

# Die Schutzfunktion in Windwurfflächen

<b>Peter Bebi</b>	WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung (CH)*
<b>Jean-Marie Putallaz</b>	WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
<b>Marius Fankhauser</b>	WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung und Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (CH)
<b>Ueli Schmid</b>	WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung (CH)
<b>Raphael Schwitter</b>	Bildungszentrum Wald Maienfeld (CH)
<b>Werner Gerber</b>	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

## Die Schutzfunktion in Windwurfflächen

Im Beitrag wird eine Zwischenbilanz bezüglich der Entwicklung der Naturgefahrensituation auf Windwurfflächen in den ersten 20 Jahren nach dem Wintersturm Vivian (1990) gezogen. Diese Zwischenbilanz basiert auf 1) wiederholten Zugversuchen und Langzeitbeobachtungen in der belassenen Windwurffläche Cavorgia/Disentis, 2) der Erfassung der Schutzwirkung in 26 Windwurfflächen und 3) im Ereigniskataster «StorMe» registrierten Daten von Naturgefahrenprozessen auf Windwurfflächen. Die Wirkhöhen und die Widerstände der sich mittlerweile stark zersetzenden Stämme in der Windwurffläche Cavorgia/Disentis betragen 20 Jahre nach dem Sturm nur noch rund 40% der Anfangswerte. An sehr steilen ( $>45^\circ$ ) und felsigen Stellen haben sich die Stämme teilweise um mehrere Meter hangabwärts bewegt. Die meisten der 26 untersuchten Windwurfflächen erfüllten keines der betrachteten Kriterien für Lawinenschutzwälder. Trotzdem wurden auf Windwurfflächen nur sehr wenige Lawinen- und Steinschlagereignisse registriert. Hingegen weisen die relativ vielen Beobachtungen von flachgründigen Rutschungen wenige Jahre nach dem Windwurf auf ein Zeitfenster mit erhöhter Rutschanfälligkeit hin. Unsere Untersuchungen und Beobachtungen deuten darauf hin, dass die erhöhte Oberflächenrauigkeit in den ersten Jahren nach dem Sturm gut gegen Lawinen und Steinschlag gewirkt hat. 20 Jahre nach Vivian hat diese Wirkung aber vielerorts stark nachgelassen und dürfte vor allem noch dort für einen verlässlichen Naturgefahrenschutz ausreichen, wo die natürliche Verjüngung bereits weit fortgeschritten ist oder wo zwischen liegendem Holz zusätzlich gepflanzt wurde. Die Planung von Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren nach Windwürfen muss auf der Ebene der Einzelfläche erfolgen.

**Keywords:** windthrow, protection forest, avalanches, rockfall, shallow landslides  
**doi:** 10.3188/szf.2015.0168

\* Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos, E-Mail [bebi@slf.ch](mailto:bebi@slf.ch)

Windwürfe gehören zusammen mit anderen natürlichen Störungen wie Feuer und Borkenkäferkalamitäten zu den grössten Bedrohungen unserer Schutzwälder. Ein Windwurf verändert die Waldstruktur schlagartig, wobei wesentliche Qualitäten eines funktionstüchtigen Schutzwaldes von einem Tag auf den anderen infrage gestellt werden. Direkt nach dem Wintersturm Vivian (1990), von welchem Wälder mit direkter Schutzfunktion sehr stark betroffen waren (57% des geworfenen Waldes; Losey & Wehrli 2013), stand die Frage nach den Auswirkungen der Sturmschäden auf die Naturgefahrensituation im Zentrum der Diskussion um das weitere Vorgehen auf den betroffenen Flächen. Insbesondere fehlten wissenschaftliche Grundlagen zur Schutzwirkung von liegend gelassenem Holz in Totalschadenflächen.

