

Langzeitforschung auf Sturmflächen zeigt Potenzial und Grenzen der Naturverjüngung

Peter Brang

Sandra Hilfiker

Ulrich Wasem

Andreas Schwyzer

Thomas Wohlgemuth

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Grüningen (CH)

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Langzeitforschung auf Sturmflächen zeigt Potenzial und Grenzen der Naturverjüngung

Wird ein Waldbestand von einem Sturm geworfen, stellen sich Fragen nach der zweckmässigen waldbaulichen Behandlung. Antworten darauf liefern Langzeituntersuchungen auf 19 Sturmflächen, die von Vivian (1990) und Lothar (1999) verursacht wurden und die geräumte, geräumte und bepflanzte sowie belassene Teilflächen enthalten. Die Wiederbewaldung der Totalschadenflächen wurde mit wiederholten Verjüngungsinventuren untersucht. 10 beziehungsweise 20 Jahre nach den Stürmen waren die entstandenen Jungwälder 3 bis 12 m hoch und wiesen Stammzahlen von 500 bis 31 400 Stück pro Hektare auf. In den Sturmflächen wachsen viele Baumarten, wobei Schlussbaumarten wie Buche (in Tieflagen) und Fichte (in Hochlagen) zahlenmässig dominieren. Die Vorverjüngung macht nur einen kleinen Anteil des Jungwaldes aus, weil die Vorbestände wenig Verjüngung enthielten. Auf geräumten Flächen ist die Verjüngung etwas dichter als auf belassenen. Die jährliche Dichtezunahme der Verjüngung lag zwischen 25 und 4000 Bäumchen pro Hektare, wobei tiefe Werte vor allem bei einer dichten Vegetationsdecke aus Hochstauden, Brombeeren oder Adlerfarn vorkamen. Die Dichtezunahme hat sich seit den Stürmen verringert, und in stammzahlreichen Dickungen geht die Verjüngungsdichte bereits wieder zurück. Am schnellsten wachsen Pionierbaumarten sowie Bergahorne und Eschen, am langsamsten die Schlussbaumarten Fichte und Tanne. Mit Pflanzung lässt sich bei Fichten auf hochmontanen Sturmflächen ein Höhenvorsprung von rund 1.0 bis 2.4 m nach 20 Jahren erreichen; vor allem aber lassen sich Lücken, welche in den Sturmflächen auch 10 beziehungsweise 20 Jahre nach dem Sturm noch verbreitet sind, vermeiden. Auf Totalschadenflächen ist eine Stützpunktpflanzung zu prüfen, besonders im Schutzwald und in Fällen mit wenig Vorverjüngung, fehlenden Samenbäumen und dichter Bodenvegetation.

Keywords: natural regeneration, forest succession, windthrow gaps, monitoring, height growth, species composition

doi: 10.3188/szf.2015.0147

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

Die Orkane Vivian (26.2.–1.3.1990) sowie Lothar und Martin (26.–27.12.1999) verursachten in den Schweizer Wäldern 4928 beziehungsweise 23 912 ha Totalschadenflächen (höchstens 20% Restdeckung; Brang & Wohlgemuth 2013). Deren Behandlung warf viele Fragen auf, insbesondere ob das Sturmholz geräumt und ob gepflanzt werden sollte. Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) richtete daher nach Vivian zuerst vier und nach Lothar nochmals 17 unterschiedlich behandelte Sturm-Beobachtungsflächen (SBF) ein und erforscht seither deren Entwicklung mit wiederholten Erhebungen. Der Fokus liegt dabei auf der Wiederbewaldung.

Im Jahr 2010, also 20 Jahre nach Vivian und 10 Jahre nach Lothar, wurde in diesen Flächen eine

weitere Erhebung durchgeführt. Parallel dazu fand eine Erhebung in einer grossen Stichprobe von 90 Sturmflächen statt («Sturmflächen-Stichprobe», Brang & Wohlgemuth 2013, Wohlgemuth & Kramer 2015, dieses Heft). In diesem Beitrag nutzen wir in den SBF erhobene Daten zur Beantwortung von zwei Fragen:

- 1) Wie entwickeln sich die Stammzahl und die Baumhöhe im Jungwald auf Sturmflächen, und welchen Einfluss haben dabei deren Behandlung, die Vorverjüngung und die Krautvegetation?
- 2) Welche Folgerungen lassen sich daraus für die Entscheidungsfindung zur Wiederbewaldung auf grossen Sturmflächen ziehen?

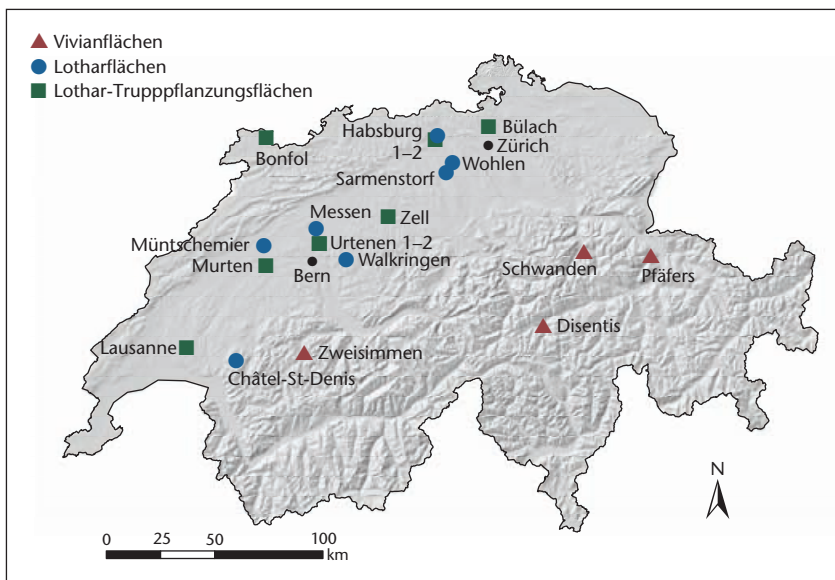


Abb 1 Lage der 19 untersuchten Sturm-Beobachtungsflächen in der Schweiz.

Material und Methoden

Die SBF liegen verteilt über die Gebiete, die von Vivian und Lothar betroffen waren (Abbildung 1). Fünf Flächen befinden sich in den Alpen (die vier Vivianflächen und die Lotharfläche Châtel-St-Denis), die übrigen 14 im Mittelland beziehungsweise in der Ajoie bis auf circa 800 m ü. M.

(Walkringen: 930 m ü. M.). Von der Analyse ausgeschlossen wurden die SBF Bremgarten (keine Erhebung 2010) und Rorwald (abweichende Erhebungsmethode). Die verbleibenden 19 SBF sind 1 bis 7 ha gross, liegen aber zum Teil in wesentlich grösseren Totalschadenflächen.

Die SBF stammen aus drei Forschungsprojekten (Tabelle 1): 1) dem Vivian-Forschungsprogramm, das belassene, geräumte sowie geräumte und bepflanzte Flächen umfasst (Lässig & Schönenberger 1993, Schönenberger 2002); 2) dem Lothar-Forschungsprogramm mit belassenen und geräumten Flächen (Angst et al 2004); 3) Feldexperimenten zur Trupppflanzung auf Lotharflächen mit starker Vegetationskonkurrenz (Koch & Brang 2005). Geräumte Teilflächen kommen in 17 der 19 Versuchsflächen vor, belassene in 11 und geräumte und bepflanzte in 3 Flächen.

In allen SBF wurde die Verjüngung mit Stichprobeninventuren erfasst. Diese umfassten bei der Inventur 2010 pro SBF 21 bis 75 Probekreise in systematischer Verteilung. Die Projektionsflächen der Probekreise betragen 10, 20 und 50 m² (Tabelle 2). Die Erhebungsdesigns erlauben verzerrungsfreie Schätzungen der Verjüngungsdichte, Baumhöhe und Baum mortalität nach Baumarten. Von den in Tabelle 2 aufgeführten Probekreisen sind für diesen Beitrag besonders jene 762 interessant, in denen

Ort	Region und Behandlung	Höhe ü. M. (m)	Exposition	Standorttyp nach Frehner et al (2005)	Grösse (ha) b/g/p	Jahr der Erstinventur	Anzahl Probekreise	
							Erstinventur	2010
Vivianflächen								
Disentis	A; bgp	1400–1550	NW	50, 57	3/2/2	1992	75	69
Pfäfers	A; bgp	1440–1560	WNW	20	1/1/1	1992	63	54
Schwanden	A; bgp	920–1120	W	8, 26, 18, 51	2/3/2	1992	77	75
Zweisimmen	A; b	1475–1590	NW	48, 50	4/–/–	1992	25	25
Lotharflächen								
Châtel-St-Denis	A; bg	1220–1325	W	18, 50a	3/3/–	2001	41	36
Habsburg 1	M; bg	425–455	SSO/O	7a, 7d	30/13/–	2001	50	49
Messen	M; bg	510–540	NO	7 (29)	4/1/–	2001	44	40
Müntschemier	M; bg	470–550	NW, O und SO/N	7, 6	15/3/–	2001	49*	46
Sarmenstorf	M; bg	570–600	NO	6, 7a, 7aS, 7d	2/5/–	2001	47**	45
Walkringen	M; b	930–935	SW	8, 46	4/–/–	2001	25	24
Wohlen	M; bg	460–480	NO	7a, 7aS, 7d	1/2/–	2002	46	42
Lothar-Trupppflanzungsflächen								
Bonfol	J; g	450–460	SO	7aS/7b, 7a/7d	–/2/–	2001	144	33
Bülach	M; g	415–420	W, eben	7d	–/4/–	2001	144	36
Habsburg 2	M; g	435–455	SO	7a, 7d	–/13/–	2001	144	31
Lausanne	M; g	820–840	W	8a, 8aS	–/2/–	2001	144	34
Murten	M; g	560–570	SO	7a, 7b, 7aS	–/5/–	2001	144	33
Urtenen 1	M; g	560–575	NO, SW	7d	–/4/–	2001	144	30
Urtenen 2	M; g	565–575	S	7d	–/4/–	2001	144	35
Zell	M; g	750–760	S	7d (6)	–/2/–	2001	144	30

Tab 1 Charakteristiken der Sturm-Beobachtungsflächen. Region: A = Alpen, J = Jura, M = Mittelland; Behandlung: b = belassen, g = geräumt, p = geräumt und bepflanzte. Auf den Lothar-Trupppflanzungsflächen sind die gepflanzten Varianten nicht angegeben. Der Standorttyp richtet sich nach Frehner et al (2005). * zusätzlich 12, ** zusätzlich 10 Stichprobenkreise im intakten Wald.

