Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald

Thomas Wohlgemuth Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Marco Conedera Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Andrea Kupferschmid Albisetti Waldökologie, Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)
Barbara Moser Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Tilo Usbeck Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Peter Brang Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Matthias Dobbertin Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Effects of climate change on windthrow, forest fire and forest dynamics in Swiss forests

Most natural disturbances to Swiss forests are caused by climatically induced extreme events: winter, foehn and thunder storms predominate in the North of the Alps, and forest fires in the Southern Alps. Many studies predict a general increase of these extreme events under continued climatic change. How resistant are Swiss forests against wind and fire disturbance, and how resilient are they after disturbance? Because most severe winds happen in the wintertime in Switzerland, conifers such as Norway spruce and silver fir are the most vulnerable species. Beyond gust speeds of more than 40 m/s, all tree species are damaged. The fire resistance of forests depends on the flammability that will increase due to increasing drought frequency. Forests in the Ticino will be most affected by this development, and to a lesser extent also forests in the Central Alps and those north of the Alps. Coniferous tree species are naturally more flammable than deciduous trees. But even the litter of beech can be ignited. After wind and fire disturbance, forest has re-established in almost all regions of Switzerland. Results from various studies in disturbed forests show that the amount of tree regeneration decreases with increasing elevation ($R^2 = 0.31$). The remaining variation may be related to the state of advance regeneration, ungulate browsing, competing ground-vegetation, or the presence of seed trees. After fire, the speed of regeneration depends on various factors such as tree species, drought and the transient absence of mycorrhiza.
The natural regeneration process after severe forest disturbances reflects a first step towards a forest more adapted to the future. Trees that establish in big gaps and under repeated drought may resist the future climate.

Keywords: Altitude, drought, forest regeneration, forest fire, resilience, resistance, windthrow
doi: 10.3188/szf.2008.0xxx

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail thomas.wohlgemuth@wsl.ch

In der Debatte um den Klimawandel wird die Zunahme von Extremereignissen als Folge von steigenden Temperaturen diskutiert (Frei et al 2007). Der vorliegende Aufsatz liefert waldrelevante Fakten zu diesem Thema: Wir beantworten Fragen zur Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischen natürlichen Störungen (Resistenz), zur Walderholung nach Störungen (Resilienz) und zur längerfristigen natürlichen Entwicklung von Schweizer Wäldern unter der Annahme, dass Störungen durch Stürme und Waldbrände als Folge des Klimawandels zunehmen und Trockenheiten ebenfalls häufiger auftreten. Mit den Konsequenzen für den Waldbau und das Waldmanagement setzen sich Brang et al (2008) und Rigling et al (2008) auseinander (beide in diesem Heft).

Zunahme von Extremereignissen als Folge des Klimawandels

Die häufigsten natürlichen Störungen im Wald sind klimatische Extremereignisse wie Winterstürme (Abbildung 1) und sommerliche Gewitterstürme (Abbildung 2) auf der Alpennordseite, Föhnstürme in den Föhntälern und Brände auf der Alpensüdseite (Abbildung 3). In Mitteleuropa führen von allen klimatischen Extremereignissen die Winterorkane zu den grössten Waldschäden (Scherzinger 1996). Langanhaltende Hitze und Trockenheit kann zudem in Gebieten mit Windwurfschäden starken Käferbefall oder gar Käferkalamitäten in Fichtenwäldern auslösen (Engesser et al 2008). Auswertungen von Daten von Windmessstationen in Mitteleuropa (Münch-





Abb 1 *Windwurffläche im Niederental ob Schwanden (Glarus) ein Jahr nach dem Winterorkan Vivian (26. Februar 1990) und 15 Jahre später. Ein Grossteil der Buchen in der Schadenfläche überstand die starken Windböen.* Fotos: Heinz Kasper und Thomas Wohlgemuth



Abb 2 *Stammbrüche von Fichten und Buchen nach dem sommerlichen Gewittersturm vom 16. Juli 2003 bei Wagen, Gemeinde Jona (St. Gallen).* Foto: Thomas Reich