In den ersten Jahren nach Vivian wurden deshalb sowohl von der Praxis als auch von der Forschung wichtige Erfahrungen betreffend die Schutzfunktion von Windwurfflächen gesammelt (Schwitter 1996, Schönenberger 2002). Da Lawinenanrisse und Steinschlag stark von der Oberflächenrauigkeit beeinflusst werden, erschien die Annahme plausibel, dass ungeräumte Windwurfflächen vor Lawinenanrisse und Steinschlag zunächst besser zu schützen vermögen als geräumte Flächen (Abbildung 1). Tatsächlich deuteten erste Beobachtungen und Forschungsergebnisse auf belassenen Vivianflächen darauf hin, dass zumindest kurzfristig ein gewisser Naturgefahrenschutz bestehen bleibt (Schwitter 1996, Frey & Thee 2002). Allgemein ging man aber davon aus, dass sich das liegende Holz zersetzt, bevor der Nachfolgebestand die Schutzwirkung übernehmen

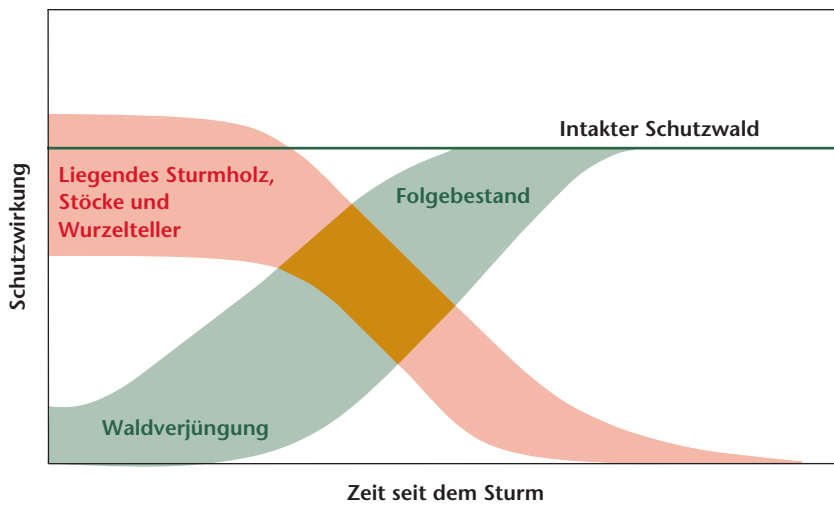


Abb 1 Schematische Darstellung der Schutzwirkung auf Windwurfflächen im Lauf der Zeit (nach BAFU 2008).



Abb 2 Zugversuche in der Windwurffläche Uaul Cavorgia bei Disentis. Foto: Peter Bebi

kann, weshalb ein zeitliches Fenster mit reduzierter Schutzwirkung spätestens 20 Jahre nach dem Sturm erwartet wurde (Abbildung 1; BAFU 2008).

In diesem Beitrag möchten wir eine Zwischenbilanz ziehen über die Entwicklung der Schutzwirkung in Windwurfflächen in den ersten 20 Jahren nach dem Sturm Vivian, wobei folgende Fragen im Zentrum stehen: 1) Welche für den Naturgefahrenschutz relevanten Veränderungen haben stattgefunden? 2) Welche Naturgefahrenprozesse wurden tatsächlich dokumentiert? 3) Welche Folgerungen können im Hinblick auf die Einschätzung von zukünftigen Gefahren und Massnahmen in Windwurfflächen gezogen werden?