Merkmal	Vivianflächen	Lotharflächen	Lothar-Trupppflanzungsflächen	Total
Beobachtungsflächen	4	7	8	19
Inventurjahre	92, 93, 95, 98, 00, 05, 10	01, 02, 03, 10	01, 02, 04, 07, 10	–
Probekreisfläche (m ²)	50	20	10	–
Anzahl Probekreise	240	328	1152	1720
davon belassen	94	160	0	254
davon geräumt	76	144	288	508
davon bepflanzt	70	24	936	1030
davon ohne Pflege	170	304	288	762
Anzahl lebende Bäume 2010	4337	6707	593	11 637
davon Naturverjüngung	3441	6706	591	10 738
davon gepflanzt	896	1	2	899

Tab 2 Stichprobendesign, Erhebungsjahre und Anzahl erfasster Gehölzpflanzen in den Sturm-Beobachtungsflächen. Es ist zu beachten, dass in gewissen Probekreisen im Jahr 2010 keine Inventur stattfand.

keine Jungwaldpflege stattfand und die damit die natürliche Wiederbewaldung am besten repräsentieren. Bei der Inventur 2010 wurden 74 Probekreise nicht mehr erfasst, weil ihre Lage nicht rekonstruiert werden konnte; einige waren auch durch Rutschung zerstört worden. In den Trupppflanzungsflächen beschränkte sich die Inventur 2010 auf die unbepflanzten Teilflächen.

In jedem Probekreis wurden Art, Azimut, Distanz, Vitalität und Höhe jeder Gehölzpflanze mit einer minimalen Grösse von 20 cm erfasst (Hilfiker & Roth 2010). Insgesamt wurden bei der Inventur 2010 899 gepflanzte und 10 738 natürlich verjüngte Gehölzpflanzen erfasst. Von 3763 Bäumchen bestehen Datenreihen seit Messbeginn im Jahr 1992 (nach Vivian) beziehungsweise 2001 (nach Lothar).

Zwischen Vor- und Nachverjüngung wurde wie folgt unterschieden: Auf Vivian-Sturmflächen galt ein Bäumchen als vorverjüngt, wenn es 1992 mehr als 50 cm hoch war, auf Lothar-Sturmflächen

(auch Trupppflanzungsflächen), wenn es 2001 mehr als 50 cm hoch war. In der Sturmfläche Wohlen, die 2002 erstmals erfasst wurde, lag die Schwelle für vorverjüngte Bäumchen bei einer Grösse von 100 cm.

Der Deckungsgrad der Vegetation in den Probekreisen wurde in folgenden Vegetationstypen geschätzt: Himbeeren, Brombeeren, Adlerfarn, andere Farne, Hochstauden, Zwergsträucher (Heidelbeere, Preiselbeere, Alpenrose), Gräser, Binsen, andere Pflanzen und unbedeckter Boden.

Ergebnisse

Standort und Vegetation

Als geologisches Substrat sind in den Tieflagenflächen Moränen und Schotter und andere lockere Oberflächenbildungen vertreten (Tabelle 1), in den Flächen im Gebirge Kalk, Schiefer, Gneis und Verrucano. Alle vier Expositionen sind repräsentiert. Die Vivianflächen liegen im Mittel auf 1337 m ü. M., die Lotharflächen auf 660 m ü. M. und die Trupppflanzungsflächen auf 576 m ü. M. Im Mittelland wurden als Waldstandortstypen häufig Varianten des Waldmeister-Buchenwaldes (Nr. 7; Frehner et al. 2005) und der Hainsimsen-Buchenwald (Nr. 6) bestimmt (Tabelle 1). Drei etwas höher gelegene Flächen enthalten Waldhirschen-Buchenwald (Nr. 8). Drei Flächen in den Alpen befinden sich im Alpendost-Fichten-Tannenwald (Nr. 50). Auf einigen SBF wurden weitere Standortstypen kartiert.

Die mittlere Geländeneigung aller Probekreise lag in den vier SBF in den Alpen zwischen 79 und 85%, in der Fläche Châtel-St-Denis bei 36% und bei den anderen 14 Sturmflächen im Mittelland und in der Ajoie zwischen 0 und 12%. Gehölze wiesen im Jahr 2010 einen mittleren Deckungsgrad von 40% in den Alpen und 53% im Mittelland auf. Der Jungwald war also noch lückig, besonders in den Sturmflächen in den Alpen. Entsprechend bedeckte die Vegetation (ohne Gehölze) in den Alpen insgesamt 91%

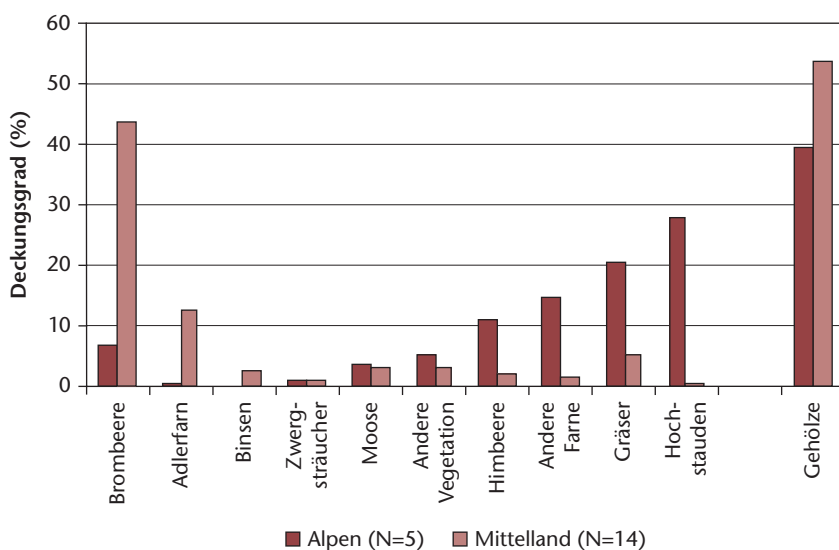


Abb 2 Mittlere Deckungsgrade im Jahr 2010 in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Vegetationstyp und Region. Die Deckungsgrade aller Typen ausser Gehölzen bezeichnen die Deckung der höchsten Vegetationsschicht; der Deckungsgrad der Gehölze wurde separat erfasst.

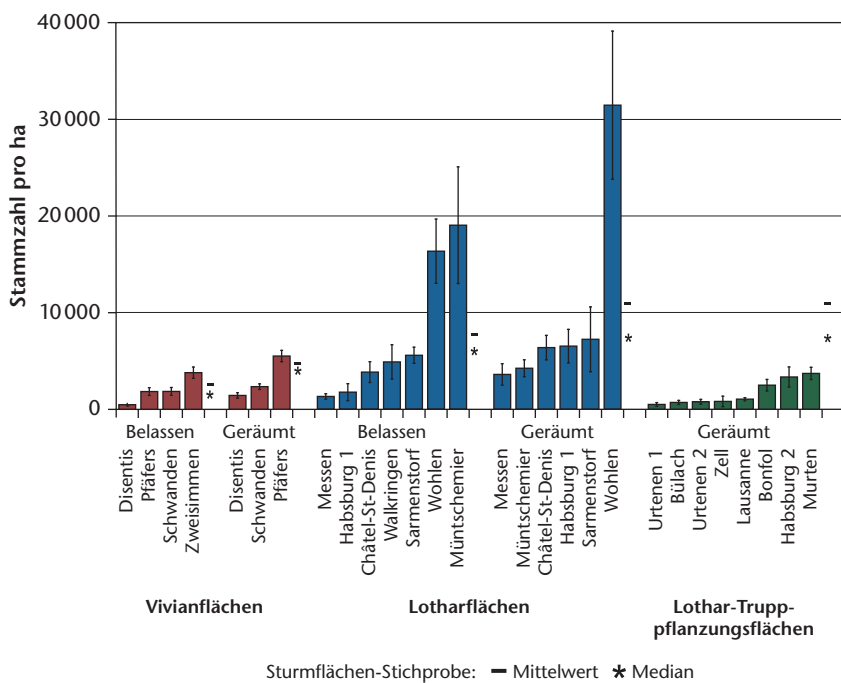


Abb 3 Verjüngungsdichte der Bäume im Jahr 2010 in belassenen und geräumten Sturm-Beobachtungsflächen. Die Fehlerbalken stehen für den einfachen Standardfehler des Mittelwertes. Der horizontale Strich gibt die Lage des Mittelwertes, der Stern den des Medians der Sturmflächen-Stichprobe an (Wohlgemuth & Kramer 2015, dieses Heft).

