/Tourismus, Forstwirtschaft, Landwirtschaft Siedlung, Gewerbe und Infrastruktur die Lebensräume von Wild und dessen Verteilung und können damit Mitverursacher für hohen Wildeinfluss im Schutzwald sein.



Hauptproblem Mangelnde integrale Herangehensweise

Meist herrscht eine rein sektorale Betrachtungs- und Handlungsweise der einzelnen Akteure vor. Die Maßnahmen einzelner Nutzersektoren werden meist unabhängig von allen anderen Raumnutzern geplant und durchgeführt, anstatt aus der Gesamtschau heraus koordiniert zu handeln.

Sehr oft wird Wild von forstbetrieblicher Seite nur als Schadensverursacher wahrgenommen, die und dieses zu wenig als Standortfaktor in die forstlichen Überlegungen miteinbezogen. Seitens der Grundeigentümer wird bei der Forst- und auch Jagdbetrieblichen Sichtweise hinsichtlich Wildschäden der Fokus oft nur auf kurzfristig wirksame monetäre Entschädigung gesetzt. Es besteht oft nur ein geringes oder gar kein Bewusstsein für langfristige landeskulturelle und ökologische Schäden etwa durch den Verlust an wirtschaftlich nicht präferenzierten Baumarten.

Häufig wird von den einzelnen Akteuren die Lösung der Probleme durch Maßnahmen oder auch Verzicht der anderen Akteure erwartet. Die Verantwortung der Problemlösung wird damit an die anderen Sektoren abgeschoben. (Forstwirtschaft an Jagd, Jagd an Almwirtschaft und Tourismus, Tourismus an Forstwirtschaft und Jagd, usw.). Den Grundeigentümern, die als erste auf die einzelnen Landnutzungssektoren Einfluss nehmen können kommt dabei eine Schlüsselrolle zu.

Monokausale Sichtweisen werden oft bedingt oder auch verstärkt durch sektorale Ausbildung, und Gesetze die sektorale Sichtweise fördern und sektorale Maßnahmen fordern.

Die Bestehende **Rechtskultur** trägt das Ihre zur Problempflege bei. Sofern ein Schaden nachgewiesen werden kann, besteht das Recht auf Entschädigung, damit aber indirekt auch das Recht auf Schädigung. Was fehlt, ist eine rechtliche Verpflichtung zur Schadensvermeidung bzw. -vorbeugung die alle Landnutzer in die Pflicht

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

nimmt. Die komplizierte Rechtslage durch die Aufsplitterung der regionalen und überregionalen Kompetenzen und Zuständigkeiten erschwert eine integrale Herangehensweise zusätzlich. So kollidieren im einzelnen Schutzwaldstandort internationales EU-Recht (z.B. FFH-Richtlinie zur Gams), nationales Forstrecht, einzelne Jagdrechte der Länder. Alm-/Weiderecht, Naturschutz-, Nationalpark- und Tourismusgesetze, *Gesetze über die Wegefreiheit im Bergland*, etc. – Sie alle verteidigen die Interessen des eigenen Sektors.

Stand der Forschung - Resümee

Es bestehen bisher überwiegend Fallstudien zu Einzelaspekten der Problematik und gute sektorale Monitoringsysteme. Jeder einzelne Sektor kann eine Fülle von Untersuchungen und Studien zum Thema Schutzwald und Wildeinfluss vorlegen. Bisherige Problemlösungsansätze werden teilweise in Frage gestellt (z.B. Broggi 2021).

Ein Schutzwaldsanierungsprojekt muss das gesamte „Wildeinzugsgebiet“, den Wildlebensraum mitberücksichtigen, die entscheidenden Maßnahmen sind oftmals außerhalb des Schutzwaldes zu treffen und müssen alle Akteure einbinden.

Von den Experten wird der Wissensstand für die Herbeiführung eines tragbaren Wildeinflusses im Schutzwald als weitgehend ausreichend angesehen, die limitierenden Faktoren liegen auf juristisch – soziologisch – politischer Ebene.

Forschungsdefizite

Es gibt noch nicht viele Beispiele Interdisziplinärer Forschung. Diese liefert gute Ansatzpunkte, es fehlen aber vor allem die strukturellen und gesetzlichen Voraussetzungen zur verpflichtenden Umsetzung der bestehenden Wissensbasis. Nachhaltige Positivbeispiele des Schutzwald-Schalenwild-Managements ergeben sich i. d. R. nur bei langfristig guter Kooperation

aller beteiligten Interessengruppen auf ausreichend großer Fläche (Reimoser 2001, 2012, 2018).

Forschungsbedarf

Vertiefende Untersuchungen werden vor allem zum Gamswild benötigt (Soziologie und jagdliche Behandlung; Ursachen des Rückgangs in manchen alpinen Hauptlebensräumen bei gleichzeitig verstärktem Vorkommen in Waldgebieten, Tasser et al. 2021).

Bulletpoints

- Die Ursachen für die Probleme durch Wild im Schutzwald sind meist multifaktoriell und liegen häufig außerhalb des Schutzwaldes.
- Die Problemlösung erfordert eine umfassende Betrachtung und Abstimmung der Sektoren WLW, Forst, Jagd, Landwirtschaft, Freizeit/Tourismus sowie Siedlung/Gewerbe und Infrastruktur im gesamten „Wild-Einzugsgebiet“ des betreffenden Schutzwaldes. Alle Maßnahmen müssen räumlich und zeitlich koordiniert werden (Raumplanung).
- Beispiele gesamtheitlicher Behandlung der Problematik (z.B. alle Sektoren in einer Hand oder aufeinander abgestimmt) bieten sich an die jeweiligen Schlüsselfaktoren für effiziente Problemlösungen bei verschiedenen Ausgangslagen besser zu erforschen
- Sektorübergreifende Umsetzung benötigt sektorübergreifende Gesetzesgrundlagen.
- Sektorübergreifende Betrachtungsweise muss in den einzelnen Fachausbildungen verstärkt werden. (z.B. keine Forstausbildung ohne Wildbiologie und umgekehrt).
- Monitoring: Gemeinsame Verbissaufnahmen und Bewertung der Ergebnisse in den einzubeziehenden Jagdrevieren mit allen Beteiligten (z.B. nach OOE-Vorbild) als Grundlage für die zu setzenden Maßnahmen.
- Ableitung und/oder Anpassung der Maßnahmen und der Koordinierung auf Grundlage der Ergebnisse des Monitorings (adaptiv Management)

Literatur

- Broggi M. 2021: Verzernte Darstellungen in der Schutzwald-diskussion. Vorarlberger Jagd, Jan. & Feb. 2021 S. 6-9
- Reimoser F. 2001: Waldbau, Wildökologie und Jagdstrategien. In: Deutscher Forstverein e.V. (Hrsg.) Ein Wald für alle Fälle. Kongressbericht, Dresden, S. 424-430.
- Reimoser F. 2012: Wildschäden im Schutzwald: Wege aus der Krise gesucht. WEIDWERK 8/2012, S. 12-14.
- Reimoser F. 2017: Verbergungskünstler Schalenwild – was tun? Forstzeitung 127(4): 19-21.
- Reimoser F. 2018: Wildschadensproblem und Forst-Jagd-Konflikt im Alpenraum – Hintergründe, Entwicklungen, Perspektiven. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt (München), 83. Jahrgang 2018, S. 61-116
- Reimoser F., Reimoser S. 2019: Das Rotwild (Cervus elaphus) in Österreich. In: 25. Österreichische Jägertagung ‚Rotwildjagd im Umbruch: Neue Einflüsse und Wechselwirkungen‘. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.), Irdning, Austria, S. 5-12, ISBN: 978-3-902849-62-5 .
- Reimoser F. 2020: Wildfütterung Pro und Contra – Erfahrungen im Alpenraum. Beiträge zur Jagd- und Wildforschung, Bd. 45 (2020) 243-260
- Reimoser F., Reimoser S. 2020: Zur räumlich-zeitlichen Lenkung von Wildtieren in der Kulturlandschaft. Beiträge zur Jagd- und Wildforschung, Bd. 45 (2020) 225-242
- Reimoser F., Schodterer H., Reimoser S. 2014: Erfassung und Beurteilung des Schalenwildeinflusses auf die Waldverjüngung – Vergleich verschiedener Methoden des Wildeinfluss-Monitorings („WEM-Methodenvergleich“). BFW-Dokumentation, Wien, (17): 177 S
- Schodterer H., 2003: Die Verjüngung und Verjüngungsdefizite in subalpinen und montanen Wäldern Österreichs, BFW-Berichte; Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald, Wien, 2003, Nr. 130,7-16.
- Schodterer H. 2010: Wildeinflussmonitoring 2004-2009, BFW-Praxisinformationen Nr.22,2010, 58 S.
- Schodterer H. 2011: Waldverjüngung, Wildeinfluss und Wildschaden nach der Österreichischen Waldinventur. Tagungsbericht 17. Österreichische Jägertagung 2011. ISBN: 978-3-902559-54-8
- Schodterer H. , 2012: Waldinventur und Wildeinflussmonitoring im Vergleich. ÖFZ 1 / 2012, S. 30 – 32.
- Schodterer H. , SCHADAUER K. , 2012: Waldinventur und Wildeinflussmonitoring - Objektive Datengrundlagen. Österr.Weidwerk 2 / 2013, S. 15 – 17.
- Tasser et.al. 2021 Zur Entwicklung der Gamsvorkommen im Alpenraum. Jagd in Tirol 01/2021, S. 16-19
- Völk F. 2019: Rotwild lenken und Waldvegetation entlasten. In: 25. Österreichische Jägertagung ‚Rotwildjagd im Umbruch: Neue Einflüsse und Wechselwirkungen‘. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.), Irdning, Austria, S. 61 – 68, ISBN: 978-3-902849-62-5.
- Waldverein Vorarlberg: Es funktioniert: Schutzwald, Wild und Jagd!
<https://www.waldverein.at/es-funktioniert-schutzwald-wild-und-jagd/#more-155>

Natur- und Landschaftsschutz

Georg Frank, Harald Vacik, Herfried Steiner, Matthias Kropf und Monika Kriechbaum

Hintergrund - Problemstellung

Biotop- und Artenschutz im Wald gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die Europäische Biodiversitätsstrategie sieht, im Einklang mit dem globalen Ambitionsniveau, strengen Schutz für mindestens 10 % der Landfläche und 10 % der Meeresfläche vor. Neben der Erfassung und dem strengen Schutz aller verbliebenen Urwälder und Primärwälder werden die Mitgliedstaaten für die Ausweisung von zusätzlichen geschützten und streng geschützten Gebieten verantwortlich sein. Die Ausweisung sollte entweder zur Vervollständigung des Natura-2000-Netzes beitragen oder im Rahmen nationaler Schutzprogramme erfolgen. Für alle Schutzgebiete müssen klar definierte Erhaltungsziele und -maßnahmen festgelegt werden. Die EU-Biodiversitätsstrategie sieht aber auch die Verbesserung der Quantität, Qualität und Resilienz der Wälder

vor, insbesondere im Hinblick auf Brände, Dürren, Schädlinge, Krankheiten und andere Bedrohungen, die durch den Klimawandel voraussichtlich zunehmen werden (Europäische Kommission 2020).

Neben der EU-Biodiversitätsstrategie bestehen verbindliche übernationale Rechtsnormen (FFH-Richtlinie, Vogelschutzrichtlinie, subsumierbar unter Natura 2000; Alpenkonvention und Protokolle hierzu) welche auf nationaler Ebene durch die 9 Landes-Naturschutzgesetze implementiert werden. Neben den gesetzlichen Vorgaben gibt es eine Reihe politischer Absichtserklärungen (z.B. die Resolutionen der Ministerkonferenz zum Schutze des Waldes in Europa - Forest Europe, Sustainable Development Goals oder die nationale Biodiversitätsstrategie) welche alle auf den Schutz der Biodiversität, auch im Schutzwald, abzielen.



Stand des Wissens

Naturschutz - Strategien

Naturschutz im Wald kann nach zwei grundsätzlich verschiedenen Strategien erfolgen: entweder durch eine strikte räumliche Trennung von Schutz und Nutzung (Segregation) oder durch eine weitgehende Einbeziehung von Erhaltungsmaßnahmen in Bewirtschaftungs-Konzepte auf ein und derselben Fläche (Integration). Eine dritte Möglichkeit ist die Kombination beider Strategien, mit dem Ziel einer Balance zwischen Totalschutzgebieten für Arten und Lebensräume, die sehr hohe Habitatkontinuität erfordern und biodiversitätserhaltenden Maßnahmen oder Unterlassungen in der verbleibenden Wald-Matrix.



Schutzgebiete alleine, welche der segregativen Strategie entsprechen, können die „Erhaltung und angemessene Erhöhung der Biodiversität“, wie sie in internationalen Vereinbarungen angestrebt wird, nicht gewährleisten.

Nach derzeitigem Stand (MCPFE - FOREST EUROPE 2015) beträgt der Anteil strenger Waldschutzgebiete (MCPFE Class 1.1 und 1.2) in Österreich weniger als 1 % der gesamten Waldfläche. Es bedarf daher zusätzlich planmäßiger, angemessener und effizienter Naturschutzmaßnahmen auf der Fläche. Diese sind mit erforderlichen waldbaulichen Maßnahmen zur vorbeugenden und langfristigen Erhaltung der Wirkung von Schutzwäldern abzustimmen.

Neuere, empirische Studien zur SLoSS (Single Large or Several Small) Debatte (Fahring 2019) sprechen dafür, dass eine Vielzahl kleiner Schutzgebiete zumindest den gleichen Effekt auf die Erhaltung von Arten haben, wie wenige große. Dies wäre in einer an sich fragmentierten Landschaft wie im Österreichischen Schutzwald ein Vorteil und steht aber der Forderung der NGOs nach großflächigen Schutzgebieten, insbesondere großen Wildnisgebieten, entgegen. Überdies spricht dieser Befund dafür, dass eine Vielzahl kleinerer, vernetzter Schutzgebiete (Naturwaldreservate, Habitatwälder, biodiversity-hotspots) die Kombination von segregativen und integrativen Maßnahmen ermöglicht.