## Material und Methoden

### Stammverschiebungen auf der Windwurffläche Cavorgia/Disentis

In der belassenen Windwurffläche in Cavorgia/Disentis wurden 20 Jahre nach Vivian im Rahmen einer an der ETH Zürich durchgeführten Masterar-

beit Untersuchungen zur Verschiebung, Wirkhöhe und Stabilität von liegenden Stämmen vorgenommen (Putallaz 2010). Damit wurden frühere Versuche aus dem Jahr 2001 von Frey & Thee (2002) wiederholt und im Hinblick auf eine längerfristige Schutzerfüllung von belassenem Windwurfholz bewertet. Die Wirkhöhe der liegenden Stämme wurde mithilfe von hoch aufgelösten Orthofotos (Massstab 1:4000) aus den Jahren 1992, 2001 und 2009 flächig erfasst. Zusätzlich wurden Verschiebungen, Bruchstellen und Wirkhöhen von 25 im Jahr 1992 ausgewählten und markierten Stämmen mit einem Tachymeter vom Gegenhang aus und im Feld ausgemessen und mit den früheren Aufnahmen aus den Jahren 1992 und 2001 verglichen. Anschliessend wurde mithilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) der Einfluss verschiedener Standortfaktoren auf die Bewegungen der liegenden Stämme analysiert (Putallaz 2010). Komplementär zu diesen Untersuchungen wurden in den Jahren 2001 (Frey & Thee 2002) und 2010 (Putallaz 2010) an je zehn Stämmen mithilfe von Zugversuchen die für die Bewegung der Stämme nötigen Kräfte ermittelt (Abbildung 2) und diese in Beziehung gesetzt zu den langjährigen Schneedaten im Gebiet Disentis. Zudem wurden mittels eines Resistografen die Festigkeit und der Grad der Vermoderung der Stämme untersucht.

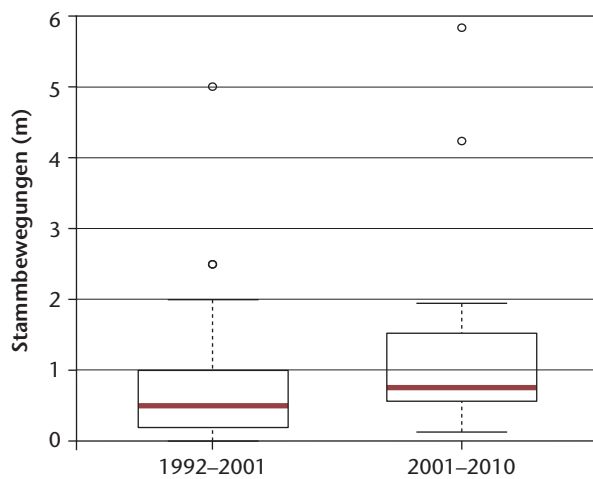
### Lawinenschutzwirksamkeit von 26 Vivianflächen

Im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (Fankhauser 2010) wurde die Schutzwirksamkeit von Vivianflächen 20 Jahre nach dem Sturm untersucht. Dazu wurden 26 Flächen ausgewählt, welche gemäss Silvaproject (Losey & Wehrli 2013) in potenziellen Lawinenanrissgebieten lagen, bei der Feldbegehung die entsprechenden Kriterien erfüllt waren und zudem gleichmässig über Voralpen und Alpen sowie verschiedene Expositionen und Höhen verteilt waren. In diesen Flächen wurden sowohl im Gelände als auch mittels aktueller Orthobilder folgende Merkmale zur Beurteilung der Schutzwirksamkeit erhoben (Fankhauser 2010):

1) der Kronendeckungsgrad (DG)<sup>1</sup> in Anlehnung an Meyer-Grass & Schneebeli (1992) und an die Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» (NaiS; Frehner et al 2005), wobei separate Kriterien für verschiedene Hangneigungsklassen ( $\geq 37^\circ$  und  $< 37^\circ$ ) und Höhenstufen (unter- bis obermontan; hochmontan bis subalpin) berücksichtigt wurden;

2) die Stammzahl pro Hektare gemäss Meyer-Grass & Schneebeli (1992) für verschiedene Brusthöhen-durchmesser- (BHD) und Hangneigungsklassen;

<sup>1</sup> Kronendeckungsgrad von Bäumen > ca. 3 m Wirkhöhe, ab Orthofoto bestimmt.