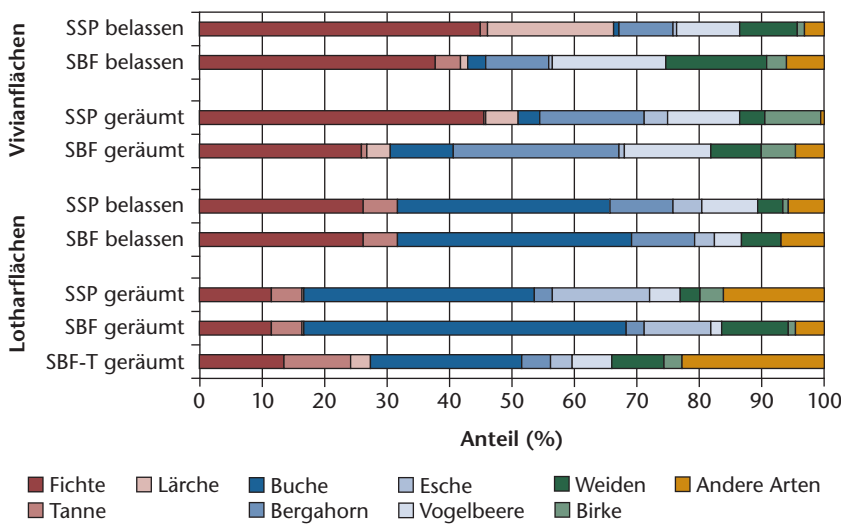


Abb 4 Anteile der Baumarten an allen mindestens 20 cm hohen Verjüngungspflanzen im Jahr 2010 in belassenen und geräumten Flächen der Sturmflächen-Stichprobe (SSP) und in Sturm-Beobachtungsflächen (SBF). SBF-T = Lothar-Trupppflanzungsflächen.

des Bodens, im Mittelland hingegen war die Vegetationsbedeckung mit 75% deutlich geringer. Auf den Flächen im Mittelland hatten Brombeeren (*Rubus fruticosus* agr.) mit 44% den höchsten mittleren Deckungsgrad, gefolgt von Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*), der in vier Lotharflächen stark deckende Fluren entwickelte, sonst aber fehlte. In den Sturmflächen in den Alpen dominierten Hochstauden, Gräser, restliche Farne (alle ausser Adlerfarn) und Himbeeren (*Rubus idaeus*; Abbildung 2).

Dichte der Gehölzverjüngung

Die Dichte der Gehölzverjüngung variierte zwischen den Sturmflächen stark. Auf Vivianflächen

wuchsen im Jahr 2010 pro Hektare zwischen 500 und 6000 Bäumchen, in den Lothar-Trupppflanzungsflächen zwischen 500 und 3600 (Abbildung 3). In den Lotharflächen war die Verjüngung mit 1600 bis 31 400 Stämmen pro Hektare dichter. Geräumte Teilflächen waren mit einer Ausnahme dichter bestockt als belassene, wobei die Unterschiede nicht gross waren. Stammzahlen über 10 000 pro Hektare kamen nur auf Lotharflächen vor. Die Stammzahlen der Vivian- und Lothar-SBF stimmen recht gut mit den Mittelwerten der Sturmflächen-Stichprobe (Wohlgemuth & Kramer 2015, dieses Heft; Abbildung 3) überein. Deutlich lückiger präsentiert sich hingegen die Verjüngung in den Lothar-Trupppflanzungsflächen.

Auf Lotharflächen war die Verjüngungsdichte im Jahr 2010 umso geringer, je höher der summierte Deckungsgrad von Brombeeren und Adlerfarn war, allerdings bei grosser Streuung (nicht dargestellt). In Lothar-Trupppflanzungsflächen beeinflusste der Adlerfarn alleine die Verjüngungsdichte im Jahr 2010 negativ: Bei Deckungsgraden unter 50% (220 Probe- kreise) wurden im Mittel 1909 Stämme pro Hektare gefunden, bei Deckungsgraden über 50% (42 Probe- kreise) nur 121 Stämme pro Hektare.

Artenzusammensetzung in der Verjüngung

Die Verjüngung setzte sich vielfältig und variabel zusammen und enthielt je nach Stratum zwischen 36% und 64% der Schlussbaumarten Fichte (*Picea abies*) und Buche (*Fagus sylvatica*; Abbildung 4). Auf den hoch gelegenen Vivianflächen sind Fichten, Bergahorne (*Acer pseudoplatanus*) und Vogelbeeren (*Sorbus aucuparia*) am häufigsten, in den tief gelegenen Lotharflächen dominieren Buchen (Abbildung 4). Da die Anzahl SBF pro Stratum sehr klein ist, können besondere Verhältnisse einzelner SBF die Baumartenanteile stark beeinflussen; so verursachte ein Anteil von 63% an Bergahorn in der geräumten Variante der SBF Pfäfers einen hohen mittleren Bergahornanteil in geräumten Vivian-SBF. Solche Effekte wirken sich auf die Baumartenanteile besonders stark aus, wenn sie mit grossen Stammzahlen verbunden sind. Daher wurden in Abbildung 4 die Anteile der Baumarten zuerst pro Fläche gebildet und dann die Anteile gemittelt.

Zeitliche Entwicklung der Stammzahl

In den Vivianflächen nahm die Stammzahl bis 2005 langsam zu und stagniert seither in den meisten Flächen (Abbildung 5). In den meisten Lotharflächen und Lothar-Trupppflanzungsflächen flachte die Dichtezunahme bereits drei beziehungsweise vier Jahre nach dem Sturm ab oder ist seither gar rückläufig.

Die Veränderung der Stammzahl wurde als jährliche Differenz der Inventuren 1992 und 2000 (Vivianflächen) beziehungsweise 2001 und 2010

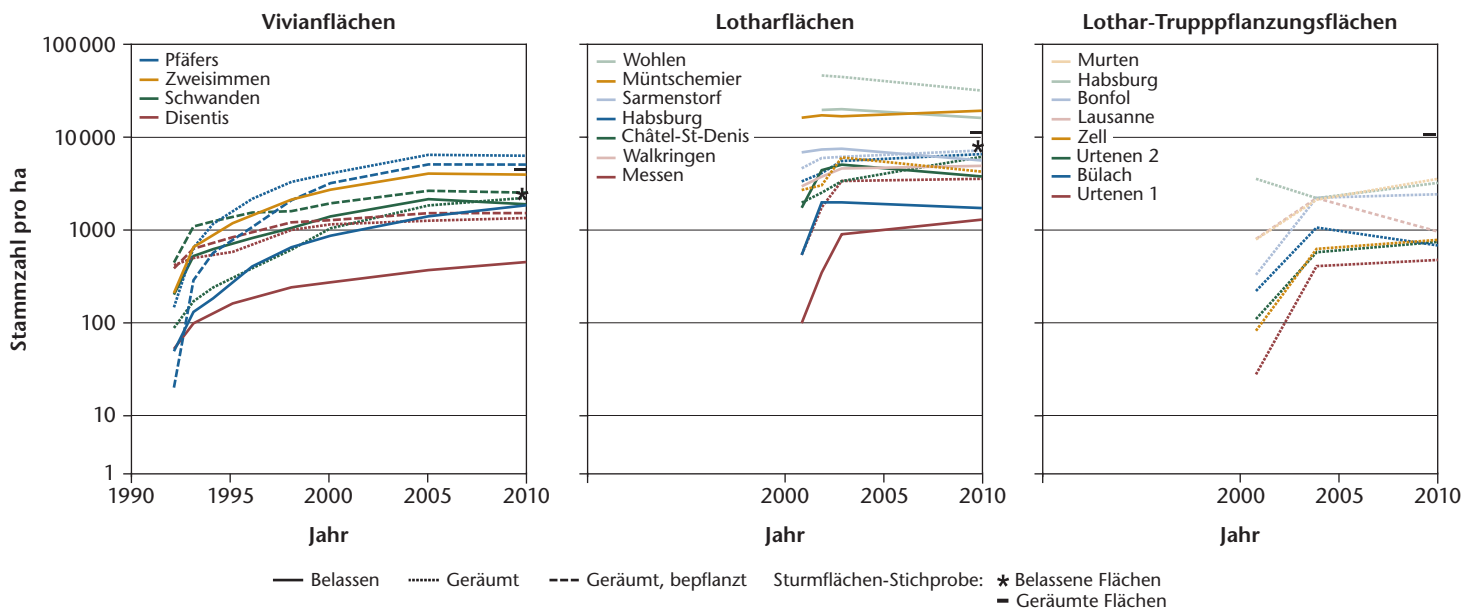


Abb 5 Entwicklung der Stammzahl der natürlich verjüngten Gehölzpflanzen ≥ 20 cm auf den Sturm-Beobachtungsflächen. Zum Vergleich sind die mittleren Dichten pro Behandlung der Sturmflächen-Stichprobe eingezeichnet (Brang & Wohlgemuth 2013).

(andere Flächen) berechnet. Sie stellt den Saldo von Einwuchs und Mortalität dar, wobei je nach Baumart insgesamt eine Zunahme oder eine Abnahme resultiert. Bei Betrachtung aller Baumarten nahmen die Dichten auf den Vivianflächen im Durchschnitt von plus 147 (Behandlung belassen) über 208 (geräumt und bepflanzt, aber nur natürlich verjüngte Pflanzen berücksichtigt) bis zu 226 Stämmen pro Hektar und Jahr (geräumt) zu (Abbildung 6). Geringer waren die Dichtezunahmen in Lotharflächen mit 98 beziehungsweise 100 Stämmen pro Hektar und Jahr (belassen bzw. geräumt) sowie in Lothar-Trupppflanzungsflächen mit 126 Stämmen pro Hek-

tar und Jahr. Am stärksten nahmen Fichten, Buchen und Weiden (*Salix spec.*) zu, auf Vivianflächen auch Bergahorne und Vogelbeeren. Abnahmen beschränkten sich auf wenige Baumarten auf Lotharflächen.