Forschungsbedarf:

- Wieviel segregativer Schutz ist durch die Ausweisung welcher Kategorien von Waldschutzgebieten zur Erreichung von Erhaltungszielen nötig? Wieviel ist genug?
- Inwieweit können Erhaltungsziele auch durch integrative Maßnahmen erreicht werden?
- Wie können integrative und segregative Maßnahmen optimal kombiniert werden?
- Welche Anpassungen sind notwendig, dass bestehende Monitoringsysteme den Zustand und die laufende Veränderung der Biodiversität in Raum und Zeit über alle Schutzkategorien abbilden können?

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Nutzungsverzicht oder Schutzwaldpflege

Vor dem Hintergrund der Europäischen Biodiversitätsstrategie (Vorgabe 10 % der Waldfläche streng geschützt) stellt sich die Frage, ob und welche Schutzwälder eine Außernutzungstellung - somit die Einstellung der Schutzwaldpflege - zulassen, ohne dass ein Verlust der Schutzwirkung in Kauf genommen werden muss.

Diese Überlegung ist nicht neu, so wurde schon 1997 vorgeschlagen, großflächige Naturwaldreservate im Schutzwald, und zwar sowohl im Schutzwald im Ertrag als auch im Schutzwald außer Ertrag einzurichten (Rieder 1997). Abzüglich gut erschlossener und daher bewirtschaftbarer Bereiche, stark verbissener Wälder und stark mit Holznutzungsrechten belasteter Gebiete wurden 300.000 ha als theoretisch dafür geeignet angesehen. Dem Vorschlag wurde entgegengehalten, dass er dem Segregationsmodell entspricht und als Alibihandlung der Forstwirtschaft interpretiert werden würde (Frank 1997, Jasser 1997) und die Erhaltung der Schutzwirkung durch aktive Maßnahmen Vorrang habe (Urban 1997). Dabei ist auch der oft unterschiedlich ausgeprägte Funktionserfüllungsgrad der Schutzwälder und die wechselnde Be-

deutung der Naturgefahren zu beachten. Lokal können einzelne Teilflächen aufgrund des vorhandenen Bestandesaufbaus die Schutzwirkung noch Jahrzehnte ohne Eingriff erhalten, während gleichzeitig ein dringender Handlungsbedarf auf anderen Teilflächen gegeben ist (Becker 2015, Stubenböck 2016).

Die Abgrenzung von Objektschutzwald zu Standortschutzwald ohne direkte Schutzwirkung ist schwierig, die taxative Aufzählung im Forstgesetz vermag die Bandbreite der Standortschutzwälder nicht klar abzugrenzen (Lipp et al. 2016). Eine eindeutige Definition und Bestandsaufnahme des Standortschutzwaldes sollte Klarheit schaffen.

Aus naturschutzfachlicher Sicht sind Standortschutzwälder in der Regel auf besonderen Standorten angesiedelt und dies bedingt häufig spezielle Biotoptypen, seltene Waldgesellschaften und eine besondere Artenausstattung. Standortschutzwälder bestehen häufig nahe der unteren, hygriisch bedingten Waldgrenze und damit in einem besonders sensiblen Bereich. Sie haben deshalb eine besondere Funktion im Klimawandel, insbesondere unter dem Aspekt des sich verändernden Baumartenspektrums.



Integrative Maßnahmen, aber auch die Ausweisung von kleineren Waldschutzgebieten bedürfen einer Differenzierung sowohl des Standortschutzwaldes als auch des Objektschutzwaldes nach Waldgesellschaften und Bestandestypen.

Konfligierende Interessen müssen erkannt und berücksichtigt werden: Die berechtigte Forderung nach Wildruhezonen könnte zu verstärktem Verbiss und damit Unterbrechung des Verjüngungszyklus führen. Verbissempfindliche Waldgesellschaften wie Eschen-Ahorn-Schlucht- und Hangwälder, Tannen-dominierte Waldgesellschaften, Schneeheide-Kiefernwald und bodensaure Eichenwälder wären besonders betroffen. Es gibt aber auch Zielkonflikte innerhalb des Naturschutzes. So stellen durch Wildverbiss oder Beweidung entstandene lichte Wälder besondere Refugien für licht- und wärmeliebende Tier- und Pflanzenarten dar. Natürliche Abläufe mit einsetzender Verjüngung würden mittel- bis langfristig zum Verschwinden dieser besonderen Bedingungen und assoziierten Arten führen (Arzberger & Pukall 2018). In ähnlicher Weise kann das Offenhalten von Almflächen aus Artenschutz- oder Landschaftschutzgründen (u.a. Lärchwiesen) berechtigt sein aber gleichzeitig zu ungünstigen Abflussverhältnissen führen.

Forschungsbedarf

- Im Naturschutz-Kontext Abschätzung, welche Waldgesellschaften und Bestandestypen unter welchen Bedingungen (u. a. Schalenwildichten) sich selbst überlassen werden können - Gefährdungsanalyse und Risikoabschätzung. Prioritätenreihung, wo verstärkter Handlungsbedarf besteht. Berücksichtigung von Veränderungen im Klimawandel.
- Welche Standort-Schutzwälder haben gleichzeitig direkte Objektschutzfunktion, welche sicher nicht?
- Standortschutzwälder als Waldschutzgebiete? Reicht es, wenig produktive Standortschutzwälder als Biodiversitäts-Vorrangflächen auszuweisen? Brauchen auch Standortschutzwälder eine gezielte Bewirtschaftung? Welche Standortsschutzwälder? Welche Bewirtschaftungsmaßnahmen?

Schutzwald als Lebensraum

Nicht jede Außernutzungstellung führt zwangsläufig zu Instabilität und flüchtigem Zusammenbruch. Es kommt auf die Ausgangssituation an. Gestufte und strukturierte Bestände können sich auch nach Störungen rasch regenerieren, wenn die Verjüngung sich bereits in Wartestellung befindet und nicht erst durch Naturverjüngung oder künstliche Aufforstung herbeigeführt werden muss. Umso mehr gewinnt die kontinuierliche Verjüngung an Bedeutung.

Das Forschungsprojekt ELENA - Empfehlungen für die Naturverjüngung von Gebirgswäldern – eine Studie zur natürlichen Regeneration in Naturwaldreservaten (Vacik et al 2010) hat gezeigt, dass es keine allgemeingültigen Bedingungen gibt, wann und wo die Verjüngung ankommt. Größtmögliche Vielfalt der Kleinstandorte schafft Voraussetzungen für spontanes Ankommen der Verjüngung.

Eine zentrale Maßnahme des Biodiversitätsschutzes auch im Schutzwald ist die Anreicherung mit Totholz, insbesondere starkem stehendem Totholz. Starkes Totholz ist für Arten mit jahrelangem Entwicklungszyklus essentiell, weil darin konstante Feuchte- und Temperaturverhältnisse gewährleistet werden. Zielkonflikte entstehen bei der Anreicherung von liegendem Totholz im unmittelbaren Gewässerbereich. Es gibt hochspezialisierte Arten, die im Uferbereich von Wildbächen leben, z.B. Schwarzer Grubenlaufkäfer (*Carabus variolosus nodulosus*) oder das Kärntener Spatenmoos (*Scapania carinthiaca*) auf Totholzstämmen, die an Wasserfällen und in Schluchten periodisch überspült werden. Beide Arten sind prioritäre Arten im Sinne der FFH-Richtlinie.

Liegendes Totholz in fortgeschrittenen Zersetzungsstadien kann in Hochstauden-reichen Waldgesellschaften eine Voraussetzung für die Ansamlung und das Aufkommen der Waldverjüngung sein. Über solche speziellen Verhältnisse der Konkurrenzvegetation hinausgehend, hat jedes Totholz positive Auswirkungen auf die Struktur und Wasserspeicherung von Böden und

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

damit auf die Resilienz von Waldökosystemen. Borkenkäferkalamitäten sind die wesentlichen Treiber des Totholzangebotes in montanen und subalpinen Nadelwäldern. Verbesserte Risikoabschätzung von Gradationen und angepasstes Management könnten den Zwang zu flächigen Nutzungen verringern.

Neben der Anreicherung mit Totholz gibt es eine Reihe weiterer integrativer Maßnahmen, wie der gezielte Schutz von Kleinbiotopen (Naßgallen, Trockenstandorte etc.), Förderung seltener Baumarten (mit oft nicht genügend bekannter Funktion im Waldökosystem) und das Belassen von Habitatbäumen bis zur Entstehung von Totholz.

Forschungsfragen

- Wie kann ein besseres Verständnis der Biologie und Ökologie xylobionter Insekten und Pilze in Hinblick auf ihre naturschutzfachliche Bedeutung erlangt werden?
- Welche Möglichkeiten der gezielten Vorlage von Totholz bzw. gezielter Förderung von Totholz (Ringeln, Querschlägern), um eine raschere Anreicherung mit Totholz zu erreichen, sind im Schutzwald umsetzbar, wie könnten Leitlinien entwickelt werden?
- Welche Synergieeffekten können bei der Totholzanreicherung als Naturschutzmaßnahme und Maßnahme der Schutzwaldpflege (u.a. Steinschlagschutz, Wildholz) identifiziert werden?



- Wie können weiterführende Untersuchungen zur Verjüngungsökologie und Moderholz, einen Beitrag zur Erhöhung der Schutzwirkung - unter Berücksichtigung sich ändernder Klimabedingungen - leisten?
- Welche Möglichkeiten des integrativen Naturschutzes lassen sich im Schutzwald unter Berücksichtigung der Erreichung von anderen Waldökosystemleistungen umsetzen (Totholz, Kleinstandorte, seltene Baumarten, Habitatbäume)?

Synergieeffekte des integrativen Naturschutzes und der Schutzwaldpflege im Klimawandel

Sowohl der Naturschutz, als auch die Schutzwaldpflege verfolgen als übergeordnetes Ziel die Resilienz von Schutzwäldern, insbesondere im Klimawandel. Resilienz ist nicht Widerstandsfähigkeit, sondern die Fähigkeit eines Systems, nach einer Störung rasch wieder in seinen Ausgangszustand zurückzukehren.

Es ist zu erwarten, dass die steigende Wahrscheinlichkeit für einen Temperaturanstieg, dem Auftreten von Hitzewellen und Dürreperioden, sowie die Abnahme der Schneedeckendauer und die Zunahme von Starkniederschlägen zu einer erhöhten Frequenz von Störungen des Waldökosystems Schutzwald führen werden. Störungen können von vielfältiger Art sein: Windwurf, Waldbrand, Schneebruch, Trockenschäden, Insektenkalamitäten.

Gemeinsames Ziel von Naturschutz und Schutzwaldpflege muss es sein, die Biodiversität, also Verschiedenartigkeit der Waldökosysteme so zu ermöglichen, dass diese in der Lage sind, auf unvermeidbare Störungen zu reagieren.

Voraussetzung dafür sind

- die strukturelle Diversität, also vielfältige Waldaufbauformen mit Verjüngung in Wartestellung,
- die Artendiversität, wobei nicht nur die Baumarten gemeint sind und

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

- die funktionale Diversität, als Ausdruck für das komplexe Zusammenwirken aller Organismen in einem Waldökosystem.

Einer der Hauptstreitpunkte zwischen Naturschutz und Gebirgsforstwirtschaft ist der Wegebau. Jede Forststraße ist eine Barriere, aber gleichzeitig ein Korridor. Der aus Naturschutzsicht häufig geforderte Ausschluss naturschutzfachlich besonders sensibler Schutzwaldbereiche führt zwangsläufig zur de facto Nutzung als Wildruhezone und zur Begehrlichkeit für Jagdzwecke. Die Vereinbarkeit mit den Zielsetzungen des Naturschutzes ist nicht gegeben, da dies zwangsläufig zur Beeinträchtigung der Verjüngung und damit der Unterbrechung der Wald-dynamik führt.

Forschungsfragen

- Wiederbewaldung nach Störungen (Windwurf, Insektenkalamitäten, Brand) - wann und wo sind aktive Maßnahmen erforderlich? Wo nicht?
- Welche Rolle hat die räumliche Verteilung und zeitliche Dynamik von gefährdeter/ prioritärer Arten und Mikrohabitaten?
- Welche Rolle spielt die Mykorrhiza für die Funktionalität von Waldökosystemen?
- Welche Rolle spielt der Verzahnungsbereiche Wald-Almen auf Landschaftsebene (Wald-ränder, Waldgrenzbereiche (Rand-Effekte)?

Literatur

Arzberger M., Pukall K. 2018: Biotop- und Artenschutz im Schutz- und Bergwald – Schutz ist nicht gleich Schutz. AN-Liegen Natur 40(2): 91-94, Laufen.

Becker S. 2015: Bestandesentwicklung und Schutzfunktionalität des Naturwaldreservates Dürrwald, Montafon. Masterarbeit Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, Wien.

Christophel D., Spengler S., Schmidt B., Ewald J., Prietzel J. 2013: Customary selective harvesting has considerably decreased organic carbon and nitrogen stocks in forest soils of the Bavarian Limestone Alps. Forest Ecol. Manag. 305:167-176.

Europäische Kommission 2020: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der

Regionen. EU-Biodiversitätsstrategie für 2030. Mehr Raum für die Natur in unserem Leben.

https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-annex-eu-biodiversity-strategy-2030_de.pdf

Frank G. 1997: Naturwaldreservate nur im Schutzwald – kein Gebot der Zeit. ÖFZ 4/1997: 9.

Jasser Ch. 1997: Sinn der Naturwaldreservate nicht verstanden! ÖFZ 4/1997: 9.

Lipp S., Steiner H., Oettel J., Frank G: 2016: Standort-schutzwald in Österreich. Eine Studie zur Begriffsbestimmung und den Zuordnungskriterien am Beispiel der Naturwaldreservate. BFW-Berichte 150/2016. 79 S.

Oettel J., Lapin K. 2020: Linking forest management and biodiversity indicators to strengthen sustainable forest management in Europe. Ecological Indicators 122 (2021) 107275.