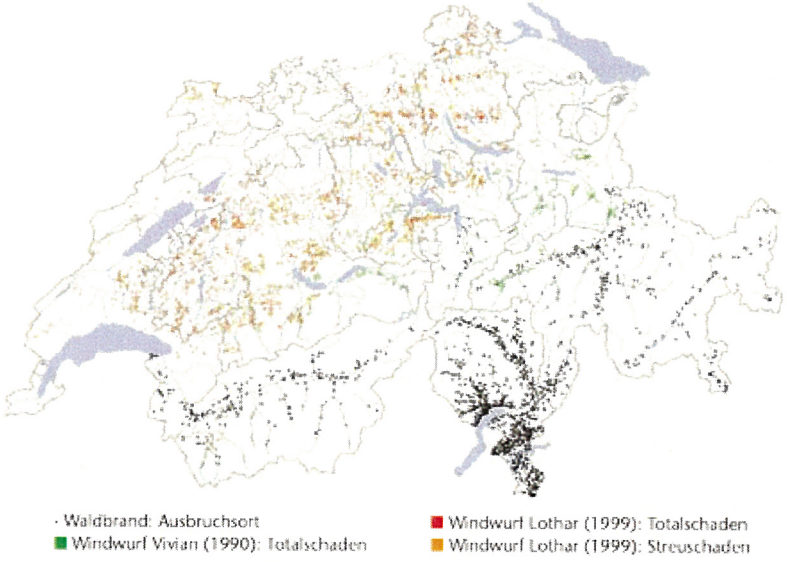


Abb 3 *Wind- und Brandstörungen in Schweizer Wäldern: Von Vivian (1990) und Lothar (1999) geworfene Waldflächen als Polygone, sowie als schwarze Punkte ohne Flächenangabe die seit 1980 durch Brand zerstörten Wälder in den Kantonen Graubünden, Tessin, Uri und Wallis. Vivian-Totalschäden: Mindestfläche 0.2 ha, Restdeckungsgrad maximal 20%; Lothar-Totalschäden: Mindestfläche 1 ha, Restdeckungsgrad maximal 20%; Lothar-Streuschäden: Mindestfläche 1 ha, Restdeckungsgrad Streuschaden zwischen 20% und 60%. Quellen: Vivian- und Lotharinventare: Bafu; Waldbranddatenbank WSL.*

ner Rück 2001, Usbeck et al)[1] belegen eine Zunahme der Windspitzen von Böen (> 30 m/s) seit mehreren Jahrzehnten. Gemäss aktuellen Modellberechnungen sollen Winterorkane in Zukunft häufiger auftreten. Als Ursache hierfür werden veränderte Druckverteilungen bei höherem CO_2-Gehalt in der Atmosphäre genannt, welche zwischen dem 45. und 55. nördlichen Breitengrad vermehrt zu starken Nordwestwinden führen sollen (Beniston et al 2007).

Es wird angenommen, dass als Folge des fortschreitenden Klimawandels Extremereignisse generell häufiger werden (Frei et al 2007). So wird der Klimawandel in den Tieflagen zu ausgeprägten Trockenperioden während der Sommermonate führen. Die Waldbrandgefahr ist in denjenigen Gebieten am grössten, wo sowohl genügend Niederschläge, die das Wachstum der Vegetation und den Aufbau von Brandgut ermöglichen, als auch vorübergehende Trockenperioden, die dieses Brandgut entzündbar machen, vorhanden sind (Christensen 1993). Bei wärmerem Klima dürften Waldbrände nicht nur auf der Alpensüdseite, wo die Monate Januar bis April während der letzten 30 Jahre trockener geworden sind (Reinhard et al 2005), sondern auch nördlich der Alpen (Schumacher & Bugmann 2006) häufiger werden. Im trocken-heissen Sommer 2003 nahm beispielsweise die Blitzschlaganfälligkeit der Vegetation in den montanen und subalpinen Lagen der (Tessiner) Alpen zu, was das Waldbrandrisiko erhöhte (Conedera et al 2006). Im dicht besiedelten Europa, also auch in der Schweiz, haben Waldbrände aber zu über 90% eine unnatürliche Ursache wie Unachtsamkeit an Feuerstellen oder Brandstiftung (Conedera et al 2006). Die Feuerausbreitung verschärft sich überdies bei Starkwinden, so zum Beispiel während Föhn. Die hier geschilderten Prognosen von Extremereignissen sind allerdings generell mit grossen Unsicherheiten behaftet.

1 Usbeck T, Wohlgemuth T, Pfister C, Volz R, Beniston M, Dobbertin M (2008) Wind speed measurements and forest damage in Canton Zurich (Central Europe) from 1891 to winter 2007. Int J Climatol, submitted.

Resistenz von Wäldern gegenüber Wind und Feuer

Wind

Die Resistenz von Wäldern gegenüber Sturmwinden hängt stark von der Baumartenzusammensetzung ab (Gardiner & Quine 2000, Mayer et al 2005). Im Winter tragen vor allem Fichten und Weisstannen infolge grösserer Kronenangriffsfläche ein grösseres Risiko als die Laubbaumarten (Tabelle 1; Dobbertin et al 2002, Schütz et al 2006). Die Tanne mit ihren tief reichenden Wurzeln ist gegenüber Sturmwinden etwas standhafter als die oft flach wurzelnde Fichte. Orkanwinde der Stärke von Sturm Lothar (1999) mit Böenspitzen über 40 m/s beschädigen praktisch alle Baumarten (Quine & Gardiner 2007). Das Schadenausmass bei Orkanwinden hängt auch von der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur unmittelbar vor dem Sturm ab. Bei hohen Temperaturen und feuchten Böden ist das Schadenausmass grösser, bei trockenen oder gefrorenen Böden ist es tiefer (Usbeck et al.[2]). Während Witterungslagen mit Orkanwinden erwärmt sich in der Regel zuerst die Luft und es fällt Niederschlag. Dadurch taut der Boden auf und wird feucht und weich, und die Standfestigkeit von (Nadel-)Hochwäldern gegenüber Wind verringert sich.