Von allen erfassten Gehölzpflanzen überlebten bis 2010, bei unterschiedlichem Einwuchsjahr, auf Vivianflächen 82% (2850 von 3463), auf Lotharflächen 63% (3814 von 6095) und auf Lothar-Trupppflanzungsflächen 69% (1401 von 2045). Bei all diesen Zahlen handelt es sich um etablierte, mindestens 20 cm hohe Pflanzen. Mortalität vor Erreichen dieser Höhe ist nicht erfasst.

Bei den meisten Baumarten spielte die Vorverjüngung nur in den ersten Jahren nach dem Windwurf eine Rolle; 10 beziehungsweise 20 Jahre nach dem Sturm lag der Anteil der Vorverjüngung an allen Verjüngungspflanzen unter 10%. Bei Buche, Bergahorn und Fichte war der Anteil der Vorverjüngung am höchsten.

Die Dichte der Verjüngung nahm über die ersten acht respektive neun Jahre umso stärker zu, je grösser die Ausgangsdichte A war (Abbildung 7). Der Zusammenhang war hoch signifikant und straff (lineare Regression, Zunahme der Stammzahl pro Hektare = $72.549 + 0.077 \times A$, $R^2 = 0.855$, $N = 28$), allerdings durch wenige Flächen mit ausgesprochen hohen Werten für Ausgangsdichte und Dichtezunahme geprägt.

Der Anteil der Probekreise ohne Verjüngung lag im Jahr 2010 auf Vivianflächen bei 6% (14 von 223), auf Lotharflächen bei 15% (42 von 280) und auf Lothar-Trupppflanzungsflächen bei 49% (129 von 262). Zu berücksichtigen ist dabei die unterschiedliche Probekreisgrösse (50, 20 und 10 m²).

Die 2010 lebenden Pflanzen wuchsen zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten ein. In Vivianflächen waren in den ersten vier Jahren nach dem Sturm erst

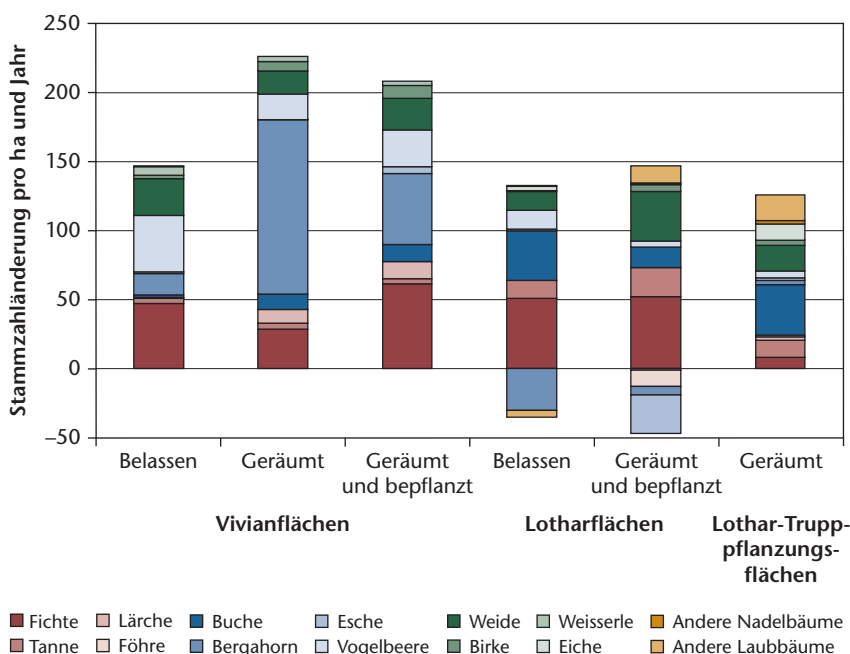


Abb 6 Stammzahländerung in der Naturverjüngung pro Hektar und Jahr in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Sturmereignis, Behandlung und Baumart. Die Änderung wurde für Vivianflächen von 1992 bis 2000, für Lothar- und Lothar-Trupppflanzungsflächen von 2001 bis 2010 berechnet.

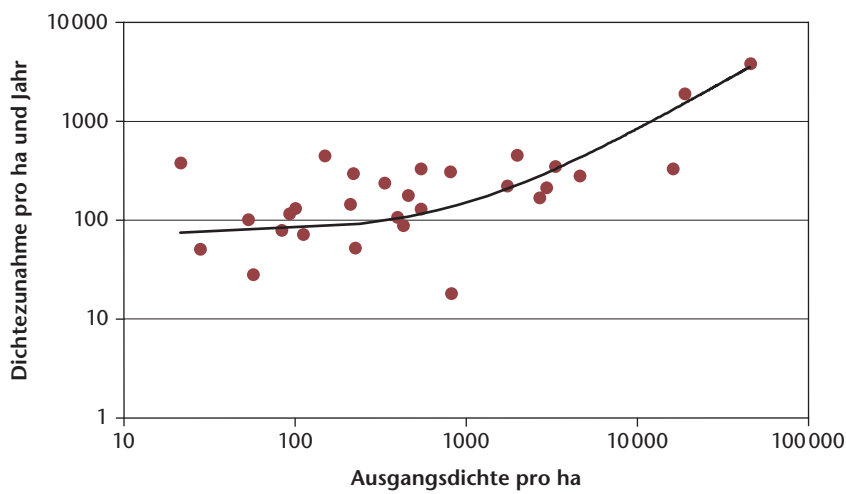


Abb 7 Zunahme der Dichte der Naturverjüngung in den Sturm-Beobachtungsflächen nach Ausgangsdichte. Die Zunahme wurde für Vivianflächen von 1992 bis 2000, für Lothar- und Lothar-Trupppflanzungsflächen von 2001 bis 2010 berechnet. Unterschiedlich behandelte Teilflächen einer Sturmfläche sind einzeln dargestellt. Zwei Werte mit Abnahmen sind nicht dargestellt.

16% vorhanden, 40% kamen fünf bis zehn Jahre nach dem Sturm dazu, und die restlichen 44% erreichten die Grösse von 20 cm erst 11 bis 20 Jahre nach dem Sturm. Das Einwachsen erstreckte sich also relativ kontinuierlich über die ersten 20 Jahre. In Lothar- und Lothar-Trupppflanzungsflächen stellten sich hingegen 64% beziehungsweise 89% der 2010 überlebenden Pflanzen schon in den ersten vier Jahren und der Rest fünf bis zehn Jahre nach dem Sturm ein.

Baumhöhe

Die Stichprobe enthält neben grösseren Bäumen mit Höhen über 1 m auch zahlreiche kleinere Bäume, die entweder spät einwachsen oder – vermutlich wegen ungünstigen Kleinstandorts oder Beschädigung – langsam wuchsen (Abbildung 8). Daraus resultieren zum Teil erstaunlich kleine Höhenmittelwerte. Zehn Jahre nach Lothar und 20 Jahre

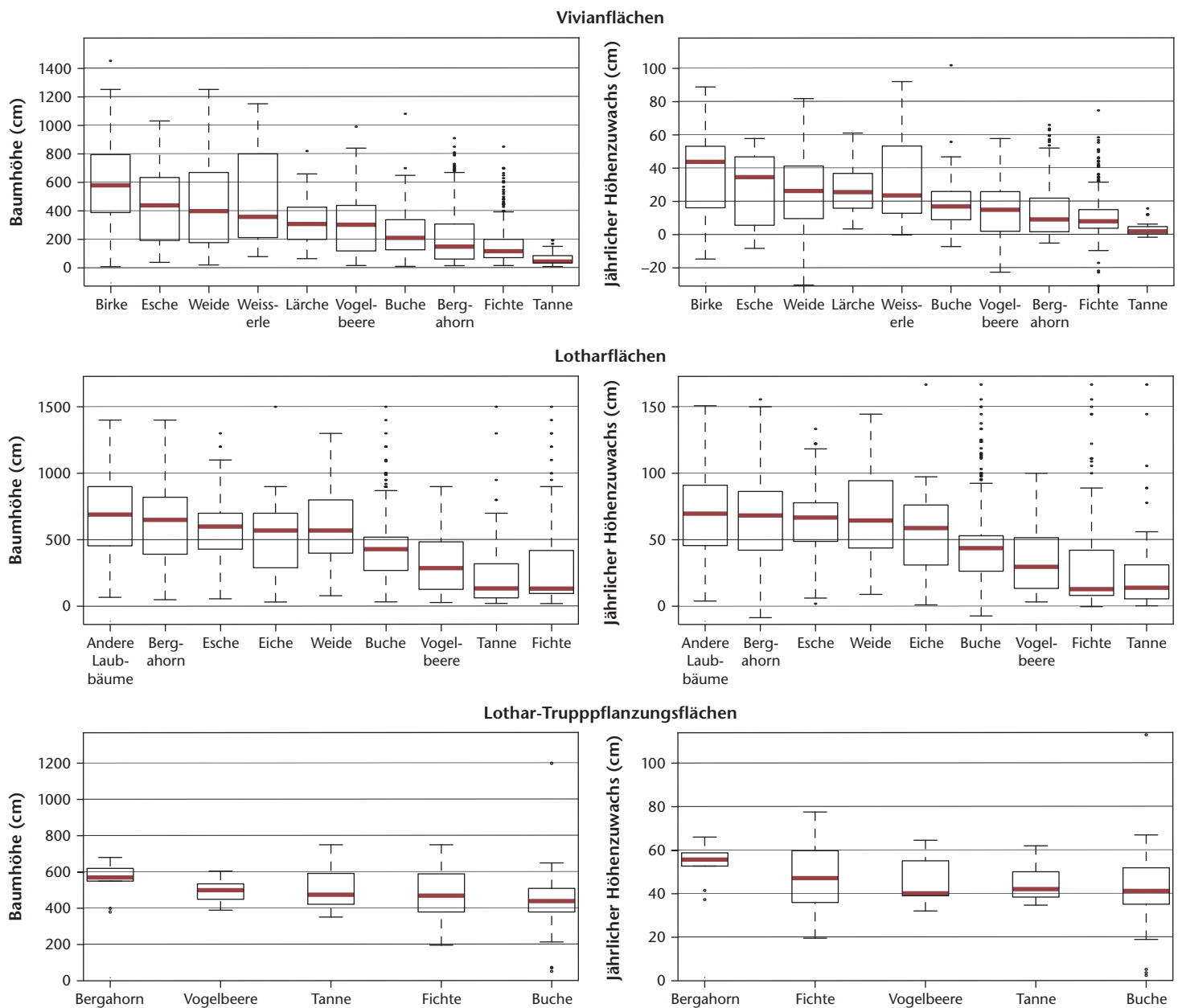


Abb 8 Baumhöhe 2010 (links) und Höhenzuwachs (rechts) in Vivianflächen, Lotharflächen und Lothar-Trupppflanzungsflächen. Der Höhenzuwachs wurde über die Perioden 1992–2000 (Vivianflächen, 8 Jahre) bzw. 2001–2010 (Lotharflächen, 9 Jahre) gemittelt.