Pukall, K. (Hrsg.) 2020: Biotop- und Artenschutz in Schutzwäldern. Freising. Online verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/1574460>.

Rieder A. 1997: Großflächige Naturwaldreservate im Schutzwald – ein Gebot der Zeit. Österreichische Forstzeitung 2/1997: 7-9.

Rupp M., Michiels H.-G. 2020: Waldweide im Naturschutz. standort.wald 51: 153-172.

Storch, Penner J., Asbeck T., Basile M., Bauhus J., Braunisch V., Dormann C.F., Frey J., Gärtner S., Hanewinkel M., Koch B., Klein A.-M., Kuss T., Pregernig M., Pyttel P., Reif A., Scherer-Lorenzen M., Segelbacher G., Schraml U., Staab M., Winkel G., Yousefpour R. 2019: Evaluating the effectiveness of retention forestry to enhance biodiversity in production forests of Central Europe using an interdisciplinary, multi-scale approach. Ecology and Evolution 10: 1489-1509.

Stubenböck F 2016: Effekt von Waldbrand auf die Mortalität und Regenerationsfähigkeit von Schutzwald im inneralpinen Raum am Fallbeispiel Absamer Vorberg. Masterarbeit Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, Wien.

Suda M., Pukall K 2014: Multifunktionale Forstwirtschaft zwischen Inklusion und Extinktion (Essay). Schweiz Z Forstwes 165(2014) 11:333-338.

Urban W. 1997: Mit Selbstbewusstsein zur Sicherstellung der landeskulturellen Leistungen bekennen. ÖFZ 4/1997: 9.

Vacik H., Rupprecht H., Steiner H., Frank G 2010: ELENA - Empfehlungen für die Naturverjüngung von Gebirgswäldern – eine Studie zur natürlichen Regeneration in Naturwaldreservaten. Projekt-Endbericht an BMLFU. 235 S.

Walentowski H., Simon A. 2014: Wälder der Alpenen Biogeographischen Region – aus der Naturwaldforschung abgeleitete Erkenntnisse für ein staatenübergreifendes Natura 2000-Management. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz 14:57-76.

Zukrigl 1990: Schutzwaldsanierung und Naturschutz – ein Gegensatz? Natur und Land 76. Jg. (1990) 5/5.

Raumordnerische Ansätze in der Schutzwaldpolitik

Gerhard Weiß, Walter Seher und Karl Hogl

Herausforderungen und Ziele

Im Aktionsprogramm Schutzwald „Wald schützt uns“ werden die Herausforderungen angesprochen, die sich daraus ergeben, dass der Schutzwald zugleich für Freizeitnutzung beansprucht wird, Lebensraum der Wildtiere ist und Arbeitsplatz der WaldbewirtschafterInnen. Der Klimawandel verschärft die sich daraus ergebenden Probleme. Für die Abstimmung dieser und anderer Nutzungen sind neue Antworten zur Lenkung dieser Nutzungen nötig, wobei der Schutzzweck Priorität haben muss. Für adäquate Lösungen sind sektorübergreifende und regionale Instrumente notwendig.

In den Aktionsfeldern des Aktionsprogrammes werden u.a. die folgenden Vorhaben genannt:

- Koordinierung oder Entflechtung von Schutzwaldbewirtschaftung, Alpwirtschaft, Jagd und Freizeitnutzung;
- Plandarstellung und Bewertung der Objektschutzwälder, Erstellung von Schutzwaldmanagement-Plänen;
- Zusammenführung bzw. Koordination der sektoralen Planungen;
- Schutzwald als Regionalthema mit größeren Planungseinheiten und/oder als kommunalpolitische Agenda;
- Partnerschaft im Rahmen des Österreichischen Raumentwicklungskonzeptes (ÖREK);
- Kooperationsformen wie Schutzwaldplattformen oder Schutzwaldpartnerschaften;
- Weiterentwicklung der Rechtsgrundlagen und des Vollzugs von planerischen Instrumenten wie Bannwald oder der Wildruhezonen.

Auf die Auswirkungen des Klimawandels und neuer gesellschaftlicher Entwicklungen wird besonders hingewiesen. So werden Fragen des Naturschutzes oder der sich ändernden Wald-

besitzstrukturen ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Diese Vorhaben sind teilweise sehr ambitioniert, indem sie auf eine Zusammenarbeit über Verwaltungsgrenzen (Sektorengrenzen und Verwaltungsebenen) hinweg und Öffentlichkeitsbeteiligung abzielen. Diese Vorhaben stellen aber sehr zentrale Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Schutzwaldbewirtschaftung und des Naturgefahrenmanagements dar. In der Forschung sind diese gesellschaftlichen und politischen Aspekte allerdings stark unterrepräsentiert. Die aufgelisteten Herausforderungen erfordern vor allem sozialwissenschaftliches Wissen zu den gesellschaftlichen Entwicklungen, betroffenen Interessengruppen (WaldeigentümerInnen, NutzerInnen) und politischen Prozessen. Bisherige Forschungen haben sich sehr mit der (forstlichen) öffentlichen Verwaltung und den politischen Instrumenten auseinandergesetzt. Wissenslücken betreffen vor allem andere Sektoren, andere Akteure (Betroffene) und die Aktualisierung des bisherigen Wissens bzgl. neuer Instrumente und Entwicklungen.

In diesem Kapitel werden einerseits Instrumente der forstlichen Raumplanung behandelt, die für das Schutzwaldmanagement von Bedeutung sind (Schutzwaldsanierung, Bannwald), andererseits Ansätze für einen integrierten Schutz vor Naturgefahren, bei dem der Schutzwald eine wichtige Rolle spielt. Diese Ansätze beinhalten auch die Gefahrenzonenplanung, Instrumente der Raumplanung und andere Ansätze der regionalen Naturgefahren-Governance. In Abgrenzung zum Kapitel „Governance von Nutzungskonflikten“ werden dort spezifisch Fragen der Nutzungskonflikte und Schutzwaldpolitik behandelt, während hier insbesondere raumplanerische Instrumente betrachtet werden.



Grundlagen – Ansätze der Raumplanung

Die formalen Instrumente der Raumordnung in Österreich sind klar aufgeteilt auf verschiedene sektorale Zuständigkeitsbereiche, die teilweise auf Bundesebene verankert sind (z.B. Forstwesen, Wasserbau) oder auf Länderebene (z.B. Naturschutz, Jagd) sowie die nominelle Raumplanung, die im Zuständigkeitsbereich der Länder liegt und über gesetzlich bestimmte Raumplanungsinstrumente auf Landes- und Gemeindeebene sowie auf der Ebene von Planungsregionen verfügt (z.B. Kanonier, 2018; Kleewein, 2018). Auf Bundesebene besteht mit der ÖROK (Österreichische Raumordnungskonferenz) eine Koordinationsplattform, die u.a. mit zwei „Empfehlungen“ richtungsweisende Grundlagen, Prinzipien und Empfehlungen für die naturgefahrenbezogene Raumplanung erstellt hat: Empfehlung Nr.54: „Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung“ (ÖROK, 2016); und Empfehlung Nr. 57 zum Hochwasserrisikomanagement (Aktualisierung und Anpassung der „ÖROK-Empfehlung Nr. 52 zum präventiven Umgang mit Naturgefahren in der Raumordnung, Schwerpunkt Hochwasser“).

Auf EU-Ebene verfolgt die 2007 erlassene Hochwasserschutzrichtlinie (EC, 2007) mit einem flusseinzugsgebietsbezogenen Zugang einen integrierten Ansatz zum Hochwasserschutz.

Von den, den Schutzwald betreffenden Problematiken, bei denen es zumeist um die Koordination verschiedener Nutzungsinteressen geht, sind in erster Linie sektorale Planungen bzw. Regelungsbereiche betroffen. Die Raumplanung spielt bislang eine sehr untergeordnete Rolle. Die sektorale Aufteilung der Zuständigkeitsbereiche ist ein wesentlicher Hinderungsgrund für die Sicherstellung einer nachhaltigen und integrierten Nutzung und Bewirtschaftung der Schutzwälder. Eine verstärkte Koordination scheitert primär am Interesse jedes Verwaltungsbereiches, die Interessen des eigenen Sektors zu wahren.

Wissenschaftlich sind verschiedene Ansätze der Raumordnung, Regionalplanung, politischer Planung, Partizipation und Politikkoordination relevant und wurden in den verschiedenen betroffenen Themenbereichen angewandt, wie etwa zu Wald, Schutz vor Naturgefahren, Freizeitnutzung, oder Naturschutzplanung. Analysen der naturgefahrenrelevanten Rechtsbereiche

wurden u.a. im Rahmen der FloodRisk-Programme durchgeführt (Habersack et al., 2015) und in einem Handbuch zu regionaler Risiko-Governance (Kanonier und Rudolf-Miklau, 2018).

Zur forstlichen Raumplanung liegt eine sehr umfassende Analyse von Krott (1989) vor, die mit der Evaluation spezifischer Instrumente der forstlichen Raumplanung ergänzt wurde (Weiss, 1999). Partizipative Ansätze wurden von Rappold (2000) untersucht und ein Handbuch zur Partizipation in der WLW wurde in Zusammenarbeit von BOKU und Ministerium erstellt.

An der BOKU befassen sich verschiedene Institute mit Fragen verschiedener walddrelevanter Planungen (z.B. Institut für Wald-, Umwelt- und Ressourcenpolitik, Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung, Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung), an der TU Wien gibt es u.a. relevante Forschungen zum Naturgefahrenmanagement im Fachbereich Bodenpolitik und Bodenmanagement. Weiters befassen sich Geographie-Institute verschiedener österreichischer Universitäten mit Naturgefahren. Die BOKU-Lehrveranstaltung „Alpine Raumordnung“ befasst sich speziell mit Fragen des Naturgefahrenmanagements, auch im Bereich Schutzwald.

Stand des Wissens

Waldentwicklungsplan und andere forstliche Raumplanungsinstrumente

Der Waldentwicklungsplan (WEP) in Österreich ist ein forstlich-sektorales Planungsinstrument auf regionaler Ebene, das forstpolitisch relevante Grundlagen sammelt und darstellt und die Bedeutung der Waldressourcen nach dem Ansatz einer Waldfunktionenbewertung verbildlicht. Probleme dieses Ansatzes liegen in der sektoralen Ausrichtung, einer immanenten Tendenz zur Segregation durch das Leitfunktionskonzept, der reinen Expertenplanung ohne Einbindung unterschiedlicher gesellschaftlicher

Interessengruppen, einem mechanistischen Planungsansatz, aus dem Wertentscheidungen nicht ersichtlich sind, der selektiven Berücksichtigung von Interessen in der automatischen Bevorzugung der Nutzwirkung, in der engen Verbindung der planenden Behörde mit forstlichen Interessengruppen und einer symbolischen Politik, die in der Unverbindlichkeit der Planungsinhalte zum Ausdruck kommt (Krott, 1989; 1991). In der Begründung des WEP war eine wesentliche Motivation die, andere Verwaltungen wie zB die Raumplanung davon abzuhalten, im Wald planend aktiv zu werden (Krott, 1989). Der WEP ist damit in erster Linie ein Informationsinstrument in der forstbehördlichen Tätigkeit, das primär für die Arbeit der Forstbehörde selbst Bedeutung hat. Mit dem sektoralen Planungsansatz kann er nur sehr begrenzt zu einer intersektoralen Koordination beitragen. Eine Alternative ist die Verfolgung eines Governance-Ansatzes mit partizipativer Planung (Öffentlichkeitsbeteiligung und Abstimmung mit anderen Stakeholdern) wie er im Rahmen des „Walddialog“-Prozesses und den darin eingebetteten Schutzwaldplattformen verfolgt wird.

Für schutzwaldbezogene Fragen sind die Länderschutzwaldkonzepte insbesondere relevant, in welchen der Waldzustand und Schutzwirkungen dargestellt sind. Durch die Zusammenarbeit der Forstdienste sowie der Wildbach- und Lawinerverbauung mit den jeweiligen forstlichen und risikoorientierten Expertisen ergibt sich eine fundierte Prioritätenreihung für den Einsatz öffentlicher Mittel in der Schutzwaldsanierung (Weiss 1999). Die Qualität der Planungen, wurde mittels Modellierungen in Hinsicht der Beurteilung der Objektschutzwirkung in jüngerer Zeit verbessert (Perzl und Huber, 2014).

Das im Forstgesetz genannte Instrument des Waldfachplanes, dem im Wesentlichen die betrieblichen Operate entsprechen, ist bisher weniger relevant, doch könnte er für lokale oder regionale schutzwaldbezogene Planungen ein Einsatzgebiet finden, wenn etwa besitzerübergreifende Schutzwald- oder Bannwald-Managementpläne erstellt werden.

Das Schutzwald-Aktionsprogramm zielt eine Partnerschaft mit dem ÖREK 2030 für eine Kopplung von Schutzwald- und Raumplanung an. Die Herausforderung für eine solche Kopplung liegt in kompetenzrechtlichen Fragen. Forstliche Instrumente (Forstwesen als Bundessache) können aus dem Grund der verfassungsmäßigen Kompetenzaufteilung nicht in die Raumplanung (Ländersache) hineinwirken, und umgekehrt kann die Raumplanung in der Schutzwaldplanung nicht aktiv werden. Eine im Aktionsprogramm angedachte regionale und intersektorale Abstimmung wird daher informelle Formen der Kooperation finden müssen, wofür im ÖREK allerdings ein Rahmen geschaffen werden kann. Spezifische Untersuchungen für diese Möglichkeiten liegen bisher nicht vor.