**Abb 3** Stammbewegung der eingemessenen Stämme auf der belassenen Fläche Cavorgia/Disentis zwischen 1992 und 2001 ( $n=25$ ; Frey & Thee 2002) und zwischen 2001 und 2010 ( $n=20$ ; Putallaz 2010).

3) der sogenannte BSH-Faktor, d.h. das Verhältnis der Baumoberhöhe ( $h_{\text{dom}}$ ) zur örtlich erwarteten Schneehöhe bei einem 30-jährlichen Ereignis, wobei die erwarteten Schneehöhen mit einem Korrekturfaktor für ein 30-jährliches Ereignis und für verschiedene Expositionen umgerechnet wurden (Stoffel et al 2006). Dabei wurde in einer relativ optimistischen Annahme ein BSH-Faktor von 1.5 noch als genügend schutzwirksam beurteilt;

4) Lückenlängen und Lückenbreiten gemäss NaiS (Frehner et al 2005), wobei die Kriterien auch nach unterschiedlichen Waldgesellschaften und Hangneigungen differenziert wurden.

#### Naturgefahrenbeobachtung in Windwurf- flächen der Kantone Graubünden und Bern

Um die Forschungsergebnisse in Bezug zu tatsächlichen Naturgefahrenereignissen auf Windwurfflächen zu setzen, wurden im GIS die Vivian- und Lotharflächen mit den Umrissen von im StorMe-Ereigniskataster verzeichneten Naturgefahrenereignissen in den Kantonen Graubünden und Bern überlagert. Wo eine Überschneidung von Windwurfflächen mit registrierten Prozessdaten festgestellt wurde, wurde aufgrund von Orthofotos und Geländeinformationen für die Prozesse Lawinen, Steinschlag, Rutschungen, Murgänge und Hangmuren einzeln und gutachtlich untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den Windwureignissen und den nachfolgenden Naturgefahrenereignissen bestehen könnte.

## Resultate

### Stammverschiebungen auf der Windwurf- fläche Cavorgia/Disentis

Von den 25 eingemessenen Stämmen auf der belassenen Versuchsfläche in Cavorgia/Disentis wur-

den fünf so stark verschoben, dass sie nicht mehr auffindbar waren. Die restlichen Stämme haben sich zwischen 2001 und 2010 um durchschnittlich 20 cm pro Jahr hangabwärts bewegt, was im Vergleich zur Zeitperiode zwischen 1992 und 2001 einer Steigerung um etwas mehr als 50% entspricht (Abbildung 3). Stammbrüche nahmen im Laufe der Zeit ebenfalls zu und ereigneten sich seit 2001 doppelt so häufig wie im ersten Jahrzehnt nach Vivian. Am stärksten bewegten sich die liegenden Stämme in den felsigen Partien, wo die mittlere vertikale Bewegung 55 cm pro Jahr betrug. In den übrigen Partien der Fläche hing die Dislokationsgeschwindigkeit vor allem von der Hangneigung ab, mit grösseren Verschiebungen in Steillagen mit über ca. 45° Neigung. Dort, wo die Stämme kreuz und quer lagen oder Verjüngung aufkam, wurde die Stammbewegung gebremst. Die mittlere Wirkhöhe der liegenden Stämme betrug bei der letzten Messung im Herbst 2009 (Aufnahmezeitpunkt des verwendeten Orthofotos) noch 0.86 m, was rund 40% der im Jahr 2001 gemessenen Wirkhöhe entspricht (Frey & Thee 2002).