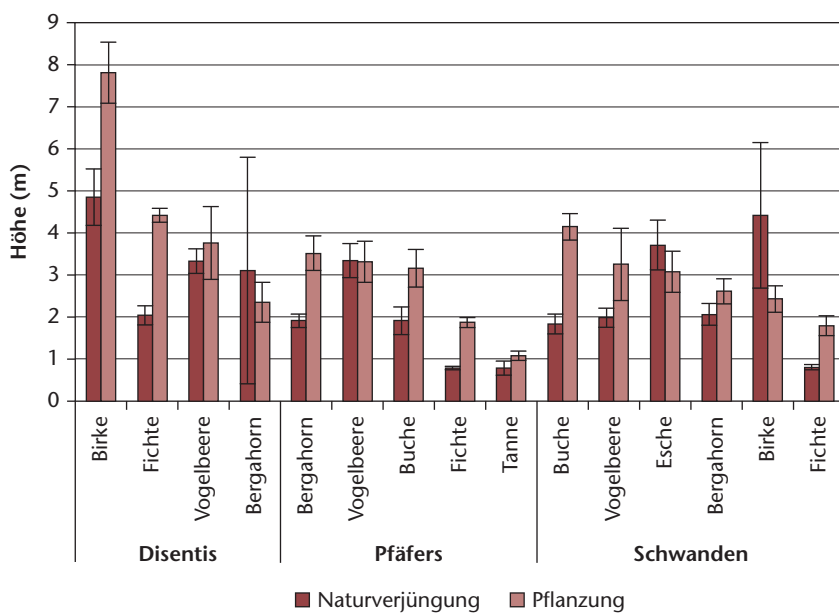


Abb 9 Mittlere Höhe und einfacher Standardfehler gepflanzter und natürlich verjüngter Bäume auf drei Vivian-Sturmeobachtungsflächen im Jahr 2010. Die Abbildung basiert auf Höhenmessungen mit mindestens vier Bäumen pro Säule.

nach Vivian erreichten die 25% höchsten Bäume pro Baumart (Abbildung 8, links, Strecke vom oberen Rand der Box bis zum oberen Ende der vertikalen Antenne) in Vivianflächen rund 3–10 m und in Lotharflächen 4–12 m Höhe, wenn man von wenigen noch grösseren Pionierbaumarten absieht. Auf Vivianflächen waren 2010 Pionierbaumarten wie Birke (*Betula pendula*), Weide und Weisslerle (*Alnus incana*) am grössten, während in Lotharflächen Aspe (*Populus tremula*; subsumiert unter «anderen Laubbäumen» in Abbildung 8), Weide, Esche (*Fraxinus excelsior*) und Bergahorn die grössten Höhen erreichten.

Die Höhe gepflanzter und natürlich verjüngter Bäume im Jahr 2010 kann auf den drei Vivian-SBF Disentis, Pfäfers und Schwanden verglichen werden. Gepflanzte Bäume waren bei fast allen Arten grösser als natürlich verjüngte (Abbildung 9). Deutlich und konsistent war der Höhenvorsprung gepflanzter Bäume nach 20 Jahren jedoch bei Fichte und Buche; bei der Fichte betrug der Vorsprung in Disentis durchschnittlich 2.4 m, in Pfäfers 1.1 m und in Schwanden 1.0 m.

Höhenzuwachs

Der Höhenzuwachs pro Baumart wurde für die Perioden 1992–2000 (Vivianflächen, 8 Jahre) beziehungsweise 2001–2010 (Lotharflächen, 9 Jahre) gemittelt. Hierzu wurden pro Baumart mindestens fünf Zuwachswerte vorausgesetzt. Über alle Baumarten und Flächen lag der mittlere Höhenzuwachs bei 45.2 ± 0.4 cm pro Jahr (Mittelwert \pm Standardfehler, $N=3763$).

Auf Vivianflächen war der mittlere jährliche Höhenzuwachs mit 18.2 ± 1.0 cm ($N=250$) am kleinsten, auf Lotharflächen mit 47.2 ± 1.0 cm ($N=3393$) und auf Lothar-Trupppflanzungsflächen

mit 44.2 ± 2.4 cm ($N=120$) etwa zweieinhalb Mal so gross. Auf Vivianflächen waren auch negative Zuwachswerte häufig; diese ergeben sich als Folge von Schalenwildverbiss, wenn Massenbewegungen (v.a. Schnee) einen Stamm umlegen oder wenn der obere Stammteil abstirbt. Bergahorn, Weide, Esche und andere Laubbäume (u.a. Aspen) erreichten auf Lotharflächen durchschnittliche jährliche Höhenzuwächse zwischen 60 und 70 cm. Eichen wuchsen pro Jahr durchschnittlich 55 cm, Buchen 43 cm, Vogelbeeren 32 cm und Fichten und Tannen je 27 cm in die Höhe (Abbildung 8, rechts).

Einwuchsjahr

Die zwei höchsten Bäume pro Probekreis stellen die Oberschicht des Jungwaldes dar. Diese Bäume wuchsen auf Vivianflächen durchschnittlich drei Jahre vor den übrigen Bäumen ein. Ihr mittleres Einwuchsjahr war 1998 (gegenüber 2001 bei den übrigen Bäumen) und lag damit acht Jahre nach dem Sturmereignis. Auf Lotharflächen wuchsen die 2010 lebenden Bäume im Durchschnitt im Jahr 2004 ein, auf Lothar-Trupppflanzungsflächen 2005 bis 2006, ohne wesentlichen Unterschied zwischen den zwei höchsten und allen Bäumen pro Probekreis.

Schäden

Im Jahr 2010 waren 94% der Verjüngung auf SBF frei von Schäden. Starker wiederholter Verbiss war selten; allerdings wurden auf der Sturmfläche Schwanden 7% aller Pflanzen als Spindeln, d.h. Bäumchen fast ohne Seitenäste, taxiert. Dazu ist anzumerken, dass die Mehrzahl der Bäume die Höhe von ca. 1.5 m überwachsen hat (Abbildung 8, links).

Diskussion

Einordnung der Ergebnisse

19 Sturmflächen stellen bereits eine kleine Stichprobe dar, welche gewisse statistische Auswertungen erlauben würde. Wir haben darauf aus zwei Gründen verzichtet: erstens weil wir neben den SBF über die umfangreiche Sturmflächen-Stichprobe verfügen, welche mit 90 Flächen als repräsentativ gelten kann und statistisch auswertbar ist (Wohlgemuth & Kramer 2015, dieses Heft), und zweitens weil die 19 Flächen sich in drei deutlich unterscheidbare Gruppen aufteilen: in die vier 20 Jahre alten, hoch gelegenen Vivian-Sturmflächen, in die sieben 10 Jahre alten Lothar-Sturmflächen und in die acht 10 Jahre alten Lothar-Sturmflächen mit Trupppflanzungs-Experimenten. Der besondere Wert der SBF liegt daher nicht in deren Anzahl, sondern in der lückenlosen Datenreihe seit dem Sturm.

Zu beachten ist als Einschränkung die Erfassungsschwelle von 20 cm Mindesthöhe für Gehölzpflanzen. Mit der gewählten Schwelle bleibt die

Dynamik der kleinen Pflanzen unerfasst. Zudem können wir aufgrund ungenügender Daten den Schalenwildeinfluss auf die Wiederbewaldung nicht quantifizieren; dieser Einfluss könnte insbesondere in Vivianflächen erheblich sein.

Wie weit betreffen die untersuchten Fallstudien typische Sturmflächen?