Bannwald

Das „Bannwaldinstrument“ im österreichischen Forstgesetz regelt das Verhältnis zwischen Eigentümern von schützenden Wäldern und den Schutzbegünstigten und ist in dieser Hinsicht sinnvoll und unverzichtbar. Es zielt auch auf die Regelung einer vorausschauenden, schutzorientierten Waldbewirtschaftung, in welcher Hinsicht es allerdings kaum Wirksamkeit zeigt, da schutzwirksame Wälder kaum ausgewiesen sind und auch in ausgewiesenen Bannwäldern eine verbesserte Waldbewirtschaftung praktisch nicht beobachtbar ist (Weiss, 1999). Die Bannwaldfläche sank von ca. 25.800 ha im Jahr 1975 auf ca. 10.500 im Jahr 1995 (Schmiderer und Weiss, 1999). Die wirksame Umsetzung scheitert an Widerständen auf beiden Seiten der Interessensparteien (WaldeigentümerInnen und Schutzbegünstigte), welche versuchen, Kosten abzuwälzen. Die Implementation der Bannwaldregelung, die eigentlich Vorteile für beide Seiten besitzen sollte, könnte über erfolgreiche Präzedenzfälle gelingen und wenn die Forstbehörde die Interessen beider Parteien und der Öffentlichkeit wahrnimmt. Eine gewisse Rolle haben Bannlegungen, indem sie von der WLW im Zuge von flächenwirtschaftlichen Projekten vielfach

zur rechtlichen Absicherung verwendet werden (Weiss, 1999). In der Zukunft könnte verstärkt auf Bannlegungen in Kombination mit Waldsanierungs- bzw. flächenwirtschaftlichen Projekten gesetzt werden (Schmiderer und Weiss, 1999), oder in Kombination mit anderen Governance-Instrumenten wie Schutzwaldplattformen oder –gemeinschaften (sh. auch Kapitel „Governance“).

Schutzwaldsanierung und flächenwirtschaftliche Projekte

Die Forstbehörde zeigt seit Jahrzehnten eine Notwendigkeit zur Sanierung vieler Schutzwaldflächen auf und hat erfolgreich öffentliche Mittel dafür gefordert. Als Ursache für den schlechten Schutzwaldzustand kann eine über Jahrzehnte unangepasste Bewirtschaftung der Schutzwälder hinsichtlich Wald, Wild und/oder Weide genannt werden. Projekten der Schutzwaldsanierung gelingt es allerdings selten, die Ursachen für schlechte Waldzustände zu beseitigen, Ursachen, hinter welchen verschiedene Nutzungsinteressen stehen. Mögliche Strategien für eine nachhaltige Verbesserungen umfassen u.a. die Beteiligung örtlicher Bündnispartner um ihre Wertschätzung der Schutzwirkung zu gewinnen und/oder Schutzbegünstigte zu finanziellen Beiträgen für die Verbesserungsmaßnahmen zu verpflichten (Weiss 1999). Die Schutzwaldplattformen sowie die verpflichtenden Interessentenbeiträge Begünstigter gehen in diese Richtung. Um die Wirkung dieser Ansätze abzusichern und auszubauen, müssten sie weiterentwickelt werden, etwa durch stärkere Institutionalisierung in verbindlicheren Strukturen. Dazu fehlen allerdings weitergehende Studien.

Schutzwaldsanierungsprojekte der Forstdienste und flächenwirtschaftliche Projekte der WLW unterscheiden sich stark in ihren Zugängen, indem die Forstdienste eher am Standortschutzwald ausgerichtet sind und daher größere Flächen wählen, deren multifunktionelle Wirkungen sie

fördern möchten und dort mit den Grundeigentümern arbeiten. Demgegenüber orientiert sich die WLW eher am Objektschutzwald und plant gezielte Maßnahmen für die Verbesserung der Schutzwirkungen, die sie vielfach auch selbst durchführt (Weiss 1999; 2002). In den flächenwirtschaftlichen Gemeinschaftsprojekten beider Dienststellen werden vielfach den beiden Akteuren Teilflächen zugeteilt. Der Zugang der Forstdienste erscheint in Fällen zweckmäßig, wo die WaldeigentümerInnen an einer aktiven Waldbewirtschaftung interessiert sind und die Schutzwirkungen nicht im Vordergrund stehen. Der Zugang der WLW mit finanzieller Einbindung der Unterlieger ist in Objektschutzwäldern angemessen. Der WLW ist es im Rahmen ihrer Projekte teilweise gelungen, hinsichtlich der Waldbewirtschaftung wirksam Rahmenbedingungen zu schaffen, die auch eine Waldverjüngung erlauben (insbesondere in Vorarlberg). Die Umsetzung jagdrechtlicher Instrumente war dabei notwendig. Die konsequente Anwendung der Richtlinie zu Hinderungsgründen für eine Maßnahmensetzung durch öffentliche Mittel und das zielorientierte Agieren unabhängig von lokalen Interessengruppen ist dabei ausschlaggebend (Weiss, 1999).

Governance-Ansätze, welche auf eine Einbindung der Betroffenen (Besitzer*innen und Interessent*innen; in Kommunikation und Finanzierung) abzielen, können beitragen, Interessensgegensätze auszugleichen. Dabei kann aber nicht auf den Einsatz zweckmäßiger, rechtlicher Regelungen verzichtet werden, etwa auf Regelungen des Forst-, Jagd- und Wasserrechts. Aus institutionenökonomischer Sicht kann erwartet werden, dass klare Regelungen die Umsetzung verbessern. Ein Beispiel für eine gesetzliche Klärung ist die Unterscheidung von Standorts- und Objektschutzwald durch die FG-Novelle 2002. Die Unklarheit des Schutzwaldbegriffs war zuvor von verschiedener Seite kritisiert worden (Rechnungshof; Weiss, 1999). Die konkrete Auswirkung der neuen begrifflichen Unterscheidung ist bisher allerdings nicht untersucht worden (sh Kapitel „Governance“).

Integrierte Planungsansätze im Schutzwaldmanagement

Integrierte Planungsmodelle können dem Paradigma des „Governance“-Ansatzes in der politischen Planung folgen („new modes of governance“). Mit einer Kombination von Expertenplanung und Partizipation (Stakeholder-Einbindung, Bürgerbeteiligung) werden die Vor- und Nachteile beider Ansätze verbunden bzw. ausgeglichen. Dabei kommen drei wesentliche Prinzipien zum Tragen (Glück et al., 1999; Voitleithner, 2002; Hogl, 2004):

- Verbesserung der Rationalität von Politiken durch das Ersetzen/Ergänzen des traditionellen (aber auch rechtlich festgelegten) hierarchischen Verwaltungsmodells durch Netzwerke und Verhandlungssysteme und der technokratischen Expertenplanung durch partizipative Prozesse. Dies verspricht auch erhöhte Akzeptanz der Planungsinhalte und -ziele durch die Adressant*innen.
- Sicherung der langfristigen Orientierung von Politiken durch ein Herabbrechen langfristiger Ziele in mittelfristige Pläne und kurzfristige Programme. Die Umsetzung erfolgt in iterativen Schritten, Monitoring und Evaluation.
- Verbesserte (intersektorale) Koordination der Akteure mit dem Ziel von Konsens- und/oder Kompromissfindung zwischen öffentlichen und privaten Akteuren (Behörden und Interessengruppen) durch Information und Überzeugung; sowie innerhalb von Verwaltungen durch Schulung, Leitbildprozesse, etc. (*capacity building*).

Der österreichische Walddialog und die auf verschiedenen Verwaltungsebenen initiierten Schutzwaldplattformen folgen diesen Prinzipien neuer Governance (Voitleithner, 2006). In der Praxis der Schutzwaldplattformen steht Bewusstseinsbildung bei Bevölkerung, WaldbesitzerInnen, InteressenvertreterInnen und PolitikerInnen im Mittelpunkt, während die „Bildung von Allianzen“ oder Interessenausgleich und Konfliktregelung weniger oft bzw. weniger stark angestrebt werden (Voitleithner, 2006). Für eine

Institutionalisierung und weitergehende Wirksamkeit bräuchte es zusätzliche Impulse, prozedurale Verbesserungen oder geänderte institutionelle Rahmenbedingungen. Partizipative Ansätze können aber die zweckmäßige Ausgestaltung finanzieller Instrumente und die Umsetzung des rechtlichen Instrumentariums nicht ersetzen, sondern sollten diese ergänzen und erleichtern.

Gefahrenzonenplanung

Österreich hat mit der Entwicklung und Einführung der Gefahrenzonenplanung als Instrument zum Schutz gegen Wildbäche und Lawinen international eine Vorreiterrolle inne. Es ist ein zentrales Instrument im vorbeugenden Ansatz des forsttechnischen Systems des Wildbach- und Lawinenschutzes in Österreich. Später kamen die Abflussuntersuchungen und die Gefahrenzonenpläne der Bundeswasserbauverwaltung hinzu, die ähnlich geregelt sind.

Die Gefahrenzonenpläne haben für sich den Charakter eines Gutachtens und erlangen Rechtswirkung durch die Raumordnungsgesetze. Die praktische Wirkung der GZP der WLW ist zusätzlich durch informelle Zusammenhänge und über die Richtlinie „Hinderungsgründe“ gegeben (Weiss 1999).

In der politischen Praxis ergeben sich Wirkungsdefizite über die Zeit aus dem Umstand, dass die GZP einen Istzustand beschreibt, die Zonen nach erfolgten Schutzverbauungen angepasst werden, und Flächenwidmungen vielfach in durch Schutzverbauungen geschützte Zonen nachrücken (Weiss, 2002; 2003; 2006). Dadurch wird die gewonnene Sicherheit teilweise wieder aufgegeben, die Investitionen in den Schutz kommen somit nicht ausschließlich einer höheren Sicherheit, sondern auch Entwicklungsinteressen zugute. Dies widerspricht allerdings der Mittelwidmung und kann zu dramatischen Folgeschäden führen, da die Schutzverbauungen immer nur auf ein bestimmtes Bemessungsereignis ausgelegt sind und Restrisiken aufweisen. Diese Unterwanderung der Gefahrenvorsorge durch

Entwicklungsinteressen wurde vielfach aufgezeigt (Dammefekt, White, 1945; „Paradoxa“ im Katastrophenschutz, Burby, 2006; Bebauungs-Verbauungsspirale, Weiss, 2002; 2003; 2006; sh auch den nächsten Punkt). Zur Vorbeugung können entsprechende raumordnungsrechtliche Regelungen (z.B. Baulandwidmungsverbot, hochwasserangepasste Bauweisen) getroffen werden, doch können Gefahrenzonenpläne und Abflussuntersuchungen selbst auch dazu beitragen, etwa durch die Ausweisung von Restrisiken nach einer Verbauung. Dies erfolgt teilweise in der GZP der WLW und ist in den neueren Gefahrenzonenplänen der BWV standardmäßig vorgesehen.

Recht im Naturgefahrenmanagement

Der Umgang mit Naturgefahren berührt zahlreiche rechtliche Materien, die von zivilrechtlichen Fragen und strafrechtlichen Aspekten (Murschütz, 2006) bis zum öffentlichen Recht und zur Politikumsetzung reichen (Senn, 2006; Weber, 2006; Weiss, 2006). Bei der Betrachtung des Naturgefahrenmanagements als Staatsaufgabe (Weber, 2018) sind grundsätzliche Fragen zum Spannungsfeld zwischen Staat und Privat zu klären (Kerschner, 2018), Fragen von Eigenverantwortung und Amtshaftung (Kocholl, 2006) oder die Grenzen des Rechts. Diese rechtlichen Bereiche können nicht isoliert, sondern müssen gemeinsam betrachtet werden, wenn es um die Abwägung der Notwendigkeiten, Möglichkeiten und Grenzen der staatlichen Steuerung geht. Gleichermäßen gesamthaft müssen die bisherigen Ansätze und die Optionen neuer, privater Vorsorgemaßnahmen oder Instrumente wie z.B. Versicherungslösungen beurteilt werden (Schüssler, 1999; Schieferer, 2006).

Wichtige Rechtsmaterien im Naturgefahrenmanagement i.e.S. sind einerseits das Raumordnungsrecht und andererseits das Baurecht, die jeweils in erster Linie Beschränkungen vorsehen, mit welchen Naturgefahrenrisiken für die Bevölkerung eingeschränkt werden und die bauliche Nutzung gefährdeter Bereiche gesteuert wer-

den soll. Raumplanungsrechtliche Beschränkungen im Naturgefahrenrisikomanagement bestehen in Widmungsverboten und –beschränkungen (z.B. für Bauland), die v.a. über die örtliche Raumplanung umgesetzt werden (Kanonier 2006; 2018). Die Raumordnungsgesetze in Österreich nehmen überwiegend zumindest in allgemeiner Form auf die Baulandeignung von Flächen hinsichtlich ihrer Gefährdung durch Naturgefahren Bezug, einige formulieren konkrete Grenzwerte der Gefährdung. Naturgefahren sind entsprechend in den Instrumenten der überörtlichen und örtlichen Raumplanung zu berücksichtigen. Die Gefahrenzonenplanung wurde durch verstärkte politische Aufmerksamkeit im letzten Jahrzehnt in Österreich praktisch flächendeckend für alle Gemeinden mit Gefährdungslagen ausgebaut. International war und ist Österreich ein Vorreiter in der Gefahrenzonenplanung. Im Weiteren wirken baurechtliche Bestimmungen über Baubewilligung und Objektschutz zur Risikovorsorge (Kleewein, 2018). Dabei kommen sowohl vorsorgliche Bestimmungen als auch Bauauflagen in der Ausführung zum Tragen.

Das Raumordnungsrecht hat mit der räumlichen Steuerung der Siedlungsentwicklung eine zentrale Rolle in der Schadensvorsorge, wobei aber eine dynamische und integrierte Betrachtungsweise des Zusammenwirkens der Erstellung von Schutzmaßnahmen und der Flächenwidmung wichtig ist. Fehlt diese, kann es zu kontraproduktiven Entwicklungen führen, die schon 1945 als Dammeffekt beschrieben wurden (White, 1945). Dabei geschieht eine nicht-intendierte Entwicklung, indem die geschützten Flächen für eine Siedlungserweiterung verwendet werden. Damit wachsen die gefährdeten Werte im Gefährdungsbereich. Bei Katastrophenereignissen, die über das realisierte Sicherheitsniveau hinausgehen (Bemessungsereignis), ist das Schadensausmaß dann größer als wenn es gar keine Schutzmaßnahmen gegeben hätte. Diese Problematik wurde mit den „Paradoxien“ im Katastrophenschutz (Burby, 2006) oder der Bauungs-Verbauungsspirale (Weiss 2002; 2003; 2006) neuerlich beschrieben und spezifiziert. Sie wird in der österreichischen Praxis der Wild-

bach- und Lawinenverbauung u.a. unter dem Stichwort „Revisionsflächenproblematik“ diskutiert. Einige Bundesländer haben in jüngerer Zeit in ihren Raumordnungsgesetzen entgegenwirkende Bestimmungen aufgenommen, wobei die Länder dabei unterschiedliche Ansätze finden (Tirol, OÖ). In der Raumordnungspraxis verfolgen die Bundesländer durchaus unterschiedliche Strategien oder „Paradigmen“ in der Raumentwicklung, indem sie im Umgang mit dem Naturgefahrenrisiko mehr oder weniger risikofreundliche Wege einschlagen (Paradigma der begrenzten Entwicklung in Tirol vs. Paradigma der ausgeweiteten Landnutzung in Vorarlberg, Hoke, 2013).