Feuer

Menge und Struktur des Brandguts sind entscheidend für die Art, wie ein Feuer wirkt. Feines Brandgut wie Reisig, Flechten, trockenes Gras oder dürre lockere Streu machen die Vegetation entzündbar. Angehäuftes Brandgut (Totholz) sowie ein gleichmässig dicht stehender Bestand fördern eine rasche Ausbreitung von Waldbränden (Fule et al 1997, Hargrove et al 2000, Brown et al 2004). Ätherische Öle von Nadelbäumen, allen voran von Waldföhren, verflüchtigen sich bei Hitze und Trockenheit und können sich bei Feuer explosionsartig entzünden. Für das Tessin sind die Resistenzeigenschaften von Baum-, Strauch- und Krautarten in Bezug auf Feuer bekannt (Tabelle 2, Conedera 2008). Kastanie (*Castanea sativa*), Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Eiche (*Quercus spp.*) sind am besten an Feuer angepasst, da sie dank dicker Borke einerseits kleine Feuer überleben, anderseits auch nach stärkeren Bränden rasch wieder austreiben. Typische Feuerfolger sind Besenheide (*Calluna vulgaris*), Strand-Pfeifengras (*Molinia arundinacea*) und Adlerfarn (*Pteridium aqulinum*).

Im Gegensatz zur Brandauslösung durch Unachtsamkeit oder Brandstiftung, die durch gezielte Information und rechtliche Bestimmungen teilweise beeinflussbar sind (z.B. Feuerverbot im Freien bei grossem Brandrisiko; Conedera et al 2004), lassen sich feuertechnisch gefährliche Waldstrukturen mit angehäuftem Brandgut nur mittelfristig korrigieren. Im Fall von durch Blitzschlag ausgelösten Bränden, deren Ausgangspunkt oft Nadelbäume an exponierten Stellen sind, kann der Waldbau diese Situation kaum entschärfen. Die Aufrechterhaltung der Waldweide, wo diese noch Tradition hat, hilft zum Beispiel, das Brandgut klein zu halten.

Bei einer allgemeinen Zunahme von Dürreperioden (zeitlich und räumlich als Folge des Klimawandels) ist nicht nur mit einer Zunahme von extremen Brandereignissen zu rechnen, sondern auch mit einer grösseren Brandanfälligkeit von Wäldern, in denen Feuer bisher kaum eine Rolle spielte. Hierzu zählen beispielsweise die Buchenmischwälder auf der Alpennordseite, deren trockenes Laub im Winter leicht entzündbar ist (Waldbrand bei Bauma, Kanton Zürich; Tages-Anzeiger vom 25. Februar 2008). Zunehmend brandgefährdet sind mittelfristig Föhren- und generell Nadelwälder der Zentralalpen und der Alpennordseite.

Auf nicht geräumten Windwurfflächen ist das Brandrisiko in Dürrezeiten durch die Akkumulation von liegendem Holz besonders hoch. Entzündet sich das Brandgut, können grosse Feuerintensitäten entstehen, die das Feuer unkontrollierbar machen. Beispiele hierfür sind ein Waldbrand im Jahr 1871 im Gebiet des Parc Jurassien Vaudois (Rochat 1995) und der Waldbrand in der Lüneburger Heide 1975 in Deutschland (Augstein 1975).

2 Usbeck T, Wohlgemuth T, Pfister C, Beniston M, Dobbertin M (2008) Increasing storm damage to forests in Switzerland – What are the causes? For Ecol Manage, submitted.

Baumart	Geschädigte Bäume		Schadenart (%)			
	Anzahl	Anteil	Wurf	Stock-bruch*	Stamm-bruch	Unbe-stimmt
Fichte	233	1.38	53	4	31	12
Tanne	82	1.22	56	4	24	16
Föhre	9	0.68	56	0	44	0
Sonstige Nadelbaumarten	7	0.73	43	0	43	14
Buche	53	0.55	68	2	11	19
Sonstige Laubbaumarten	36	0.55	69	3	19	8

*Tab 1 Windwurfschäden nach Orkan Lothar in der Schweiz: Relativer Schadenanteil (> 1: überdurchschnittlicher, < 1: unterdurchschnittlicher Schadenanteil) und Schadenart für die wichtigsten Baumarten auf dem 4x4-km-Netz der Sanasilva-Inventur (Dobbertin et al 2002). *Stockbruch wurde leicht unterschätzt, da er an genutzten Bäumen nicht separat erfasst wurde.*

Resilienz von Wäldern

Nach Extremereignissen wie Waldbrand oder Windwurf hat sich bisher in fast allen Gebieten der Schweiz wieder Wald entwickelt. Doch gibt es beträchtliche Unterschiede des Besiedlungstempos durch natürliche Verjüngung. Zu Vergleichszwecken haben wir alle für uns greifbaren Schweizer Daten