Die SBF, die ja Fallstudien darstellen, sind tiefer gelegen als die Flächen der Sturmflächen-Stichprobe. Bei den Vivianflächen beträgt die Differenz 50 bis 100 Höhenmeter, bei den durch Lothar verursachten Sturmflächen sogar rund 200 Höhenmeter. Die Deckungsgrade der Vegetationstypen sind in der Sturmflächen-Stichprobe (Brang & Wohlgemuth 2013) und in den SBF (Abbildung 2) ähnlich; in Vivianflächen sind Hochstauden und Gräser als Vegetationstypen am häufigsten, in Lotharflächen Brombeeren und Adlerfarn. Die Verjüngungsdichten waren in den SBF ähnlich hoch wie in der Sturmflächen-Stichprobe (Abbildung 3), mit Ausnahme der Lothar-Truppplantzungsflächen, in denen die Stammzahl 2010 mehrheitlich noch unter 900 pro Hektare lag. Derart tiefe Werte kommen in geräumten Flächen der Sturmflächen-Stichprobe nur auf einer Fläche vor, die gleichzeitig eine SBF ist (Brang & Wohlgemuth 2013). Auch bezüglich Baumartenzusammensetzung sind die Ähnlichkeiten zwischen Sturmflächen-Stichprobe und SBF gross (Abbildung 4). Die augenfälligsten Abweichungen betreffen einen geringeren Fichten- sowie einen höheren Bergahornanteil in geräumten Vivian-SBF. Zudem standen in den Truppplantzungsflächen nur wenige Buchen, da es sich bei ihnen um Flächen mit Nadelholz-Vorbestand handelte. Mit Ausnahme der etwas unterschiedlichen Stammzahl weichen also die Sturmflächen-Stichprobe und die SBF in ihren mittleren Charakteristiken nicht wesentlich voneinander ab.

Entwicklungsdynamik im Jungwald

Die auf den SBF im Jahr 2010 erreichten Verjüngungsdichten (Abbildung 5) bewegen sich, mit Ausnahmen, am unteren Rand von Werten, die in Sturmflächen in Kanada, den USA, im russischen Ural und in Deutschland festgestellt werden konnten, wo sechs bis zehn Jahre nach einem Sturm zwischen 4800 und 20 200 Bäumchen pro Hektare standen (Cooper-Ellis et al 1999, Močalov & Lässig 2002, Kreyling et al 2008). Auf 12 bis 20 Jahre alten Sturmflächen in den USA und in Deutschland variierten die Dichten zwischen 995 und über 50 000 Individuen pro Hektare (Arévalo et al 2000, Zhao et al 2006, Keidel et al 2008, Palik & Kastendick 2009, Fischer & Fischer 2012). Solche Dichtewerte hängen von der Erfassungsschwelle ab, aber auch von der Behandlung der Sturmflächen und den Standortbedingungen.

Auffällig ist, dass die Zunahme der Stammzahl im Jungwald teils abflacht, teils sogar bereits wieder abnimmt (Abbildung 5). Eine abgeschwächte Zunahme ist in Vivianflächen ab Stammzahlen zwischen 1500 und 6000 Stück pro Hektare festzustellen, also auch auf Flächen, die erst locker oder sehr locker bestockt sind. Das zeigt auch der niedrige mittlere Deckungsgrad der Gehölze von 40% im Jahr 2010. Auf Lotharflächen stagnieren die Stammzahlen ab Dichtewerten zwischen 1000 und 7000 pro Hektare (in einem Fall rund 20 000/ha), oder die Werte nehmen wieder ab, obwohl 2010 (also auf vielen Flächen nach der Kulmination der Stammzahl) der mittlere Deckungsgrad der Gehölze erst 53% beträgt. Auf mehreren SBF ist die Verjüngung daher auch 2015 noch sehr lückig.

In diesen Verjüngungslücken verhindert nicht die Konkurrenz durch bereits etablierte Bäume die weitere Ansammlung. Auch ein mangelnder Sameneintrag ist nicht der Hauptgrund für das Offenbleiben dieser Lücken, da einerseits die grössten Bäume im Jungwald zusehends beginnen, Samen zu produzieren, andererseits nur ein geringer negativer Einfluss der Distanz zu Samenbäumen an den Rändern von Sturmflächen festgestellt wurde (Wohlgemuth & Kramer 2015, dieses Heft). Hauptursache für die zögerliche Besiedlung der Lücken im Jungwald dürfte die Begleitvegetation sein, insbesondere Brombeeren, Adlerfarn und Hochstauden. Der Nachweis dafür ist anhand der SBF zwar nur ansatzweise erbracht, was den Einfluss des Adlerfarns betrifft; die Evidenz aus anderen Studien ist aber stark (Wohlgemuth et al 2002, Kupferschmid & Bugmann 2005, Wohlgemuth & Kramer 2015, dieses Heft), wobei entweder die Samen die Bodenoberfläche gar nicht erreichen (Brang 1996, Mosandl & El Kateb 1988, Schreiner 2000) oder die Sämlinge wegen Lichtmangel langsam und sehr schlank wachsen und dann auch mechanisch leicht beschädigt werden, besonders wenn Schnee die Vegetation auf sie presst.

Einwuchs und Mortalität

Die mittleren Nettozunahmen von durchschnittlich etwa 100 bis 250 Bäumchen pro Hektare und Jahr (Abbildung 6) zeigen, welche Stammzahlentwicklung auf Sturmflächen zu erwarten ist. Bei günstigen Verhältnissen (Samenbäume auf der Sturmfläche oder an einem Bestandesrand in der Nähe, geringe Vegetationskonkurrenz) können die Zunahmen um ein Mehrfaches grösser sein. So nahm in der geräumten SBF Pfäfers die Stammzahl von 1992 bis 2005 um rund 460 Stück pro Hektare und Jahr zu, und in Lotharflächen kamen gar Zunahmen bis 4000 Pflanzen pro Hektare und Jahr vor (Abbildung 7). Bei ungünstigen Verhältnissen (starke Vegetationskonkurrenz, deutlicher Mangel an Samenbäumen) ist aber die Zunahme wesentlich tiefer; so nahm die Zahl der Stämme von 1992 bis 2010 in

der belassenen Fläche Disentis um rund 25 pro Hektare und Jahr zu, worunter sich über 50% Vogelbeeren und Weiden fanden. Diese Fläche ist landesweit eine der grössten, und Samenbäume fehlen oft über mehrere 100 Meter. Kaum zufällig weisen im Mittelland mehrere grosse Sturmflächen ähnlich geringe Zunahmen auf. Dabei zeigt sich, dass die Verjüngungsdichte nicht dort am stärksten zunimmt, wo wenig Verjüngung vorhanden ist, sondern bei dichter Verjüngung (Abbildung 7). Dies bedeutet, dass die allgemeine Verjüngungsgunst einer Sturmfläche im hier betrachteten Zeitraum konstant bleibt, was auch auf Kleinstandorte zutreffen dürfte: Verjüngungsgünstige Kleinstandorte bleiben also tendenziell günstig, ungünstige verbessern sich nicht. Ähnlich geringe Zunahmen von rund 100 Pflanzen pro Hektare und Jahr wurden auf grossen Freiflächen im Harz festgestellt (Keidel et al 2008).

Der mittlere Einwuchszeitpunkt der 2010 lebenden Bäume war besonders auf den Vivianflächen mit 2001 überraschend spät, und bei den höchsten zwei Bäumen pro Probekreis mit 1998 nur wenig früher. Dies zeigt die langsame Entwicklungsdynamik auf diesen hoch gelegenen Flächen deutlich. Aber auch auf den Lotharflächen wuchsen die meisten 2010 lebenden Bäume erst mehrere Jahre nach dem Sturm ein. Bei grosser Bedeutung der Vorverjüngung würde der Einwuchszeitpunkt vor dem Sturmereignis liegen, was in den SBF klar nicht der Fall war.

Auf den meisten SBF partizipieren am Jungwald zu mehr als 50% Schlussbaumarten (Abbildung 4), dies entgegen der Lehrbuchmeinung (Scherzinger 1996), welche Pionierwälder erwarten lässt. Dazu trug bei, dass Fichten auch Pioniereigenschaften aufweisen (Burschel & Huss 1997) und dass sich 1999, im Herbst vor dem Sturm Lothar, eine Buchenmast ereignete. Pionierbaumarten sind immerhin unter den grössten Bäumen wesentlich häufiger vertreten als Schlussbaumarten (Abbildung 8).

Bezüglich Baumarten ist im Laufe der hier betrachteten 10 bis 20 Jahre nach dem Sturm keine starke Änderung der Zusammensetzung festzustellen: Nimmt die Stammzahl zu, dann etwa zu denselben Anteilen der Baumarten wie bei den zuerst angekommenen Bäumchen (Brang & Wohlgemuth 2013). Die Baumarten der früh etablierten Naturverjüngung können daher als recht verlässlicher Indikator für die Artenzusammensetzung der später ankommenden Pflanzen dienen.

Bei den hier betrachteten, mindestens 20 cm grossen Pflanzen ist die gesamte Mortalität mit 18% (Vivianflächen, über 5–18 Jahre) bis 37% (Lotharflächen, über 6–10 Jahre) gering. Bei einer Studie in kleinen Verjüngungsöffnungen in Gebirgsfichtenwäldern ergaben sich bei kleineren Fichten wesentlich höhere Sterberaten (Hirsiger et al 2013). Auf Sturmflächen kann man somit in der Praxis damit rechnen, dass ein Grossteil der etablierten Pflanzen

tatsächlich auch aufwächst (oder zumindest weiterlebt) und nicht rasch wieder verschwindet. Besonders wichtig ist das in höher gelegenen Sturmflächen, in denen die Verjüngungsdichte gering ist.

Höhenentwicklung

Baumhöhe und Höhenwachstum unterscheiden sich zwischen den Baumarten wie erwartet stark. Am schnellsten wuchsen Pionierarten wie Birke, Weisslerle und Aspe. Auf Lotharflächen gehörten auch Bergahorn und Esche zu den raschwüchsigen Baumarten (Abbildung 8). Die kleinsten Medianwerte des Höhenzuwachses wiesen Fichte, Tanne, Buche und Vogelbeere auf. Ein Grund dafür ist, dass ein zahlreicher Einwuchs, wie er bei Fichte und Buche auftrat (Abbildung 6), grosse Höhenzuwachswerte der grössten Individuen einer Baumart (Abbildung 8) bei der Betrachtung von Median oder Mittelwert kaschiert. Auf den tiefer gelegenen Lotharflächen waren die Höhenzuwachsraten aller Baumarten deutlich höher als auf den höher gelegenen Vivianflächen (Abbildung 8).