Ausgelöst von größeren Schadereignissen (Lawinen: Ischgl, Galtür 1999; Hochwasser: Donau u.a. 2002) wurden die relevanten Instrumente aus dem Raumordnungs- und Baurecht in den jüngeren Jahren adaptiert, wobei die Bundesländer unterschiedliche Wege gegangen sind. So sind die speziellen Regelungen im TROG vs. OÖROG unterschiedlich, haben aber vergleichbare Wirkungen hinsichtlich der Hintanhaltung der Siedlungsausweitungen in gefährdete Gebiete. Zudem wurde die Richtlinie für die GZP bei Lawinen adaptiert, indem die Grenzwerte für die Ausweisung der roten Zonen verschärft wurden. Diese Änderung, die eine Vergrößerung der roten Zonen impliziert, war durchsetzbar, da diese Ausweitungen sich vielfach mit den Verkleinerungen durch erfolgte Schutzverbauungen aufheben (Hoke, 2013).

Katastrophenereignisse können Gelegenheitsfenster bilden, schaffen jedoch nicht allein die Weiterentwicklung der rechtlichen Regelungen. Diese folgen größeren Diskursänderungen und benötigen längerfristige Lernprozesse, wofür kontinuierliche, wissenschaftliche Bearbeitung der Themen und Austausch mit der politischen Praxis wichtig sind (Voss and Wagner, 2010; Pukall, 2016).

Die von Burby (2006) beschriebenen zwei Paradoxa sind auch in Österreich beobachtbare, gefährliche Mechanismen (Weiss, 2021): Nach dem „Safe Development Paradox“ machen Schutzver-

bauungen Flächen sicherer gegenüber kleineren Ereignissen, doch erhöht die folgende Nutzung das Schadenspotential bei größeren Katastrophen (sh. Bebauungs-Verbauungsspirale). Laut „Local Government Paradox“ braucht es Regulierung von höheren Verwaltungsebenen, da auf lokaler Ebene Entwicklungsinteressen meist die Schutzinteressen überwiegen. Der Reformulierungsprozess des Tiroler Raumordnungsgesetzes in den 1990er-Jahren (Weiss, 2021) und die Verschärfung der Lawinen-Gefahrenzonen (Hoke, 2013) sind illustrative Beispiele für diesen Mechanismus: in beiden Fällen wird sichtbar, dass die lokalen Entscheidungsträger zur Unterstützung von Entwicklungsinteressen neigen, höhere Politikebenen dagegen stärker die Vorsorge unterstützen.

Integriertes Naturgefahrenmanagement und Risiko-Governance

Die wissenschaftliche Literatur ist sich einig, dass ein vorsorgender und nachhaltiger Schutz vor Naturgefahren nur durch ein integriertes Naturgefahrenmanagement erreichbar ist. Dies fordert auch die ÖROK-Empfehlungen Nr. 54 - Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung (ÖROK, 2016): *„Empfehlung 1: Integriertes Naturgefahrenmanagement: Durch ein integriertes Naturgefahrenmanagement soll langfristig eine möglichst große Sicherheit vor allen Naturgefahren erzielt werden.“*

Holistische Ansätze tragen dabei unterschiedliche Namen (auch integraler oder integrativer Ansatz) und werden auch unterschiedlich konzeptualisiert. Eine Art der Darstellung spricht von einem Baukastensystem mit unterschiedlichen einander ergänzenden Elementen, bestehend etwa aus Verbauungen und sekundären technischen Maßnahmen, katastrophenvorbeugender Landnutzung im Einzugsgebiet, Raumplanung im Gefahrengebiet, Warnsystemen und Katastrophen-Management. Ein anderes klassisches Konzept beschreibt einen Kreislauf des Risikomanagements mit den Elementen Vorbeugung, Bewältigung und Wiederherstellung,

etwa mit Prävention, Vorsorge, Warnung, Katastropheneinsatz, Instandsetzung und Wiederaufbau (zB Habersack et al., 2004). Dabei stellen Studien oft fest, dass die Umsetzung von technischen Schutzverbauungen vergleichsweise am besten gelingt, Raumplanung teilweise Erfolge erzielt, Warnung und Katastrophenmanagement aber vielfach versagen, mit dramatischen Auswirkungen i.S.v. Sachschäden und Verlust von Menschenleben. Informationsinstrumente zu Naturgefahren wurden in jüngerer Zeit stark verbessert (Hochwasserinformation, GZP), aber gezielte Kommunikation oder Partizipation ist selten (Habersack et al., 2015). Defizite bestehen also weniger in bautechnischen Vorsorgemaßnahmen, als vielmehr auf organisatorischer-institutioneller Ebene. Der überwiegende Teil von Investitionen in Forschungsausgaben wird auch überwiegend natur- und ingenieurwissenschaftlicher Forschungen gewidmet, weniger den sozialwissenschaftlichen Forschungen zu diesen bekannten Defiziten in den politisch-institutionellen, ökonomischen oder organisatorischen Bereichen (Governance-Ansätze).

Aus Governance-Sicht bestehen konzeptionelle Defizite in den konventionellen Ansätzen zum integrierten Naturgefahrenschutz (Weiss, 2006; 2021). Um einen effektiven, effizienten und nachhaltigen Schutz sicher zu stellen, müssen die Konzepte über die Wahl der Instrumente im Baukastensystem oder Risikomanagement-Kreislauf hinausdenken und die Implementationsprozesse einschließen. In der Praxis handelt es sich oft weniger um Defizite der verfügbaren Instrumente, als vielmehr um Umsetzungsdefizite (vgl. bspw. Habersack et al., 2015). Sollen diese verringert oder verhindert werden, muss somit die Umsetzung als solches analysiert und mitbedacht werden. Neue Governance-Ansätze berücksichtigen diese Dimensionen, bspw. mit Berücksichtigung

- der Zeitdimension (z.B. durch die Planung in iterativen Schritten mit regelmäßiger Überprüfung und Neujustierung der Pläne und Instrumente),
- des institutionellen Rahmens (z.B. durch sektorübergreifende Koordinierung) und von

- Verhandlungsstrategien im Kontext realer Machtverhältnisse (z.B. durch Bündnisse und Partizipation) (Weiss, 1999; 2006).

Risiko-Governance umfasst neben rechtlichen und ökonomischen Instrumenten auch Ansätze der Risikokommunikation, Beteiligungsprozesse und Fragen der Risikokultur (Pelikan und Weiss, 2004; Rudolf-Miklau, 2018). Eine integrierte, nicht-statische, dynamische Sichtweise kann auch zur Weiterentwicklung von bautechnischen Maßnahmen beitragen, indem etwa die Ausgestaltung nicht nur die Situation bis zum Bemessungsereignis in Betracht zieht, sondern auch das Verhalten des Schutzsystems im Überlastungsfall bzw. bei Extremereignissen. Neuere Lösungen sehen daher beispielsweise „Sollbruchstellen“ vor oder wählen Rückhaltebecken anstatt von Staffelungen.

Effektive „integrierte“ Naturgefahrenpolitik besteht daher nicht nur in einer Kombination isolierter Instrumente, sondern in der Betrachtung des gesamten Schutzsystems, über Bemessungsereignisse hinaus und inklusive der Betrachtung des gesamten politischen Steuerungsprozesses mit Einbezug der Implementation (Weiss, 2021). Dabei können fünf Dimensionen eines solchen Governance-Ansatzes genannt werden, die berücksichtigt werden sollten (Weiss, 2003, 2006):

1. Multi-instrumenteller Schutz („Baukasten-Elemente“ als Teile eines Gesamtsystems),
2. interdisziplinäre Zusammenarbeit (von naturingenieur- und sozialwissenschaftlichen Disziplinen),
3. überinstitutionelle Ansätze (Wildbach- und Lawinerverbauung, Bundeswasserbauverwaltung, Raumordnungsabteilungen),
4. überregionale Zusammenarbeit (gemeindeübergreifend, einzugsgebietsbezogen) und
5. Partizipation (Öffentlichkeits- und Stakeholderbeteiligung zwecks Förderung von Risikobewusstsein und Risikokultur sowie der Integration von Wissen, Werten und Interessen der Betroffenen).

Diese Governance-Elemente erfahren zunehmende Aufmerksamkeit in der Forschung zum

Naturgefahrenmanagement, etwa hinsichtlich Gemeindekooperationen (Seher, 2012; Bußjäger, 2018; Nordbeck et al., 2018) oder Öffentlichkeitsbeteiligung (Rappold 2000; Bachl 2018; Arzberger, 2019). Obwohl regelmäßig auf die zentrale Bedeutung gesellschaftlicher, institutioneller, ökonomischer und politischer Aspekte im Naturgefahrenmanagement hingewiesen wird (vgl. FloodRisk-Berichte: Habersack et al. 2004 und 2009; ExtremA, 2020) liegt der Schwerpunkt der Forschungen zu Naturgefahren immer noch weit überwiegend im naturwissenschaftlichen Bereich (vgl. Glade et al., 2020).

Partizipation im Naturgefahrenmanagement

Öffentlichkeitsbeteiligung in Politikprozessen wird unterschiedlich begründet, u.a. aus demokratiepolitischen Gründen, aber auch für eine effektive Politikimplementierung. Beteiligung verspricht einerseits „bessere“ Planungen, weil lokales Wissen und Werthaltungen Betroffener schon in der Planungsphase berücksichtigt werden kann. Andererseits kann durch zeitige Information und Hörung der Betroffenen Akzeptanz der Maßnahmen erreicht werden (Ottitsch et al., 1998; Rappold 2000; Bachl 2018; Arzberger, 2019).

Öffentlichkeitsbeteiligung (Partizipation) wird insbesondere dann relevant, wenn Politik am Widerstand der Bevölkerung scheitert. In solchen Fällen mit formiertem Widerstand, Polarisierung und aufgeheizter Stimmung sind konsensuale Lösungen aber schwieriger zu erreichen als wenn die Öffentlichkeit vorab in Entscheidungsprozesse eingebunden ist. Dies kann unterschiedlich weit gehen (Stufen der Partizipation): Information, Befragung, Stellungnahmen, Diskurs, oder Mitwirkung/Mitentscheidung. Wichtig ist Klarheit der Regeln und dass der Prozess von den Verantwortlichen ernst genommen wird und nicht als Alibi erfolgt.

Erfolgreiche Beteiligungsprozesse erfordern einerseits eine ernsthafte und professionelle Durchführung und andererseits setzen sie die „Betroffenheit“ der BürgerInnen voraus. Diese

müssen sich betroffen fühlen, um sich aktiv zu beteiligen, was nicht in allen Regelungsbereichen gegeben ist. Das „Beteiligungsdilemma“ entsteht daraus, dass Menschen eher bereit sind, sich aktiv zu beteiligen, wenn sie sich negativ betroffen fühlen, dann aber gegen geplante Maßnahmen eingestellt sind. Partizipation ist daher in der Risikoversorgung schwierig. Trotzdem sollte sie integrativer Bestandteil einer Risiko-Governance sein (Wagner, 2004; Pelikan und Weiss, 2004; Weiss, 2006; Rudolf-Miklau, 2018).

Der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung hat schon um 2000 ein Handbuch ausgearbeitet (Ottitsch und Rappold, o.D.). In den letzten Jahren hat sich die Bereitstellung von Information zu Naturgefahren sehr verbessert (Hochwasserinformation, GZP), gezielte Kommunikation oder Partizipation findet im Naturgefahrenmanagement jedoch nur in Einzelfällen statt (Habersack et al., 2015).

Politikkoordination

Die Koordination verschiedener relevanter Politikbereiche ist eine weitere zentrale Herausforderung im Naturgefahrenmanagement (Habersack et al., 2009). Dabei nimmt die Raumplanung eine wichtige, aber als Querschnittsmaterie auch sehr schwierige Stellung zwischen den sektoralen Politiken ein. Die Raumplanung ist auf bestimmte Instrumente der Flächenentwicklung eingeschränkt, kann aber nicht auf andere Politikbereiche einwirken, die wiederum die Raumentwicklung sehr stark bestimmen. Raumentwicklung ist ein Feld, wo vielerlei konkurrierende Interessen aufeinandertreffen, und ist daher sehr konfliktreich und im Ergebnis stark von den Machtverhältnissen zwischen den Akteuren geprägt.

Es wird empfohlen, das raumplanerische Instrumentarium auf der regionalen Ebene auszubauen, etwa durch Regionalprogramme, die die Zusammenarbeit Wasserwirtschaft – Raumordnung stärken (Habersack et al., 2009). Hier können auch die Waldentwicklungspläne verankert werden. Neben der gezielten Koordination

von Politikbereichen können auch andere Governance-Ansätze genutzt werden, um über Regelungsbereiche hinweg integrierte Lösungen zu finden, wie bspw. Gemeindekooperationen (Nordbeck et al., 2018; Seher, 2012).

Einen starken Impuls zur Politikkoordination geht von der EU Hochwasserrichtlinie aus, die den Ansatz eines integrierten Hochwasserisikomanagements verfolgt. Die Hochwasserisikomanagementpläne sollen dabei nicht-strukturellen Maßnahmen Vorrang vor technischen Maßnahmen geben, indem etwa Überflutungs- und Rückhalteräume gesichert bzw. geschaffen werden (Neuhold, 2018).