	Feuerintensität						Feuerhäufigkeit	
	klein	gross	klein	gross	klein	gross	klein	gross
	Überleben		Austrieb		Ansamung		Anpassung	
Bäume, Sträucher								
Abies alba	--	---	---	---	---	---	1	1
Acer spp.	--	---	(+)	-	+	--	1	1
Alnus spp.	--	---	(+)	-	-	---	4	2
Betula spp.	++	+	+	+	++	+	4	3
Castanea sativa	++	+	+++	+++	++	+	5	4
Corylus avellana	--	---	+++	++	-	-	4	2
Fagus sylvatica	--	---	(+)	-	++	+	2	2
Frangula alnus	--	---	+	-	+	+	4	3
Fraxinus spp.	-	---	(+)	-	+	-	1	1
Larix decidua	++	+	---	---	+	+	3	3
Picea abies	-	--	---	---	-	-	2	1
Pinus sylvestris	++	+	---	---	+	+	3	2
Populus tremula	--	---	+++	++	++	+	4	3
Quercus spp. (laubabwerfend)	+++	+	++	+	++	+	4	2
Robinia pseudoacacia	++	+	+++	++	+++	+	5	4
Salix caprea	+	-	+++	++	++	+	4	2
Sambucus spp.	-	---	+++	++	+	+	4	2
Tilia spp.	-	---	(+)	--	+	-	1	1
Ulmus spp.	-	---	-	--	-	-	1	1
Zwergsträucher, Gräser, Farne								
Calluna vulgaris	--	---	+++	+++	++	+++	3	5
Cistus salviifolius	-	---	---	---	+++	+++	4	5
Molinia arundinacea	--	---	+	++	++	+++	4	5
Pteridium aquilinum	--	---	++	+++	++	+++	3	5
Einheimische Immergrüne								
Hedera helix, Ilex aquifolium, Taxus baccata	--	---	(+)	--	-	---	2	1
Exotische Immergrüne								
Laurus nobilis, Prunus laurocerasus, Trachicarpus fortunei, etc.	--	---	(+)	--	-	---	2	1

Tab 2 *Resistenz gegenüber Waldbrand (Bodenfeuer) und Überlebensstrategien für ausgesuchte Baum-, Strauch- und Krautarten des Kantons Tessin. --- sehr gering, - gering, + vorhanden, +++ sehr gross, () nur im Jugendstadium, 1 intolerant/stark geschädigt, 2 empfindlich, 3 indifferent, 4 bevorteilt, 5 adaptiert bzw. kompetitiv. Quellen: Delarze et al 1992, Hofmann et al 1998, Tinner et al 1998, 1999, Grund et al 2005, Conedera 2008.*

von Waldverjüngung nach Windwurf oder Waldbrand mit repräsentativer Erhebungsmethodik als Streudiagramm dargestellt (Abbildung 4). Als einzig verfügbaren Einflussfaktor korrelierte die Höhe über Meer in einer linearen Regressionsanalyse mit der Verjüngungsdichte. Die Höhenlage, die zur Hauptsache Niederschlag und Temperatur repräsentiert, erklärt 31% der Streuung der Verjüngungsdichte. Einen ähnlichen Zusammenhang wies auch Bachofen (2008) für die Verjüngung in verschieden hoch gelegenen Plenter- und Dauerwäldern nach.

Verjüngung nach Windwurf

Verjüngungszahlen von mehrjährigen Untersuchungen in Vivian- und Lotharsturmflächen zeigen, dass die Wiederbewaldung in tieferen Lagen rascher voranschreitet als in montanen und besonders in subalpinen Lagen (Abbildung 4), wobei der Zusammenhang ohne Studien zur Verjüngung in schlitzförmigen Bestandesöffnungen und nach Waldbrand etwas besser ist ($R^2 = 0.33$). Nahe liegende Gründe hierfür sind die längere Vegetationszeit und die breite Baumartenpalette in Tieflagen. Damit ist aber nur ein Teil des Verjüngungserfolgs erklärt. In fünf der acht Vivian- und Lotharversuchsflächen mit mehreren Behandlungen war die Naturverjüngung auf den geräumten Teilflächen dichter als auf den ungeräumten. In Schwanden war nach Vivian der Wilddruck in der geräumten Versuchsfläche höher als in der ungeräumten (siehe auch Rammig et al 2007 und Moser et al 2008), und in anderen Flächen spielte die Vorverjüngung, d.h. die Verjüngung, die zum Zeitpunkt des Windwurfs bereits vorhanden war, eine herausragende Rolle. In Müntschemier ging dem Sturm ein Buchenmastjahr voraus, wodurch bereits im Sommer nach dem Sturm viele Buchen keimten. Auf einigen Schadenflächen in Gebirgswäldern, so zum Beispiel in Disentis und Pfäfers, entwickelten sich verjüngungshemmende Hochstauden oder Reitgrasfluren (Abbildung 5), welche nur langsam durch aufkommende Büsche und Einzelbäume – Weiden, Pappeln, Birken, Vogelbeere – zurückgedrängt werden (Wohlgemuth et al 2002). In Tieflagen sind analoge Behinderungen der Baumverjüngung durch aufkommende Bodenvegetation, wie beispielsweise durch Adlerfarn auf Lothar-Sturmflächen, eine Ausnahme (Koch & Brang 2005). In den ersten Jahren nach Windwurf können allerdings Brombeeren das Aufkommen von Buchen verzögern (Nobis & Bürgi 2004). In grossen Lothar-Sturmflächen mit Verjüngungsproblemen etabliert sich die Naturverjüngung räumlich geklumpt, wobei Vorverjüngung, Konkurrenzvegetation und die Präsenz von Samenbäumen als wichtigste Gründe dafür genannt werden (Brang 2005). Über den Einfluss wiederholter Dürren auf die Naturverjüngung in Windwurfflächen liegen keine eigenen Analysen vor. Verschiedene Studien zeigen jedenfalls, dass Trockenheit den Verlauf der Baumverjüngung massgeblich verzögern kann (z.B. Castro et al 2004 oder Dovciak et al 2005).