Entwicklung gepflanzter Bäume

Auf den drei Vivianflächen, in denen eine Pflanzung getestet wurde, waren gepflanzte Bäume meist gleich hoch oder höher als natürlich verjüngte (Abbildung 9). Am deutlichsten war der Höhenunterschied bei Fichten und Buchen. Die auf den Sturmflächen gepflanzten Fichten (Abbildung 9) wuchsen ähnlich schnell wie Fichten in Aufforstungen des Berner Oberlandes in Höhenlagen von 1300 bis 1500 m ü. M., die nach 20 Jahren 4 bis 5 m hoch waren (Ryter 2014).

Pflanzung führt aber nicht nur zu einer rascheren Höhenentwicklung des Jungwaldes, insbesondere der Hauptbaumarten Fichte und Buche. Mit ihr lassen sich auch die Baumartenzusammensetzung der Verjüngung beeinflussen sowie deren Dichte und räumliche Verteilung und damit auch die Grösse verjüngungsfreier Lücken.

Zukünftige Jungwaldentwicklung

Die teilweise geringen Stammzahlen, die mittleren Deckungsgrade von 40% auf Sturmflächen in den Alpen und von 53% auf solchen im Mittelland sowie die erheblichen Anteile der verjüngungsfreien Probekreise zeigen für die beobachteten Sturmflächen eine insgesamt erstaunlich lockere Bestockung. Da die in verjüngungsfreien Lücken dichte Bodenvegetation die weitere Verjüngung behindert, dürften viele dieser Lücken noch lange bestehen bleiben (Abbildung 10). Eine Chance aufzuwachsen haben sich etablierende Bäumchen in grösseren Lücken ab rund einer Are Fläche; in kleinen Lücken dürfte hingegen die seitliche Kronenexpansion der bereits etablierten Bäume das Wachstum der Nachzügler behindern. Dies führt insgesamt zu einem bezüglich

Dygnlqded, from http://meridian.allenpress.com/szf/article-pdf/16/3/147/1967437/szf_2015_0147.pdf by guest on 03 December 2023



Abb 10 Einblick in eine Lothar-Trupppflanzungsfläche, die zumindest vorderhand noch mehrheitlich von Adlerfarn bestockt ist.

Baumhöhen und Stammdurchmessern horizontal strukturierten Jungwald.

Sturmholz: liegen lassen oder räumen?

Der Einfluss des Liegenlassens beziehungsweise Räumens des Sturmholzes auf die Verjüngungsdichte war, ähnlich wie in der Sturmflächen-Stichprobe (Wohlgemuth & Kramer 2015, dieses Heft), gering (Abbildung 3): In geräumten Flächen war die Dichte etwas grösser. Für den Räumungsentscheid sind diese Dichteunterschiede für sich nicht relevant; die Räumung kann aber die Konkurrenzvegetation schwächen und damit vorübergehend Nischen für die Naturverjüngung schaffen. Für den Räumungsentscheid massgebender sind die Prävention von Borkenkäferkalamitäten und die Machbarkeit des Pflanzens, das auf belassenen Flächen erschwert, aber durchaus möglich ist (Schwitter et al 2015, dieses Heft).

Beiträge der Studie zur Entscheidungsfindung auf Totalschadenflächen

Der grosse Unterschied zwischen der SBF und der Sturmflächen-Stichprobe liegt darin, dass wir im ersten Fall die Ausgangssituation und die zeitliche Entwicklung kennen. Beim nächsten Sturmereignis wird man die Ausgangssituation in jeder Totalschadenfläche einschätzen können, bezüglich der zeitlichen Entwicklung kann man – in Abwesenheit genauerer Kenntnisse – annehmen, dass sie ähnlich wie auf den SBF abläuft. Welche Erkenntnisse sind dabei entscheidend? Bei der Beantwortung dieser Frage unterscheiden wir Schutzwälder und Wälder, die der Erholung oder der Holzproduktion dienen.

In Schutzwäldern ist die festgestellte horizontale Strukturierung mit lange offen bleibenden Lücken erwünscht, weil sie die Resistenz des Bestandes gegenüber Schneebruch und Sturm erhöht (Schönenberger 2001) und teure strukturierende Pflegeeingriffe oft unnötig macht; die geringe Verjüngungsdichte kann aber ein Problem sein (Bebi et al 2015, dieses Heft). 20 Jahre nach dem Sturm Vivian werden Sollstammzahlen für Bäumchen über 10 cm Höhe von beispielsweise 4000 Stück pro Hektare für hochmontane Wälder (Ott et al 1997, Bühler 2005) in zwei von sieben Vivian-SBF erreicht (Abbildung 3). In den anderen fünf Flächen wurden die Sollwerte verfehlt, auch wenn die unterschiedliche Erfassungsschwelle (10 cm bei den Sollwerten, 20 cm Höhe in unserer Studie) berücksichtigt wird. Dieses Nichterreichen der Sollwerte scheint in belassenen und geräumten Hochlagen-Sturmflächen eher die Regel als die Ausnahme zu sein (Schwitter et al 2015, dieses Heft).

Für die Entscheidungsfindung nach dem Sturm bedeutet das, dass zuerst die bereits beim Sturm vorhandene Verjüngung sorgfältig beurteilt werden soll, wobei auch auf die kleinen Sämlinge und auf den Anteil der Zielbaumarten (im Lawinenschutzwald meist die Fichte) zu achten ist. Das kann über eine Verjüngungsinventur geschehen oder über eine Abschätzung der Stammzahl aufgrund der mittleren Abstände zwischen den Pflanzen, wozu die ganze Fläche zu begehen ist. Des Weiteren ist das Potenzial der Naturverjüngung einzuschätzen: Gross ist es auf kleinen Sturmflächen mit höchstens lockerer Bodenvegetation, die Samenbäume der Zielbaumarten enthalten (White & Jentsch 2001). Bei grosser Verjüngungsgunst kann man mit jährlichen Zunahmen von rund 250 Pflanzen pro Hektare rechnen, bei geringer mit höchstens 100 pro Hektare. Liegt die anfängliche Dichte unter rund 2000 Pflanzen pro Hektare, dann wird man nur bei grosser Verjüngungsgunst auf Pflanzung verzichten, weil sonst die Sollstammzahl von 4000 pro Hektare sehr lange nicht erreicht wird. Liegt sie darüber, kann man auch bei schlechten Voraussetzungen für die Ansamung ganz auf Naturverjüngung setzen. In beiden Fällen sollten aber grössere Verjüngungslücken rottenartig ausgepflanzt werden.

Ist eine Stützpunktpflanzung nötig, stellt sich die Frage nach der Art der Räumung, soweit diese nicht zur Borkenkäferbekämpfung ohnehin nötig ist. Bei geringer Verjüngungsdichte und in wichtigen Objektschutzwäldern wird man eher flächig räumen, verbauen und in Rotten pflanzen; sonst spricht vieles für Teilräumung mit punktueller Pflanzung. Bei Pflanzung kann man vor allem Zielbaumarten pflanzen, weil sich Pionierbaumarten meist von selbst einstellen.

Im Nichtschutzwald stellen sich bei der Entscheidungsfindung nach dem Sturm andere Fragen. In Bezug auf viele Wälder im Mittelland, in denen

sich die Bevölkerung erholt und Sport treibt, erwartet die Öffentlichkeit immer noch, dass die Forstbetriebe den Wald nach einem Naturereignis «wieder in Ordnung bringen». Sie ist entsprechend im öffentlichen Wald auch bereit, die nötigen Aufwendungen für die Räumung zu finanzieren. Für die Holzproduktion bedeutet ein sehr lückiger Jungwald, wie er auf den beobachteten Flächen bei starker Vegetationskonkurrenz entstanden ist, einen Verlust an produzierter Holzmasse. Zudem sind die Bäume am Rand von Lücken oft sehr astig und damit von minderwertiger Holzqualität. Aufgrund dessen ist es besonders in Fällen mit starker Vegetationskonkurrenz vertretbar, Lücken auszupflanzen. Die Pflanzung kann dabei zur Anreicherung des Waldes mit weiteren standortgerechten Baumarten dienen, wobei heute der Klimawandel und Biodiversitätsaspekte in die Baumartenwahl einzubeziehen sind.

Ausblick

Untersuchungen zur Wiederbewaldung im Ausland beschränken sich oft auf eine Untersuchungsfläche (Siegrist 2000, Leder 2009,¹ Keidel et al 2008, Fischer & Fischer 2012). Der Detaillierungsgrad der Untersuchungen auf den Schweizer SBF, insbesondere die mehrfach wiederholten Erhebungen in mehreren über die ganze Schweiz verteilten Sturmflächen, ist für windgeworfene Wälder in Mitteleuropa einzigartig. Folgerhebungen auf den SBF werden zeigen, ob die oben dargestellte Jungwaldentwicklung tatsächlich eintritt. ■

Eingereicht: 16. Januar 2015, akzeptiert (mit Review): 25. März 2015

Dank

Dieser Aufsatz ist ein Ergebnis des Projekts «Wiederbewaldung Sturmflächen», das vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und von den Kantonen Aargau, Bern, Freiburg, Jura, Luzern, Obwalden, St. Gallen, Solothurn, Schwyz, Waadt, Wallis und Zürich finanziert wurde. Wir danken Barbara Roth für die Mithilfe bei den Erhebungen auf den Sturmflächen.

Literatur

ANGST C, BÜRGI A, DUELLI P, EGLI S, HEINIGER U ET AL (2004) Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «Lothar Evaluations- und Grundlagenprojekte». Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 98 p.