Die Problematik der Politikkoordination ist auch in der Schutzwaldproblematik sichtbar, wo sich regelmäßig Ziele und Interessen verschiedener Politikbereiche auf ein und derselben Flächen überlagern können, bspw. Ziele des Forstwesens, der Jagd, des Naturschutzes, des Schutzes vor Naturgefahren, oder der Freizeitnutzung. Schwierigkeiten in der Schutzwaldpolitik ergeben sich vielfach durch Barrieren in der Abstimmung dieser verschiedenen Politikbereiche (Weiss, 1999). Das Instrument der Länderschutzwaldkonzepte ist ein Beispiel dafür, wie durch das Zusammenwirken zweier Fachbereiche ein zweckmäßiges Planungsinstrument entstehen kann (Weiss, 2002).

Raumplanung und regionale Planungsansätze

Gegenstand der Raumplanung ist die planmäßige Gesamtgestaltung eines Gebietes. Mit den Instrumenten der Raumplanung sollen Raumansprüche und Raumnutzungen entsprechend den Eignungen der jeweiligen Standorte unter Vermeidung räumlicher Konflikte verteilt werden. Naturgefahren schränken die Eignung eines Standortes für Nutzungen wie Wohnen, Gewerbe, Industrie, Freizeit, Landwirtschaft und Verkehr erheblich ein. Eine Nutzung von Gefahrenbereichen zieht ein je nach Art und Ausmaß der Gefährdung unterschiedliches Risiko nach sich. Durch die Berücksichtigung dieses Risikos

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

in der raumplanerischen Abwägung können Gefahren und Nutzungsinteressen grundeigentümerverbindlich aufeinander abgestimmt werden. Dies geschieht in der überörtlichen und örtlichen Raumplanung sowie in den daraus abgeleiteten baurechtlichen Entscheidungen.

Alle Raumordnungsgesetze in Österreich enthalten bei den Bestimmungen zur örtlichen Raumplanung Aussagen, die auf Naturgefahren Bezug nehmen. Die Landesgesetze stimmen dahingehend überein, dass Flächen, die sich aufgrund ihrer natürlichen Gegebenheiten, z.B. der Gefährdung durch Naturereignisse, wie Hochwasser, Lawinen, Muren oder Steinschlag, nicht für eine Bebauung eignen, von einer Baulandwidmung ausgeschlossen sind. Eine sorgfältige Beurteilung der Standorteignung setzt die Kenntnis der Intensität der jeweiligen Gefährdung voraus. Die Raumplanung ist damit auf Informationen von naturgefahrenbezogenen Fachdiensten – Gefahrenzonenpläne, Gefahrenhinweiskarten, einschlägige Gutachten etc. – angewiesen.

Insbesondere Gefahrenzonen sind nach den Raumordnungsgesetzen der Bundesländer im Flächenwidmungsplan ersichtlich zu machen. Die Verpflichtung einer Gemeinde, gefährdete Gebiete im Flächenwidmungsplan ersichtlich zu machen, hängt aber nicht davon ab, ob sie Teil eines Gefahrenzonenplans sind. Vielmehr ist die Gemeinde bereits bei konkreten Anhaltspunkten für eine Naturgefahr verpflichtet, sich Gewissheit über das Vorliegen der Gefahr zu verschaffen (Kleewein, 2018).

Der Großteil der Siedlungsgebiete im alpinen Raum ist von der latenten Schutzwirkung des Waldes abhängig. Das gilt auch für die in den Instrumenten der örtlichen Raumplanung vorgesehenen Erweiterungen dieser Siedlungsbereiche. Im Zusammenhang mit den oben genannten Verpflichtungen ist es von erheblicher Bedeutung, dass die für die örtliche Raumplanung zuständigen Gemeinden über Informationen über den Zustand des Schutzwaldes bzw. über allfällige Beeinträchtigungen der Schutzwirkungen verfügen.

Gemäß ÖROK (2016) verfügen Infrastrukturbetreiber wie die ÖBB oder die ASFINAG über Inventare, die auch Informationen über die bestehende Schutzinfrastruktur (Schutzbauten) sowie den Schutzwald und seine Objektschutzwirkung für die Verkehrsachsen enthalten. Auch den Gemeinden stehen die Inhalte der Waldentwicklungspläne für die örtliche Raumplanung zur Verfügung. Die in manchen Gebieten vorhandenen lokalen Schutzwaldplattformen haben das Ziel, diese Informationen für alle Entscheidungsträger transparent zu machen.

Vor dem Hintergrund der Abhängigkeit des Siedlungsbestands und der Siedlungsentwicklung im alpinen Raum von der Schutzfunktion des Waldes erscheint es aus Sicht der Raumplanung problematisch, dass die nominelle Raumplanung aufgrund der Kompetenztrennung formal keinen Einfluss auf die Bewirtschaftung und das Management des Schutzwaldes ausüben kann. Für eine engere Verschränkung von nomineller Raumplanung und forstlicher Raumplanung im Hinblick auf den Schutzwald sprechen Empfehlung 1 und Empfehlung 2 der ÖROK-Empfehlungen Nr. 54: Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung (ÖROK, 2016): *„Empfehlung 1: Integriertes Naturgefahrenmanagement: Durch ein integriertes Naturgefahrenmanagement soll langfristig eine möglichst große Sicherheit vor allen Naturgefahren erzielt werden.“* Darin werden sektorübergreifende Schutzkonzepte für einzelne Planungsregionen gefordert, die maßgeschneiderte, abgestimmte Lösungen anbieten, und es werden u.a. forstlich-biologische Maßnahmen genannt. Eine risikoorientierte Raumplanung wird in Empfehlung 2 angesprochen: *„Risikoorientierte Raumplanung: Die räumliche Verteilung von Nutzungen und Bautätigkeiten soll so gesteuert werden, dass Beeinträchtigungen durch gravitative Massenbewegungen möglichst gering gehalten werden.“* Auch hier ist der Schutzwald von zentraler Bedeutung, aber die Art der angesprochenen sektorübergreifenden Schutzkonzepte für eine risikoorientierte Raumplanung offen. Da die in den Raumordnungsgesetzen geregelte regionale Raumplanung (Regionalplanung) aus kompetenzrechtlichen Gründen nicht

in Frage kommt, müssen freiwillige bzw. informelle Formen bzw. Instrumente der Kooperation gefunden werden. Dafür bieten sich interkommunale oder kleinregionale Kooperationen mit Fokus auf Naturgefahren an, die im Rahmen von Schutzwaldplattformen, Schutzwaldgemeinschaften oder Schutzwaldmanagementplänen erfolgen könnten. Im Hochwasserschutz sind interkommunale Kooperationsformen in Form der Wasserverbände etabliert und dort in unterschiedlicher Intensität aktiv (vgl. dazu Nordbeck et al., 2018; Seher, 2012). Die ÖROK erscheint als ein geeigneter Rahmen, um Modelle für Abstimmungen zwischen den relevanten Akteuren, wie sie im Aktionsprogramm Schutzwald angedacht sind, zu entwickeln.

Forschungsdefizite

Als die wichtigsten Forschungsdefizite können die folgenden aufgelistet werden:

- Beziehungen der Instrumente der forstlichen Raumplanung zu anderen Sektorplanungen und den Instrumenten der Raumplanung:
 - » Wirkungen und Wirkungsmechanismen anderer Politikbereiche auf die forstlichen Planungen und Aktivitäten (Waldbewirtschaftung, WLW);
 - » Wirkungen und Wirkungsmechanismen der forstlichen Raumordnung auf andere Politikbereiche;
 - » Diese Wirkungen bestehen primär in informellen Abstimmungen und indirekten Wirkungen, die daher wenig sichtbar und bekannt sind.
 - » Akteursanalysen der relevanten Politikbereiche (insbesondere WaldeigentümerInnen und UnterliegerInnen) und der weiteren, relevanten Nutzungsinteressen in Bezug auf den Schutzwald.
- Bisherige Erfahrungen und neue Möglichkeiten für regionale und sektorübergreifende Kooperation in der Schutzwaldpolitik:
 - » Wirkungen und Erfolgsfaktoren der Schutzwaldplattformen und anderer bestehender Koordinationsprozesse (Forst-Jagd-Dialog; Abstimmung mit Freizeitnutzung z. B. mit

alpinen Vereinen oder Mountainbikern) auf verschiedenen Verwaltungsebenen, inklusive lokaler/regionaler Ansätze;

- » Möglichkeiten der Regionalplanung oder informeller, gemeindeübergreifender, Kooperationsformen;
 - » Akteursanalyse bzgl. einer verstärkten Politikkoordination zwischen Forstwesen, anderen Nutzungen im Wald und der Raumplanung.
- Integriertes Naturgefahrenmanagement:
 - » Wirkung neuerer integrierter schutzbaulicher Lösungen im Zusammenwirken mit anderen Instrumente im Schutzsystem;
 - » Wirkung neuerer nichttechnischer Instrumente im Schutz vor Naturgefahren (Informationsinstrumente, Warnsysteme, Katastrophenpläne, etc.);
 - » Wirkung von Governance-Ansätzen im Naturgefahrenschutz;
 - » Rolle der Instrumente und Akteure in einer vorsorgenden Raumplanung in Bezug auf Naturgefahren;
 - » Beziehung zwischen Gefahrenzonenplanung (der WLW und der WBW) und der Raumplanung – formelle und informelle Beziehungen, Abstimmungsprozesse und Wirkungsmechanismen;
 - » Umsetzung der Richtlinien der GZP und der EU Hochwasserrichtlinie – Wirkung und Wirkungsmechanismen;
 - » Erfolge und Umsetzungsfaktoren in der Gefahrenzonenplanung zur Durchbrechung der Bebauungs-Verbauungsspirale;
 - » Möglichkeiten nicht- oder halbstaatlicher Instrumente in der Risikovorsorge, zB Versicherungslösungen.

Forschungsthemen

Daraus leiten sich die folgenden prioritären Forschungsthemen ab:

- Beziehungen zwischen der forstlichen Raumplanung und anderen Sektorplanungen und der Raumplanung und diesbezügliche Möglichkeiten für Kooperationen in der Schutzwaldplanung:

- » Beziehungen der Instrumente der forstlichen Raumplanung zu anderen Sektorplanungen und zu den Instrumenten der Raumplanung mit besonderer Berücksichtigung der folgenden Aspekte;
 - formelle Beziehungen und informelle Wirkungen und Wirkungsmechanismen zwischen der forstlichen Raumordnung und forstlicher Aktivitäten einerseits und anderen Politikbereichen andererseits;
 - Bezug zu Entwicklungen und Planungen in den Bereichen Jagd/Wildökologie, Naturschutz, Freizeitwirtschaft, Tourismus und anderen relevanten Sektoren.
 - Relevanz der örtlichen und überörtlichen Raumplanung;
- » Akteursanalysen der relevanten Politikbereiche und Nutzungsinteressen in Bezug auf den Schutzwald
 - Sichtweisen und Interessen der Betroffenen (insbesondere WaldeigentümerInnen und UnterliegerInnen) und der weiteren relevanten Interessengruppen zum Schutzwald und zum Schutz vor Naturgefahren und deren Bereitschaft zur Kooperation;
 - Möglichkeiten der Information und Einbeziehung der Betroffenen und für gemeinsame Ansätze im Schutzwaldmanagement.
- » Vorschlag für eine „ÖREK-Partnerschaft“ nach dem Vorbild solcher Partnerschaften in den Bereichen Verkehr oder Energie-raumplanung;
 - Das Thema Schutz durch den Wald würde auch in den zukünftigen Themenschwerpunkt der ÖROK „Klimawandel“ passen.
- » Neue regionale Ansätze zur Schutzwaldpolitik:
 - Über die forstliche Raumplanung und Regionalplanung hinaus sind innovative Ansätze erforderlich, die über die jeweiligen Regelungsgebiete hinausgehen bzw. diese verbinden (Politikintegration bzw. –koordination, regionale Governance-Ansätze, freiwillige Akteursinitiativen, soziale Innovationen).
- Integrierter Schutz vor Naturgefahren:
 - » Wirkungsanalyse und Umsetzungsprozesse neuerer integrierter Schutzsysteme und von Governance-Ansätzen:
 - Zusammenwirken der verschiedenen Elemente im integrierten Schutz vor Naturgefahren (Schutzverbauungen, Raumplanung und Informationsinstrumente);
 - Analyse der Implementationsprozesse der einzelnen Instrumente und deren Beziehungen;
 - Akteursanalysen zu den Sichtweisen und Interessen der Interessengruppen und Verwaltungseinheiten im Schutz vor Naturgefahren;
 - Bedeutung neuerer Governance-Ansätze zu Risikokommunikation, Partizipation und Entwicklung einer Risikokultur;
 - Möglichkeiten nichtstaatlicher oder hybrider Instrumente in der Risikovorsorge, zB Versicherungslösungen.
 - » Erfolge und Umsetzungsfaktoren in der Gefahrenzonenplanung zur Durchbrechung der Bebauungs-Verbauungsspirale,
 - mit besonderer Berücksichtigung der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen im Bereich Wildbachgefahren und Lawinen;
 - Evaluierung und Umsetzungsprozesse der neuen Bestimmungen für die Roten Zonen bei Lawinen;
 - und mit Berücksichtigung der Rolle des Schutzwaldes.
 - » Implementationsprozesse im Raumordnungsrecht und Baurecht:
 - Erfolge von Verbesserungen zur Gefahrenvorsorge im Raumordnungs- und Baurecht und ihre Auswirkungen auf eine nachhaltige Vorsorge und Durchbrechung der Bebauungs-Verbauungsspirale in der örtlichen Raumordnung.
 - Einflussfaktoren auf die wirksame Umsetzung von Politikinstrumenten zur Gefahrenvorsorge in der Raumplanung und im Baurecht.