Verjüngung nach Waldbrand

In den Zentralalpen entwickelt sich nach Waldbrand je nach Höhenlage und Trockenheit unterschiedlich rasch wieder Wald. In der Waldbrandfläche Il Fuorn im Schweizerischen Nationalpark (1800 m ü.M.) sind noch Jahrzehnte nach dem Brandereignis von 1951 kaum Hinweise auf eine baldige Wiederbewaldung zu entdecken (Geissler &

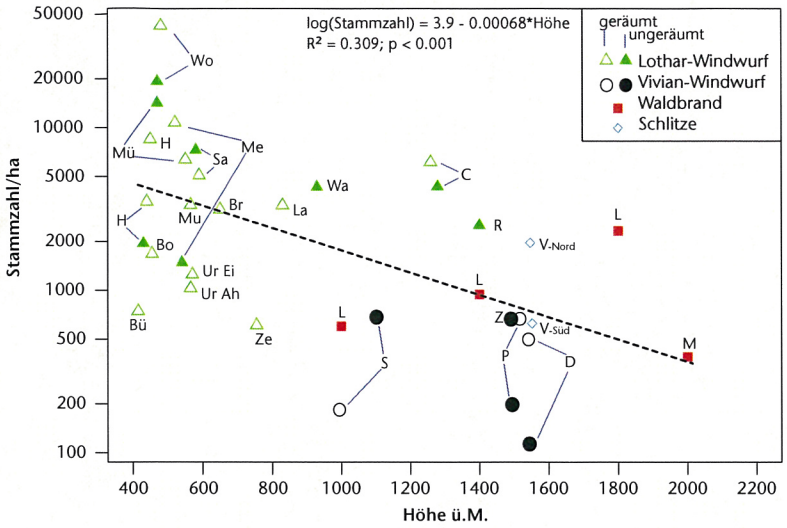


Abb 4 *Verjüngungsdichten auf verschiedenen Untersuchungsflächen, in der Regel drei Jahre nach dem Extremereignis: nach Vivian-Windwurf (Schönenberger 2002), nach Lothar-Windwurf (Angst et al 2004, Koch & Brang 2005, Reich et al 2006), nach Waldbrand (Schönenberger & Wasem 1997) und nach schlitzförmigen Auflichtungen (Wunder & Brang 2003). Die Angaben beziehen sich auf Bäumchen > 20 cm, ausser für Leuk (> 25 cm) und Vorderrheintal (≥ 10 cm). Untersuchungsorte: Bo Bonfol (JU), Br Bremgarten (AG), Bü Bülach (ZH), C Châtel St.Denis (FR), D Disentis (GR), Ha Habsburg (AG), L Leuk (VS; drei Höhenstufen), LA Lausanne (VD), Me Messen (SO), M Müstair (GR; 5 Jahre), Mü Müntschemier (BE), P Pfäfers (SG), R Rorwald (OW), S Schwanden (GL), UR Urtenen (BE; Eiche- und Ahornfläche), V Vorderrheintal (GR; 6–9 Jahre), Wo Wohlen (AG), Wa Walkringen (BE), Z Zweisimmen (BE), ZE Zell (LU).*

Pflanzen pro ha gezählt worden (95% Laubbäume), und unterhalb von 1200 m waren es noch 900 Pflanzen pro ha, davon die meisten am Rand zum intakten Wald. In den unteren, trockenen Lagen kann die Verjüngungssituation infolge mehrerer trockener Frühlinge seit 2004 als prekär bezeichnet werden.

Im Gegensatz zu Kastanienwäldern im Tessin, wo besonders Kastanien nach einem Brand ausschlagen und rasch zu einem Buschwald heranwachsen (Hofmann et al 1998, Moretti & Conedera 2005; Abbildung 7), hinterlassen Brände in trockenen Nadelwäldern eine stärkere Zerstörung, die sich vermutlich auch in einer vorübergehenden Vernichtung der Mykorrhizapilze im Oberboden niederschlägt (Neary et al 1999; Abbildung 6). Eine Zwischenposition nehmen Buchenwälder ein: Die Bäume sterben durch Pilzbefall zwei bis drei Jahre nach einem Brandereignis ab (Conedera et al 2007), produzieren in der Regel aber zwischenzeitlich genügend Samen für die Etablierung einer natürlichen Verjüngung.

Da bei Waldbränden die Vorverjüngung in der Regel ebenfalls vernichtet wird, dauert die natürliche Verjüngung länger als nach Windwürfen. In trockenen Lagen wie im Wallis ist eine ausreichende Bodenfeuchte im Frühling entscheidend für den Verjüngungserfolg. Folgen einem Waldbrand mehrere trockene Jahre, dann bleibt die spontane Ansiedlung von Waldbäumen für eine längere Zeit aus.

Natürliche Wiederbewaldung und zukünftiger Wald

So verheerend und katastrophal Extremereignisse für den Wald sein können, so chancenreich könnten sie sich auf die Zukunftsfähigkeit beziehungsweise die Nachhaltigkeit von Wäldern auswirken. Betrachten wir Störungen wie natürliche Extremereignisse oder die Waldnutzung als immer wiederkehrende Einflüsse auf Wälder, und dies auch im Zeitalter der Klimaerwärmung, dann ist eine vielfältige Artenzusammensetzung der Verjüngung eine Versicherung für die Zukunft. Diejenigen Baumar-