¹ LEDER B (2009) Vegetationsentwicklung auf Kyrill-Schadflächen nach Fichtenwindwurf im Arnsberger Wald. www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/verjuengung/wuh_vegetationsentwicklung/index_DE (25.3.2015)

- ARÉVALO JR, DECOSTER JK, MCALISTER SD, PALMER MW (2000) Changes in two Minnesota forests during 14 years following catastrophic windthrow. *J Veg Sci* 11: 833–840.
- BEBI P, PUTALLAZ JM, FANKHAUSER M, SCHMID U, SCHWITTER R, ET AL (2015) Die Schutzfunktion in Windwurfflächen. *Schweiz Z Forstwes* 166: 168–176. doi: 10.3188/szf. 2015.0168
- BRANG P (1996) Experimentelle Untersuchungen zur Ansammlungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. *Beih Schweiz Z Forstwes* 77: 375 p.
- BRANG P, WOHLGEMUTH T (2013) Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen. Schlussbericht des Projektes Wiederbewaldung Windwurfflächen 2008–2012. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 99 p.
- BÜHLER U (2005) Jungwaldentwicklung als Eingangsgröße in die Jagdplanung: Erfahrungen aus dem Kanton Graubünden. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Forum Wissen. pp. 59–65.
- BURSCHEL P, HUSS J (1997) Grundriss des Waldbaus: ein Leitfaden für Studium und Praxis. Berlin: Parey. 487 p.
- COOPER-ELLIS S, FOSTER DR, CARLTON G, LEZBERG A (1999) Forest response to catastrophic wind: Results from an experimental hurricane. *Ecology* 80: 2683–2696.
- FISCHER A, FISCHER HS (2012) Individual-based analysis of tree establishment and forest stand development within 25 years after windthrow. *Eur J For Res* 131: 493–501.
- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 564 p.
- HILFIKER S, ROTH B (2010) Verjüngungserhebungen 2010 auf Vivian- und Lothar-Sturmflächen. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 17 p.
- HIRSIGER E, GMÜR P, WASEM U, WUNDER J, BRANG P (2013) 10 Jahre Erfolgskontrolle in schlitzförmigen Lücken. *Wald Holz* 94 (3): 29–32.
- KEIDEL S, MEYER P, BARTSCH N (2008) Regeneration eines natürlichen Fichtenwaldökosystems im Harz nach großflächiger Störung. *Forstarchiv* 79: 187–196.
- KOCH R, BRANG P (2005) Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. Schlussbericht zuhanden der Forstdirektion des BUWAL. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 90 p.
- KREYLING J, SCHMIEDINGER A, MACDONALD E, BEIERKUHNLEIN C (2008) Potentials of natural tree regeneration after clearcutting in subalpine forests. *West J Appl Forestry* 23: 46–52.
- KUPFERSCHMID AD, BUGMANN H (2005) Predicting decay and ground vegetation development in *Picea abies* snag stands. *Plant Ecol* 179: 247–268.
- LÄSSIG R, SCHÖNENBERGER W (1993) Forschung auf Sturmschadenflächen in der Schweiz. *Forst Holz* 48: 244–249.
- MOČALOV SA, LÄSSIG R (2002) Development of two boreal forests after large-scale windthrow in the Central Urals. *For Snow Landsc Res* 77: 171–186.
- MOSANDL R, EL KATEB H (1988) Die Verjüngung gemischter Bergwälder – praktische Konsequenzen aus zehnjähriger Untersuchungsarbeit. *Forstwiss Cent.bl* 107: 2–13.
- OTT E, FREHNER M, FREY HU, LÜSCHER P (1997) Gebirgsnadelwälder: ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt. 287 p.
- PALIK B, KASTENDICK D (2009) Woody plant regeneration after blowdown, salvage logging, and prescribed fire in a northern Minnesota forest. *For Ecol Manage* 258: 1323–1330.
- RYTER U (2014) Hochlagenaufforstungen in Lawinengebieten im Berner Oberland. *Schweiz Z Forstwes* 165: 259–267. doi: 10.3188/szf.2014.0259
- SCHERZINGER W (1996) Naturschutz im Wald: Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Stuttgart: Ulmer. 447 p.
- SCHÖNENBERGER W (2001) Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures – a review. *For Ecol Manage* 145: 121–128.

- SCHÖNENBERGER W (2002)** Windthrow research after the 1990 storm Vivian in Switzerland: objectives, study sites, and projects. For Snow Landsc Res 77: 9–16.
- SCHREINER M (2000)** Vorkommen und Ausbreitung von Brombeeren sowie ihre Bedeutung für die Naturverjüngung von Tannen-Fichten-Wäldern – dargestellt am Beispiel der Region «Oberer Neckar». Freiburg i.Br: Albert-Ludwigs-Univ, Dissertation. 198 p.
- SCHWITTER R, SANDRI A, BEBI P, WOHLGEMUTH T, BRANG P (2015)** Lehren aus Vivian für den Gebirgswald – im Hinblick auf den nächsten Sturm. Schweiz Z Forstwes 166: 159–167. doi: 10.3188/szf.2015.0159
- SIEGRIST J (2000)** Natürliche Wiederbewaldung und Struktur eines ungeräumten Fichten-Windwurfs auf potentiell Bergmischwaldstandort im Nationalpark Berchtesgaden. In: Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, editor. Waldentwicklung im Nationalpark Berchtesgaden von 1983 bis 1997. Berchtesgaden: Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 43. pp. 93–146.
- WHITE PS, JENTSCH A (2001)** The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. In: Kadereit JW, editor. Progress in botany. Berlin: Springer. pp. 399–450.
- WOHLGEMUTH T, KULL P, WÜTHRICH 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.
- WOHLGEMUTH T, KRAMER K (2015)** Waldverjüngung und Totholz in Sturmflächen 10 Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian. Schweiz Z Forstwes 166: 135–146. doi: 10.3188/szf.2015.0135
- ZHAO DH, ALLEN B, SHARITZ RR (2006)** Twelve year response of old-growth southeastern bottomland hardwood forests to disturbance from Hurricane Hugo. Can J For Res 36: 3136–3147.

Les études à long terme sur les chablis démontrent le potentiel, mais aussi les limites du rajeunissement naturel

Lorsqu'un peuplement est abattu par une tempête, des questions se posent sur les mesures sylvicoles appropriées. Des études à long terme sur 19 chablis provoqués par Vivian (1990) et Lothar (1999), et qui comprennent des surfaces nettoyées, d'autres nettoyées et replantées et d'autres laissées telles quelles, apportent des réponses. Le reboisement des surfaces totalement détruites a été suivi par le biais d'inventaires répétés du rajeunissement. Dix ans (resp. 20 ans) après les tempêtes, les jeunes forêts atteignaient une hauteur de 3 à 12 m et comptaient de 500 à 31 400 troncs par hectare. Dans les chablis, de nombreuses essences se développent, mais les essences climaciques comme le hêtre (à basse altitude) et l'épicéa (à altitude plus élevée) dominant. La régénération préexistante ne constitue qu'une petite proportion de la jeune forêt, car les peuplements antérieurs ne comprenaient que peu de jeunes arbres. Sur les surfaces nettoyées, le rajeunissement est un peu plus dense que sur celles abandonnées à elles-mêmes. L'augmentation de densité annuelle du rajeunissement se situait entre 25 et 4000 semis par hectare, les valeurs les plus faibles étant souvent liées à une épaisse couverture végétale constituée de mégaphorbiaies, de ronces ou de fougères aigles. Cette progression de la densité a ralenti depuis les tempêtes, et dans les fourrés riches en individus, la densité de rajeunissement diminue déjà à nouveau. Ce sont les espèces pionnières ainsi que l'érable sycomore et le frêne qui poussent le plus rapidement, tandis que les essences climaciques comme l'épicéa et le sapin le font plus lentement. Avec la plantation, on obtient pour les épicéas sur les chablis de l'étage haut-montagnard une avance comprise entre 1 et 2.4 m après 20 ans de croissance; mais cette plantation permet surtout d'éviter les lacunes encore souvent observées dans les chablis 10 ou 20 ans après la tempête. Sur les surfaces totalement détruites, une plantation de soutien doit être étudiée, surtout dans les forêts de protection et dans les cas où le rajeunissement préexistant est faible, avec absence d'arbres à graines ou avec une végétation dense au sol.

Long-term research on storm areas demonstrates the potential and the limits of natural regeneration

After windthrow, questions arise about the appropriate silvicultural management. Answers can be derived from long-term studies on 19 storm-damaged areas caused by Vivian (1990) and Lothar (1999), which encompass cleared, cleared and planted as well as uncleared subareas. Forest succession on these areas was studied using repeated regeneration inventories. Ten resp. 20 years after the storms, the resulting young forests were 3–12 m tall and had a stem density of 500 to 31,400 per ha. Many tree species grow in the storm areas, with climax species like European beech (in the lowlands) and Norway spruce (in high-altitude forests) being most frequent. Advance regeneration has only a small share of the young stands, since seedlings were scarce in the pre-storm stands. Regeneration is slightly more dense on cleared than on uncleared storm areas. The yearly increase in seedling density ranged from 25 to 4,000 trees per ha, with low values occurring mainly if dense vegetation of tall forbs, bramble or bracken covered the ground. The increase in density has fallen since the storms, and in thickets with high stem numbers, the regeneration density has even started to decrease. Pioneer trees as well as sycamore maple and ash grow fastest, and climax species like Norway spruce and silver fir slowest. For spruce, planting results in an advance of 1.0 to 2.4 m after 20 years in high montane storm areas; moreover, gaps, which are widespread in storm areas even 10 or 20 years after the storm event, can be avoided. On areas with total damage, cluster planting should be considered, in particular in protection forests and in cases with scarce advance regeneration, missing seed trees and dense ground vegetation.