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

Literatur

- Arzberger, M.B. (2014): Partizipation im Schutz- und Bergwaldmanagement der Bayerischen Forstverwaltung. Verändertes Verwaltungshandeln im Schatten eines starken Symbols. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 185. Jg., 9/10: 235-248.
- Bachl, B 2018 Sinn, Zweck und Reichweite der Öffentlichkeitsbeteiligung im Umgang mit natürlichen Risiken. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): *Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis*. Verlag Österreich. Wien. 247-270.
- Bußjäger, P 2018. Interkommunale und kommunale Kooperationsmodelle im Risiko- und Katastrophenmanagement: Rechtliche Gestaltungsmöglichkeiten. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): *Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis*. Verlag Österreich. Wien. 271-282.
- BMLRT (o.D.): Leitsätze der österreichischen Schutzwaldpolitik. Online: https://www.schutzwald.at/aktionsprogramm/leitlinien_schutzwaldpolitik.html, 24.2.2021.
- EC 2007. Richtlinie 2007/60/EG über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks entered into force on 26 November 2007
- ExtremA (o.D.): ExtremA-Symposium 2019 | Policy Brief. 4 S. Link (6.3.2021): <https://extrema.univie.ac.at/downloads/>.
- Fuchs, S., Khakzadeh, L.M. und K. Weber (Hrsg., 2006): *Recht im Naturgefahrenmanagement*. Studienverlag, Innsbruck.
- Glade, T., Mergili, M., Sattler, K. (Hrsg.), 2020. *ExtremA 2019. Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich*. Vienna University Press, 776 S.
- Glück, P., G. Oesten, H. Schanz and K-R. Volz (editors). 1999. *Formulation and Implementation of National Forest Programmes Volume II: State of the Art in Europe*. Proceedings 30. European Forest Institute.
- Hogl, K. (2004): National Forest Programmes: Opportunities and Limits of Co-ordination in Policy Networks. In: Glück, P., Voitleithner, J., NFP Research: Its Retrospect and Outlook. Publication Series of the Institute of Forest Sector Policy and Economics, 52, 83-96; Institute for Forest Sector Policy and Economics, Vienna
- HABERSACK, H.M., BÜRCEL, J., PETRASCHKE, A. (2004): *Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 – Floodrisk, Synthese*. Eigenverlag Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- Habersack, H., Bürgel, J., Kanonier, A. (2009): *FloodRisk II Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement, Synthese*, 274, BMLFUW.
- Helmut Habersack, Jochen Bürgel, Arthur Kanonier, Clemens Neuhold, Bernhard Schober (2015). *FLOODRISK-E (valuierung): Analyse der Empfehlungen aus FLOODRISK I und II und deren Umsetzungsfortschritt im Lichte der Umsetzung der Hochwasserrichtlinie. SYNTHESEBERICHT für das BMLFUW*. BMLFUW
- Hoke W. (2013): The genesis and implementation of the new criteria for border setting in avalanche hazard zones planning in Austria. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien
- Kocholl D 2006 *Naturgefahren und Zivilrecht*. In: Fuchs S., K. Weber und LM. Khakzadeh (2006): *Recht im Naturgefahrenmanagement*. Studienverlag.
- Kössler B (2019): *Forstpolitische Schutzwaldinstrumente im Land Tirol*. Diplomarbeit (BOKU).
- Krott, M.; 1989: *Forstliche Raumplanungspolitik. Praxis und Zukunft des Österreichischen Waldemwicklungsplanes*. Forstliche Schriftenreihe, Univ. f. Bodenkultur, Wien; Bd. 2, 200 S.; Hrsg.: Österr. Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumforschung an der Univ. f. Bodenkultur. ISBN 3-900865-01-9
- Krott, M., 1991. *Umweltpolitische Problemlösung durch Öffentliche Verwaltung*. In: *Österreichische Zeitschriften für Politikwissenschaft*. Wien. S. 43-57.
- Kanonier A 2018 *Raumplanungsrechtliche Beschränkungen im Naturgefahren-risikomanagement*. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): *Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis*. Verlag Österreich. Wien. 169-198.
- Kerschner 2018 *Rechtlicher Umgang mit Risikomanagement in Österreich – Rechtspolitisches Spannungsfeld zwischen privater Risikovorsorge und Sozialisierung der Schutzleistung bzw Schäden*. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): *Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis*. Verlag Österreich. Wien. 139-152
- Kleewein, W. (2018): *Risikomanagement bei der Vollziehung des Raumordnungs- und Baurechts*. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): *Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis*. Verlag Österreich. Wien: 199–223.
- Murschetz, V 2006 *Naturgefahren und Strafrecht*. In: Fuchs S, K Weber und LM Khakzadeh (2006): *Recht im Naturgefahrenmanagement*. Studienverlag.
- Neuhold, C. 2018: *Umsetzung der EU-Hochwasserrichtlinie in Österreich*. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): *Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis*. Verlag Österreich. Wien. 225-246.
- Nordbeck, R; Löschner, L; Scherhaufer, P; Hogl, K; Seher, W. (2018): *Hochwasserschutzverbände als Instrument der interkommunalen Kooperation im Hochwasserrisikomanagement*. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 70, 316-327.
- Ottitsch A. und G. Rappold (o.D.) *Handbuch Zur Methodik der Bürgerbeteiligung im Rahmen von Planungs- und Umsetzungsverfahren des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinverbauung*. Europäisches Forstinstitut, Joensuu, Finnland. Link (6.3.2021): https://www.partizipation.at/fileadmin/media_data/Downloads/literatur/B_rgerbeteiligung_HANDBUCH.pdf.

SCHUTZWALD – GESELLSCHAFTLICHE ASPEKTE

- Ottitsch, A; Pregernig, M; Rappold, G (1998): Bürgerbeteiligung in der forsttechnischen Planung - Möglichkeiten der Einbeziehungen von Bürgerbeteiligungsverfahren im Rahmen integraler forsttechnischer Planung des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung am Beispiel ausgewählter Großprojekte. Projektendbericht an das Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft. Wien.
- Österreichische Raumordnungskonferenz ÖROK (2016): ÖROK-Empfehlung Nr. 54: „Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung“. Online: https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user_upload/Bilder/2_Reiter-Raum_u_Region/1.OEROK/OEROK_2011/PS_Risikom/2016-02-24-Brosch%C3%BCre_Risikomanagment_FINAL-54_Internetversion.pdf, 24.2.2021.
- Österreichische Raumordnungskonferenz ÖROK (2017): ÖROK-Empfehlung Nr. 57 zum Hochwasserrisikomanagement zur Aktualisierung und Anpassung der „ÖROK-Empfehlung Nr. 52 zum präventiven Umgang mit Naturgefahren in der Raumordnung, Schwerpunkt Hochwasser“
- Pelikan, Ulrich und Gerhard Weiss (2004): Neue Wege im Schutz vor Naturgefahren – Stärkung der Implementierung der Gefahrenzonenplanung in Österreich. Endbericht an das BMLFUW. Wien.
- Perzl, F., Huber, A. (2014). Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung, Synthese und Zusammenfassung; Projektbericht im Auftrag des BMLFUW.
- Pukall K. (2016): The Role of Disasters for Changes in the Alpine Hazard Management.
- Rappold, G., 2000. Bürgerbeteiligung im Rahmen des Naturgefahrenmanagements. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien. Wien.
- Rudolf-Miklau, F (2018): Risikopolitik auf regionaler Ebene: Zwischen staatlicher Steuerung und gesellschaftlichen Regelungsprozessen. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis. Verlag Österreich. Wien. 35-90.
- Schieferer, W. 2006 Abwicklungsfragen im versicherungsrechtlichen Umfeld von Naturgefahren. In: Fuchs S, K Weber und LM Khakzadeh (2006): Recht im Naturgefahrenmanagement. Studienverlag.
- Schmiderer, Hermann und Gerhard Weiss (1999): Die Bannwaldpolitik in Österreich. Schriftenreihe des Instituts für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft, Band 38, Wien (304 S.)
- Schüssler, Herwig (1999): Möglichkeiten der Versicherung bei Lawinengefahren. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- Seher, W. (2012): Interkommunale Kooperation im Hochwasserrisikomanagement. In: Kanonier, A. (Hrsg.), Raumplanung und Naturgefahrenmanagement, Forum Raumplanung 19, 53-61; LIT Verlag, Wien, Berlin.
- Senn, W 2006 Naturgefahrenmanagement in der Praxis. In: Fuchs S, K Weber und LM Khakzadeh (2006): Recht im Naturgefahrenmanagement. Studienverlag.
- Voitleithner, J. 2002, The National Forest Programme in the light of Austria's law and political culture, Forest Policy and Economics, Volume 4, Issue 4, Pages 313-322, ISSN 1389-9341, [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(02\)00073-4](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(02)00073-4).
- Voitleithner, J. 2006. Schutzwaldplattformen in Österreich. Aktivitäten, Erfolgsfaktoren und Perspektiven. Beratungsprojekt im Auftrag der Landesforstdirektion im Amt der Tiroler Landesregierung. Innsbruck.
- Voss, M., Wagner, K. Learning from (small) disasters. Nat Hazards 55, 657–669 (2010). <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9498-5>
- Wagner K (2004) Naturgefahrenbewusstsein und-kommunikation am Beispiel von Sturzfluten und Rutschungen in vier Gemeinden des Bayerischen Alpenraums [online] URL: http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/ww/2004/wagner_k.pdf
- Weber, K 2006 Grenzen des Rechts. In: Fuchs S, K Weber und LM Khakzadeh (2006): Recht im Naturgefahrenmanagement. Studienverlag.
- Weber K 2018: Risiko- und Katastrophenmanagement als Staatsaufgabe. In: Kanonier A., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.): Regionale Risiko Governance: Recht, Politik und Praxis. Verlag Österreich. Wien. 123-138.
- Weiss, G., 1999. Die Schutzwaldpolitik in Österreich. Einsatz forstpolitischer Instrumente zum Schutz vor Naturgefahren. Schriftenreihe des Instituts für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien; Band 39. Wien
- Weiss, G. (2002): The Political Practice of Natural Hazards Control in Austria and the Question of Climate Change. In: Steinger, K.W. and H. Weck-Hannemann (eds.), Global Environmental Change in Alpine Regions: Impact, Recognition, Adaptation and Mitigation. Cheltenham: Edward Elgar. Pp. 131-149.
- Weiss Gerhard (2003): Politische Strategien für einen nachhaltigen Schutz vor Naturgefahren. In: Ländlicher Raum 4/2003 (Printausgabe), Langfassung in der Internetausgabe (www.laendlicher-raum.at).
- Weiss, G. (2006): Politische Herausforderungen für die Umsetzung eines integrierten Naturgefahrenmanagements. In: Fuchs, S., Khakzadeh, L.M. und K. Weber (Hrsg.): Recht im Naturgefahrenmanagement. Studienverlag, Innsbruck: 187-196.
- Weiss, G. (2021): „Alpine Raumordnung“ Lehrveranstaltungsunterlagen, BOKU.
- White G. F. 1945: Human Adjustment to Floods. University of Chicago, IL.





Schutzwald – Internationales

Politische Einflussfaktoren der internationalen und europäischen Ebene auf den Schutzwald

Gerfried Gruber und Stefanie Brandstetter

Dem Schutzwald kommt in Österreich, speziell im alpinen Raum, eine überragende Bedeutung zu. Die verschiedenen Schutzfunktionen des Waldes werden folglich im Forstgesetz entsprechend definiert und damit ein klarer Ordnungsrahmen zur Erreichung der jeweiligen Schutzziele geschaffen. Der Schutzwald ist damit in die nationale Forstpolitik eingebettet und geregelt, ergänzt durch Strategien zur Weiterentwicklung und durch wissenschaftliche Bewertung. Wie die Wälder in ihrer Gesamtheit sind auch Schutzwälder Teil der internationalen Bemühungen, diese Ökosysteme in ihren vielfältigen Wirkungen zu erhalten. Schutzwälder sind durch ihre oft exponierte Lage auch stark vom Klimawandel und Wetterextremen beeinflusst, wobei die Folgen für die betroffene regionale Bevölkerung besonders schwer wiegen können.

Es besteht jedoch keine einheitliche, anerkannte Definition des Begriffs Schutzwald auf internationaler Ebene. Auch existiert kein umfassender, strategischer Rahmen für Schutzwaldpolitik. Es gilt allerdings, auf allen Ebenen Regelungen und Maßnahmen auszumachen, welche auf spezifische Charakteristika von Schutzwäldern Bezug nehmen und so für diese Wälder von Bedeutung sind.

Globale Einflussfaktoren benötigen auch eine globale, kooperative Sichtweise und Lösungsorientierung. Mit den Global Forest Goals (GFG) im Rahmen des UN Strategic Plan for Forests (UNSPF 2017-2030) besteht ein gesamthafter, globaler Rahmen für Aktivitäten auf allen Ebenen zur Erhaltung der Waldfunktionen und Verbreitung der nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Die dort verankerten Ziele sind wiederum eingebettet in die nachhaltigen Entwicklungsziele der Vereinten Nationen (Sustainable Development Goals - SDG), von denen nahezu alle einen Bezug zu walddpolitischen Aufgaben auf-

weisen. Die einzelnen GFG adressieren gezielt auch die speziellen Funktionen der Schutzwälder, wie etwa die Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Wälder gegen Klimawandel und Naturgefahren (GFG 1).

Die FAO stellt in ihren Aktivitäten u.a. auf Bergwälder (mountain forests) ab. Eine spezielle Arbeitsgruppe unter dem Schirm der European Forestry Commission (EFC) befasst sich mit Schutzwald-bezogenen Fragen (Working Party on the Management of Mountain Watersheds – WPMMW). Die wichtigsten Themen dieser von Österreich initiierten Gruppe sind der Umgang mit dem Klimawandel in der Schutzwaldbewirtschaftung, die dadurch auftretenden Risiken und Veränderungen, das Schutzwaldmanagement, auch abgestimmt auf die vorherrschende Naturgefahr, sowie der Konnex zu angrenzenden Themenbereichen, wie Naturgefahrenmanagement oder Raumplanung.