Hartmann 2000). In ähnlicher Höhenlage im Münstertal (Abbildung 4, Fläche M) kommt die natürliche Wiederbewaldung auf einer Waldbrandfläche zwischen 1800 und 2200 m ü. M. mit rund 2000 Pflanzen pro ha nach 12 Jahren ~~ebenfalls nur zögernd~~ voran (Schönenberger & Wasem 1997). Auf der Waldbrandfläche von Leuk (Abbildung 4, Flächen L), wo die Wiederbesiedlung zwischen 850 und 2100 m ü.M. regelmässig erfasst wird, hat dagegen die Verjüngungsdichte oberhalb von 1600 m ü.M. nach vier Jahren bereits den Wert der Brandfläche von Müstair erreicht (2000 Pflanzen pro ha; rund ein Fünftel davon Lärchen und Fichten). Zwischen 1200 und 1600 m ü. M. sind bisher knapp 1200



Abb 5 *Reitgrasflur in der Vivian-Schadenfläche Uaul Cavorgia bei Disentis (Graubünden).* Foto: Ulrich Wasem



Abb 6 *Waldbrandfläche von Leuk (Wallis) drei Jahre nach dem Brandereignis vom 13. August 2003 mit Erdbeerspinat (Blitum virgatum L.). In den trockenen Tieflagen kommt die Verjüngung von Baumarten nur schleppend voran.* Foto: Alexandra Bunge



Abb 7 *Ausschlagende Kastanien (Castanea sativa) nach Waldbrand.* Foto: Marco Conedera

ten, die sich in unseren immer wärmeren und trockeneren Sommerzeiten auf Waldbrand- und Windwurfflächen spontan ansiedeln, haben eine erste Hürde, jene der heiklen Verjüngungsphase, genommen. Diese Phase kann zum Flaschenhals werden (Rodríguez-Pérez & Traveset 2007). Überstehen die Bäumchen die Etablierungsphase, dann dürften im aufkeimenden Wald die Voraussetzungen zum Überleben als Pflanzengemeinschaft auch während wärmeren Zeiten gegeben sein. Es ist anzunehmen, dass die Waldverjüngung in grossflächig wind- oder brandgeschädigten Waldbeständen stärker durch Dürren beeinflusst wird als jene in kleinen Störungsflächen, wo das Waldinnenklima kaum beeinträchtigt ist. Da der Sameneintrag mit zunehmender Distanz zu den Samenbäumen abnimmt (z.B. Fichtensamen; Lässig et al 1995), ist von einer verzögerten Verjüngung von bestandesbildenden Baumarten in grossflächig gestörten Waldflächen auszugehen (vgl. White & Jentsch 2001).

Noch gibt es aber kaum Hinweise auf Waldentwicklungen, die grossflächig oder weiträumig im Widerspruch zu unserem aktuellen Wissen über Waldgemeinschaften ablaufen, dies obwohl die Temperaturen während der letzten Jahrzehnte erwiesenermassen bereits angestiegen sind (Wildi & Wohlgemuth 2007). Vorstellungen darüber, wie lange die Wälder resistent gegenüber höheren Temperaturen beziehungsweise längeren Trockenperioden bleiben, oder wie sich Wälder in verändertem Klima nach Extremereignissen verjüngen, können uns Modellprojektionen geben (siehe Zimmermann & Bugmann 2008, in diesem Heft). Noch unmittelbarer als in solchen schwer interpretierbaren Projektionen zeigt sich jedoch die Wirkung wärmerer Temperaturen bereits heute zum Beispiel in der Zunahme von immergrünen Pflanzen in Tessiner Wäldern (Walther et al 2002), im Höherwandern der Mistel (Dobbertin et al 2005), in der Ablösung der Waldföhren durch die Flaumeiche im Wallis (Rigling et al 2006) oder die Invasion von Neophyten auf Blössen in ~~Höhenlagen unterhalb von 1000 m ü. M.~~ (Nobis 2008). Auf der Grundlage solcher Beobachtungen können gezielte Experimente zur Baumverjüngung unter limitierten Wuchsbedingungen neue Erkenntnisse liefern. ■

Eingereicht: 13. Mai 2008, akzeptiert (mit Review): 11. Juli 2008

Literatur

ANGST C ET AL (2004) Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Birmensdorf: Eidg Forsch.anstalt Wald Schnee Landsch. 98 p.

AUGSTEIN R (1975) Das grosse Feuer. Wer hat versagt? Spiegel 29 (34): 9.

BACHOFEN H (2008) Nachhaltige Verjüngung in ungleichförmigen Beständen. Schweiz Z Forstwes (in press).

BENISTON M ET AL (2007) Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. Clim Change 81: 71–95.

BRANG P (2005) Räumliche Verteilung der Naturverjüngung auf grossen Lothar-Sturmflächen. Schweiz Z Forstwes 156: 467–476. doi: 10.3188/szf.2005.0467

BRANG P ET AL (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. Schweiz Z Forstwes 159: xx-xx. doi: 10.3188/szf.2008.0xxx

BROWN RT, AGEE JK, FRANKLIN JF (2004) Forest restoration and fire: Principles in the context of place. Conserv Biol 18: 903–912.

CASTRO J, ZAMORA R, HÓDAR JA, GÓMEZ JM (2005) Alleviation of summer drought boosts establishment success of Pinus sylvestris in a Mediterranean mountain: an experimental approach. Plant Ecol 181: 191–202.