Im Rahmen des paneuropäischen, walddpolitischen Prozesses von FOREST EUROPE wurden Kriterien und Indikatoren für nachhaltige Waldbewirtschaftung entwickelt, welche unmittelbar für die Bewirtschaftung von Schutzwäldern von Relevanz sind. Ein eigener Abschnitt bezieht sich konkret auf Ziele für Schutzwälder (Criterion: Maintenance and Appropriate Enhancement of Protective Functions in Forest Management, notably soil and water). Die im Rahmen der zwischenstaatlichen Kooperation vereinbarten und von der EU unterstützten Kriterien und Indikatoren haben - basierend auf freiwilliger Umsetzung - Niederschlag in den nationalen Umsetzungsstrategien gefunden.

In Österreich ist hierfür derzeit die Waldstrategie 2020+ maßgebend, welche im Jahr 2021 evaluiert wird. Das Thema Schutzwald wird im Handlungsfeld 5 besprochen. Es wird die ge-

SCHUTZWALD – INTERNATIONALES

samte Schutzfunktion des Waldes unter Einchluss der Schutzwälder beleuchtet und detailliert in sieben strategische Ziele aufgeschlüsselt. Der konkreten Umsetzung dient das Arbeitsprogramm der Waldstrategie, wobei die Fortschritte regelmäßig überprüft werden.

Auch wenn die Forstwirtschaft dem Grunde nach eine nationale Kompetenz darstellt, so sind Wälder und Waldbewirtschaftung vielfach von Entwicklungen auf europäischer Ebene betroffen. Speziell im Wege der Ausübung von Kompetenzen betreffend die Umwelt- und Klimapolitik setzt die EU neue Maßstäbe, die sich direkt oder indirekt auf die Forstwirtschaft und den holzbasierten Sektor auswirken und somit auch Schutzwälder bzw. Schutzwald-Politik beeinflussen.

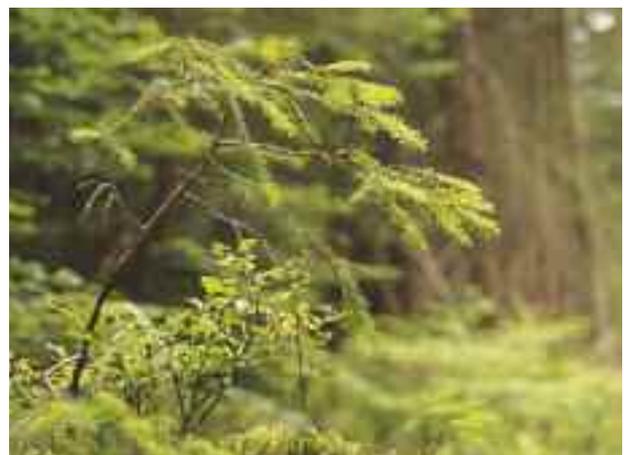
Mit dem Green Deal hat die Europäische Kommission der EU einen neuen, umfassenden strategischen Rahmen für die Transformation zu einer „grünen Wirtschaft“ verpasst. Der Green Deal als Rahmen-Strategie sieht zur Erreichung dieses umfassenden Ziels die Erarbeitung einzelner Strategien und auch eine Überarbeitung des Rechtsbestandes vor. Er sieht zur Umsetzung der forstrelevanten Bereiche die Erneuerung der EU-Waldstrategie für die Zeit nach 2020 vor, um weiterhin einen koordinierenden, umfassenden Rahmen für Wälder und Waldbewirtschaftung bereitzustellen, und ist somit auch für die Schutzwälder relevant.

Ausgehend vom Pariser Klimaabkommen hat der Europäische Rat das Ziel formuliert, in der EU die Treibhausgase bis 2030 um 55 % zu reduzieren, für 2050 wird in der EU Klimaneutralität angepeilt. Hierfür wird ein eigener, rechtlicher Rahmen beschlossen, der auch Anpassungen von sektorspezifischen Rechtsakten beinhaltet. Die Wälder sowie Waldböden in ihrer Gesamtheit – und damit auch die Schutzwälder – stellen als die wesentliche CO₂-Senke einen unverzichtbaren Baustein bei der Erreichung der globalen Klimaziele dar. Wie sich die Regeln auf die konkrete Waldbewirtschaftung auswirken werden, wird von der Ausgestaltung des EU-Klimapakets („fit for 55-package“) abhängen.

Hier sind vor allem die EU-Landnutzungs-VO (LULUCF-VO) sowie die Richtlinie erneuerbare Energie (RED) für den Forstbereich von besonderer Bedeutung.

Nicht minder wichtig sind die Vorhaben der EU beim Schutz der Umwelt. Vor allem die neue EU-Biodiversitätsstrategie 2030 beinhaltet dezierte, walddpolitisch relevante Ziele, die sich auch direkt auf Bewirtschaftung von Schutzwäldern auswirken. So enthält die Strategie ambitionierte, quantitative Ziele wie der Vorgabe, 30 % der Land- und Wasserflächen zu schützen und davon ein Drittel (also 10 % gesamt unter strengen Schutz zu stellen. Außerdem soll die Waldfläche gesteigert werden (3 Mrd. Bäume pflanzen). In Ausarbeitung befinden sich des weiteren EU-Leitlinien für naturnahe (Wieder-) Aufforstung und Bewirtschaftungsformen (Guidelines „Closer to nature forestry“ sowie „afforestation and reforestation“). Überdies plant die EU im Herbst 2021 die Vorlage rechtsverbindlicher Ziele zur Wiederherstellung der Natur, die auch die Wälder beinhalten.

Weitere Initiativen der EU mit walddpolitischem Bezug betreffen u.a. Bodenschutz, Bioökonomie, Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Finanzierung. Ein weiterer Rechtsakt der EU wird sich mit Maßnahmen zum globalen Schutz gegen Entwaldung und Walddegradation befassen. Hier stehen „entwaldungsfreie Lieferketten“ im Fokus der geplanten Regelungen. Grundsätzlich werden in allen forstbezogenen Maßnahmen und Rechtsakten der EU auch Schutzwälder mit umfasst.







Autor*innen-Verzeichnis

AUTOR*INNEN-VERZEICHNIS

Leadautor*innen:

Ao.Univ.Prof. DI Dr. Torsten W. Berger
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldökologie
1180 Wien
torsten.berger@boku.ac.at

DI Dr. Michael Englisch
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldökologie und Boden
1131 Wien
michael.englich@bfw.gv.at

DI Dr. Georg Frank
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldbiodiversität und Naturschutz
1131 Wien
georg.frank@bfw.gv.at

Mag. LL.M. Gerfried Gruber
Bundesministerium für Landwirtschaft,
Regionen und Tourismus
Sektion III, Abteilung 1 Waldpolitik,
Waldökonomie und Waldinformation
1030 Wien
gerfried.gruber@bmlrt.gv.at

Priv.-Doz. DI. Dr. Gernot Hoch
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldschutz
1131 Wien
gernot.hoch@bfw.gv.at

Univ.Prof. DI Dr. Manfred J. Lexer
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldbau
1180 Wien
mj.lexer@boku.ac.at

DI Dr. Gerhard Markart
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Naturgefahren
6020 Innsbruck
gerhard.markart@bfw.gv.at

Dr. Marc Olefs
ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik, Abteilung Klimaforschung
1190 Wien
marc.olefs@zamg.ac.at

DI Dr. Kurt Ramskogler
BIOSEA - Biosphäre Austria
Verein für dynamischen Naturschutz
1010 Wien
kurt@ramskogler.info

DI Dr. Klemens Schadauer
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldinventur, 1131 Wien
klemens.schadauer@bfw.gv.at

Priv.-Doz. DI Dr. Christian Scheidl
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
1180 Wien
christian.scheidl@boku.ac.at

DI Dr. Heimo Schodterer
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldinventur
1131 Wien
heimo.schodterer@bfw.gv.at

Drⁱⁿ Michaela Teich
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Naturgefahren
6020 Innsbruck
michaela.teich@bfw.gv.at

DI Dr. Philipp Toscani
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Agrar- und Forstökonomie
1180 Wien
Philipp.Toscani@boku.ac.at

Ao.Univ.Prof. DI. Dr. Harald Vacik
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldbau
1180 Wien
harald.vacik@boku.ac.at

DI Dr. Gerhard Weiß
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Wald-, Umwelt- und Ressourcenpolitik
1180 Wien
gerhard.weiss@boku.ac.at

DI Thomas Weninger
Bundesamt für Wasserwirtschaft
Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
3252 Petzenkirchen
thomas.weninger@baw.at

DI Johann Zöschner
Bundesforschungszentrum für Wald
Forstliche Ausbildungsstätte Ossiach
9570 Ossiach
johann.zoescher@bfw.gv.at

AUTOR*INNEN-VERZEICHNIS

Co-Autor*innen:

DI Dr. Peter Baier

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und
Forstschutz
1180 Wien

DI Ambros Berger

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldinventur
1131 Wien

Bsc Stefanie Brandstetter

Bundesministerium für Landwirtschaft,
Regionen und Tourismus
Sektion III, Abteilung 1 Waldpolitik,
Waldökonomie und Waldinformation
1030 Wien

DI Dr. Michael Brauner

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
1180 Wien

Dr. Thomas Cech

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldschutz
1131 Wien

Msc. Katharina Enigl

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik, Abteilung Klimaforschung
1190 Wien

Dr. Jan-Thomas Fischer

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Naturgefahren
6020 Innsbruck

DIⁱⁿ Alexandra Freudenschuß

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldinventur
1131 Wien

Priv.-Doz. Dr. Sven Fuchs

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
1180 Wien

Ing. Alfred Fürst

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldschutz
1131 Wien

DI Dr. Thomas Gschwantner

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldinventur
1131 Wien

Ao.Univ.Prof.i.R. DI. Dr. Herbert Hager

Universität für Bodenkultur Wien,
Institut für Waldökologie
1180 Wien

Dr. Klaus Haslinger

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik, Abteilung Klimaforschung
1190 Wien

Ao.Univ.Prof. DI. Dr. Eduard Hochbichler

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldbau, 1180 Wien

Matthias Hofer

Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und
Lawinenverbauung, Sektion Tirol
6020 Innsbruck

Univ.Prof. DI. Dr. Karl Hogl

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Wald-, Umwelt- und Ressourcenpolitik
1180 Wien

Priv.-Doz. DI Dr. Peter Höller

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Naturgefahren
6020 Innsbruck

Univ. Doz. DI Dr. Robert Jandl

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldökologie und Boden
1131 Wien

Ao.Univ.Prof. DI. Dr. Klaus Katzensteiner

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldökologie
1180 Wien

DI Dr. Georg Kindermann

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik
1131 Wien

Univ.Prof. DI. Dr. Thomas Kirisits

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und
Forstschutz
1180 Wien

Mag. Klaus Klebinder

Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Naturgefahren
6020 Innsbruck

Mag. Ralf Klosterhuber

WLM Büro für Vegetationsökologie und
Umweltplanung
6020 Innsbruck

AUTOR*INNEN-VERZEICHNIS

Ass. Prof. Dipl.-Forstwirt Dr. Raphael Klumpp
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldbau
1180 Wien

DI Dr. Roland Köck
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldbau
1180 Wien

Mag. Dr. Bernhard Kohl
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Naturgefahren
6020 Innsbruck

Ao.Univ.Prof.in DIⁱⁿDrⁱⁿ. Monika Kriechbaum
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Integrative Naturschutzforschung
1180 Wien

Priv.-Doz. Dipl.-Biol. Dr. Matthias Kropf
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Integrative Naturschutzforschung
1180 Wien

DI Dr. Thomas Ledermann
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik
1131 Wien

Priv.-Doz. Dr. Christoph Matulla
ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik, Abteilung Klimaforschung
1190 Wien

DIⁱⁿ Drⁱⁿ Kerstin Michel
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldökologie und Boden
1131 Wien

DI Mortimer Müller
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldbau
1180 Wien

DI Nikoloaus Nemestothy
Bundesforschungszentrum für Wald
Forstliche Ausbildungsstätte Traunkirchen
4801 Traunkirchen

Drⁱⁿ Maria Papatoma-Köhle
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
1180 Wien

DI Frank Perzl
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Naturgefahren
6020 Innsbruck

Assoc. Prof. DDr Hermann Peyerl
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Agrar- und Forstökonomie
1180 Wien

Mag. Georg Pistotnik
ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und
Geodynamik, Abteilung Klimaforschung
1190 Wien

DI Dr. Norbert Putzgruber
Österreichische Bundesforste AG
Leiter Wald-Naturraum-Nachhaltigkeit
3002 Purkersdorf

Ao.Univ.Prof.i.R. DI. Dr. Friedrich Reimoser
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft
1180 Wien

Priv.-Doz. DI Dr. Christian Scheidl
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
1180 Wien

Dr. Silvio Schüller
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik
1131 Wien



AUTOR*INNEN-VERZEICHNIS

Ao.Univ.Prof. DI. Dr. Helmut Schume
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldökologie
1180 Wien

Ing. Dieter Seebacher
Bundesforschungszentrum für Wald
Forstliche Ausbildungsstätte Ossiach
9570 Ossiach

Ass.Prof. DI. Dr. Walter Seher
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Raumplanung, Umweltplanung und
Bodenordnung
1180 Wien

Univ.Prof. DI. Dr. Walter Sekot
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Agrar- und Forstökonomie
1180 Wien

Univ.Prof. DI. Dr. Karl Stampfer
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Forsttechnik
1180 Wien

DI Dr. Christian Steiner
Agrarbezirksbehörde NÖ
3109 St. Pölten

Mag. Herfried Steiner
Bundesforschungszentrum für Wald
Institut für Waldbiodiversität und Naturschutz
1131 Wien

DI Dr. Peter Strauss
Bundesamt für Wasserwirtschaft
Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
3252 Petzenkirchen

DI Dr. Erwin Szlezak
Agrarbezirksbehörde NÖ
3109 St. Pölten

Ao.Univ.Prof. DI. Dr. Harald Vacik
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Waldbau
1180 Wien

Dr. Fritz Völk
Kastnergasse 5, 1170 Wien

Ing. Josef Zandl
Gutsverwaltung Fischhorn GmbH & Co.KG
5671 Bruck a.d. Großglocknerstraße