CHRISTENSEN NL (1993) Fire regimes and ecosystem dynamics. In: Crutzen PJ, Goldammer JG, editors. Fire in the environment: the ecological, atmospheric, and climate importance of vegetation fires. New York: Wiley. pp 233–244.

CONEDERA M (2008) Implementing fire history and fire ecology in fire risk assessment: the study case of Canton Ticino (southern Switzerland). Karlsruher Schr Geogr Geoökologie 24 (in press).

CONEDERA M, CESTI G, PEZZATTI GB, ZUMBRUNNEN T, SPINEDI F (2006) Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem. Forest Ecol Manage 234 (Supp 1): S68 (9 p).

CONEDERA M ET AL (2004) La gestione degli incendi boschivi in Canton Ticino: tentativo di una sintesi storica. Schweiz Z Forstwes 155: 263–277. doi: 10.3188/szf.2004.0263

CONEDERA M, LUCINI L, HOLDENRIEDER O (2007) Bäume mit Brandwunden. Pilze als Pioniere nach Feuer. Wald Holz 88 (11): 45–48.

DELARZE R, CALDELARI D, HAINARD P (1992) Effects of fire on forest dynamics in southern Switzerland. J Veg Sci 3: 55–60.

DOBBERTIN M ET AL (2005) The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album ssp. austriacum*) in Switzerland – the result of climate warming? Int J Biometeorol 50: 40–47.

DOBBERTIN M, SEIFERT M, SCHWYZER A (2002) Standort und Bestandesaufbau waren mitentscheidend für das Ausmass der Sturmschäden. Wald Holz 83 (1): 39–42.

DOVCIAK M, FRELICH LE, REICH PB (2005) Pathways in old-field succession to white pine: Seed rain, shade, and climate effects. Ecol Monogr 75: 363–378.

ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, ODERMATT O (2008) Waldschutzsituation 2007 in der Schweiz. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 63: 370–372.

FREI C ET AL (2007) Grundlagen. In: OcCC. Klimaänderungen und die Schweiz 2050. Bern: Pro Clim. pp. 11–23.

FULE PZ, COVINGTON WW, MOORE MM (1997) Determining reference conditions for ecosystem management of southwestern ponderosa pine forests. Ecol Appl 7: 895–908.

GARDINER BA, QUINE CP (2000) Management of forests to reduce the risk of abiotic damage – a review with particular reference to the effects of strong winds. For Ecol Manage 135: 261–277.

GEISSLER P, HARTMANN J (2000) Vegetationsdynamik in einem 1951 abgebrannten Bergföhrenbestand. Natl.park-Forsch Schweiz 89: 107–129.

GRUND K, CONEDERA M, SCHRÖDER H, WALTHER GR (2005) The role of fire in the invasion process of evergreen broad-leaved species. Basic Appl Ecol 6: 47–56.

HARGROVE WW, GARDNER RH, TURNER MG, ROMME WH, DESPAIN DG (2000) Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes. Ecol Model 135: 243–263.

HOFMANN C, CONEDERA M, DELARZE R, CARRARO G, GIORGETTI P (1998) Effets des incendies de forêt sur la végétation au Sud des Alpes suisses. Mitt Eidg Forsch.anst Wald Schnee Landsch 73: 1–90.

KOCH R, BRANG P (2005) Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. Schlussbericht zuhanden der Forstdirektion des BUWAL. Birmensdorf: Eidg Forschung.anstalt Wald Schnee Landsch. 90 p.

LÄSSIG ET AL (1995) Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen. Schweiz Z Forstwes 146: 893–911.

MAYER P ET AL (2005) Forest storm damage is more frequent on acidic soils. Ann For Sci 62: 303–311.

MORETTI M, CONEDERA M (2005) Ecologia degli incendi nella Svizzera sudalpina: effeti su suolo, vegetazione e fauna. Schweiz Z Forstwes 156: 338–344. doi: 10.3188/szf.2005.0338

MOSER B, SCHÜTZ M, HINDENLANG KE (2008) Resource selection by roe deer: are windthrow gaps attractive feeding places? For Ecol Manag 255: 1179–1185.

MÜNCHNER RÜCK (2001) Winterstürme in Europa (II): Schadenanalyse 1999 – Schadenpotenziale. München: Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft. 71 p.

NEARY DG, KLOPATEK CC, DEBANO LF, FFOLLIOTT PF (1999) Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. For Ecol Manage 122: 51–71.

NOBIS M (2008) Invasive Neophyten auch im Wald? Wald Holz 89 (8): 46–49.

NOBIS M, BÜRGI A (2004) Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen. In: Angst C et al, editors. Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Birmensdorf: Eidg Forsch.anstalt Wald Schnee Landsch. pp 78–85.

QUINE CP, GARDINER BA (2007) Understanding how the interaction of wind and trees results in windthrow, stem breakage, and canopy gap formation. In: Johnson EA, Miyanishi K, editors. Plant disturbance ecology. The process and the response. Amsterdam: Elsevier. pp. 103–152.

RAMMIG A, FAHSE L, BEBI P, BUGMANN H (2007) Wind disturbance in mountain forests: Simulating the impact of management strategies, seed supply, and ungulate browsing on forest succession. For Ecol Manage 242: 142–154.

REICH T, LÄSSIG R, ANGST C (2004) Vielfalt und Urtümlichkeit erhalten: Das Waldreservat Rorwald. Wald Holz 85 (7): 32–36.

REINHARD M, REBETEZ M, SCHLAEPFER R (2005) Recent climate change: rethinking drought in the context of forest fire research in Ticino, South of Switzerland. Theor Appl Climatol 82: 17–25.

RIGLING A ET AL (2008) Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung. Schweiz Z Forstwes 159: xx–xx. doi: 10.3188/szf.2008.0xxx

RIGLING A ET AL (2006) Verdrängen Flaumeichen die Walliser Waldföhren? Birmensdorf: Eidg Forsch.anstalt Wald Schnee Landsch, Merkbl Praxis 41. pp. 1–16.

ROCHAT A (1995) Histoire des forêts de la commune du Lieu. In: Rochat A, editor. La commune du Lieu, ses églises, ses cloches et ses forêts. Les Charbonnières: Le Pelerin. pp 5–18.

RODRÍGUEZ-PÉREZ J, TRAVESET A (2007) A multi-scale approach in the study of plant regeneration: Finding bottlenecks is not enough. Perspect Plant Ecol Evol Syst 9: 1–13.

SCHERZINGER W (1996) Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Stuttgart: Ulmer. 447 p.

SCHÖNENBERGER W (2002) Post windthrow stand regeneration in Swiss mountain forests: the first ten years after the 1990 storm Vivian. Forest Snow Landsc Res 77: 61–80.
SCHÖNENBERGER W, WASEM U (1997) Wiederbewaldung einer Waldbrandfläche in der subalpinen Stufe bei Müstair. Schweiz Z Forstwes 148: 405–424.
SCHUMACHER S, BUGMANN H (2006) The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. Glob Change Biol 12: 1435–1450.
SCHÜTZ JP, GÖTZ M, SCHMID W, MANDALLAZ D (2006) Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. Eur J For Res 125: 291–302.
TINNER W ET AL (1998) Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since AD 1920. Holocene 8: 31–42.
TINNER W, HUBSCHMID P, WEHRLI M, AMMANN B, CONEDERA M (1999) Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. J Ecol 87: 273–289.
WALTHER GR ET AL (2002) Ecological responses to recent climate change. Nature 416: 389–395.
WHITE PS, JENTSCH A (2001) The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. Prog Bot 62: 399–449.
WILDI O, WOHLGEMUTH T (2007) Waldstatik – Walddynamik. Birmensdorf: Eidg Forsch.anstalt Wald Schnee Landsch, Inf.bl Landschaft 69. pp. 1–4.
WOHLGEMUTH T, KULL P, WÜTRICH H (2002) Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. For Snow Landsc Res 77: 17–47.
WUNDER J, BRANG P (2003) Fichtenverjüngung im Gebirgswald: Erfolgskontrolle in Schlitzen. Wald Holz 84 (6): 13–14.
ZIMMERMANN NE, BUGMANN H (2008) Modelle zur Waldentwicklung bei Klimaerwärmung [Titel noch nicht definitiv]. Schweiz Z Forstwes 159: xx–xx. doi: 10.3188/szf.2008.0xxx

Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald

xxx

xxx

Die häufigsten natürlichen Störungen in Schweizer Wäldern sind klimatische Extremereignisse: auf der Alpennordseite Sommergewitter und Winterstürme, und auf der Alpensüdseite Waldbrände. Verschiedene Studien legen dar, dass Stürme und Brände als Folge des Klimawandels zunehmen werden. Wie resistent sind die Wälder in der Schweiz gegen solche Extremereignisse, und wie rasch erholen sich stark geschädigte Wälder? Da die stärksten Winde bei Winterstürmen auftreten, sind die Nadelbäume Fichte und Tanne am häufigsten betroffen. Bei Böenspitzen über 40 m/s entstehen schwere Schäden an allen Baumarten. Das Schadenausmass bei Orkanwinden hängt auch vom Zustand der Waldböden ab. Die Resistenz von Wäldern gegenüber Feuer hängt mit der Entzündbarkeit zusammen, welche infolge öfter auftretender Trockenheiten zunehmen wird. Davon betroffen sein werden nicht nur Wälder des Tessins sondern in geringerem Masse auch solche der Zentralalpen und sogar der Alpennordseite. ~~Nadelbäume brennen besser als Laubbäume, doch auch trockenes Buchenlaub ist leicht entzündbar.~~ Nach Wind- und Feuerstörungen hat in der Schweiz in den meisten Fällen eine spontane Waldregeneration stattgefunden. Resultate aus verschiedenen Untersuchungen nach Störungen zeigen, dass der Verjüngungserfolg mit zunehmender Höhe ü. M. mässig, jedoch signifikant, abnimmt ($R^2 = 0.31$). ~~Weitere Faktoren wie Vorverjüngung, Wilddruck, konkurrenzierende Bodenvegetation oder dem Vorhandensein von Samenbäumen können nach Störungen bedeutend sein.~~ Das Tempo der Wiederbesiedlung nach Waldbrand hängt von verschiedenen Faktoren ab wie beispielsweise Baumart, Trockenheit und durch das vorübergehende Fehlen von Mykorrhiza.

Der natürliche Regenerationsprozess in Wäldern nach Extremereignissen stellt einen ersten Anpassungsschritt in Richtung Zukunftswald dar. Jene Pflanzengemeinschaften, die sich in Schadenflächen regenerieren, dürften resistent sein gegenüber dem zukünftigen Klima.