Die untersuchten Stämme unterschieden sich stark bezüglich der Belastungen, welche sie 20 Jahre nach dem Sturm noch ohne Bruch aushalten konnten. Im Mittel wurde im Sommer 2010 noch eine Bruchlast von 16.2 kN gemessen, was gemäss den Berechnungen mit der Gumbel-Methode (Marty & Blanchet 2012) einer Schneehöhe von rund 1.8 m entspricht. Im Gebiet der Windwurffläche Disentis ist ein solches Schneereignis mit einer Wiederkehrperiode von 60 Jahren zu erwarten. Die zur Verschiebung der gemessenen Stämme nötigen Schneehöhen variierten dabei zwischen 1.2 und 2.3 m. Im Vergleich zu den Zugversuchen aus dem Jahr 2001 wiesen die von Vivian geworfenen Stämme im Jahr 2010 eine um 9 kN kleinere Bruchlast auf. Die Last von 16.2 kN entspricht einer Festigkeit von 1.8 N/mm<sup>2</sup>, was nur 4% des Wertes von gesundem Holz entspricht. Messungen mit dem Resistografen zeigten, dass die meisten Stämme bereits sehr stark vermodert waren. Der Vermoderungsgrad war dabei in hohem Masse vom Kleinstandort innerhalb der Fläche abhängig, wobei insbesondere von Vegetation bedeckte Stämme höhere Vermoderungsraten aufwiesen (Putallaz 2010).

### Lawinenschutzwirksamkeit von 26 Vivianflächen

Zwanzig Jahre nach dem Sturm wiesen die 26 untersuchten, in potenziellen Lawinenanrissgebieten liegenden Vivianflächen einen durchschnittlichen Kronendeckungsgrad von 24% auf, wobei nur zwei Flächen einen Deckungsgrad von mehr als 40% erreichten (Tabelle 1). Der Deckungsgrad war dabei in südlichen Expositionen und in tieferen Lagen (unter- und obermontane Flächen) höher. Die meisten Bäume fanden sich in den BHD-Klassen 1–3 cm

Nr.	Ort	Deckungsgrad (%)	Stammzahl/ha		BSH	Lückentiefe (m)	Lückebreite (m)
			>16 cm BHD	>8 cm BHD			
1	Davos	28	20	220	1	65	52
2	Langwies	● 38	0	60	1	65	25
3	Langwies	15	0	40	1.2	100	40
4	Pfäfers	40	20	260	1.4	57	40
5	Pfäfers	32	0	140	● 1.7	57	30
6	Wildhaus	● 32	60	520	● 1.6	70	35
7	Wildhaus	19	0	120	1	● 45	15
8	Safien	16	0	40	0.7	140	60
9	Engi	21	20	180	1	65	15
10	Engi	6	0	40	0.6	70	60
11	Engi	21	0	20	0.5	105	25
12	Schwanden	10	0	20	0.8	45	50
13	Schwanden	8	0	0	0.5	130	80
14	Medel	7	0	40	0.9	215	170
15	Medel	12	0	60	0.9	205	90
16	Disentis	43	0	480	● 1.9	● 40	20
17	Disentis	8	20	20	1.2	520	260
18	Disentis	8	180	200	1.3	520	260
19	Silenen	20	0	300	1.1	185	130
20	Guttannen	28	0	100	1.1	385	125
21	Matten	27	0	200	● 1.5	51	15
22	Matten	● 35	0	1080	● 2.4	● 20	● 15
23	Zweisimmen	25	0	140	1.3	60	50
24	Im Fang	55	0	80	1.4	● 30	● 10
25	Im Fang	34	0	80	1.4	● 25	15
26	Oey	● 33	0	140	1	● 50	● 15

**Tab 1** Relevante Grössen und Beurteilung der Schutzwirksamkeit auf Vivianflächen in Lawinenschutzwäldern (gemäss Fankhauser 2010). Grün: Kriterium erfüllt, gelb: Kriterium teilweise erfüllt. Die Kriterien wurden in Abhängigkeit von Waldtyp und Hangneigung untersucht. BSH: Verhältnis von Baumoberhöhe ( $h_{dom}$ ) zu 30-jährlicher Schneehöhe.

	Lawinenanrisse	Steinschlag/Sturz	Rutschungen	Hangmure/Murgang
Anzahl Ereignisse mit Entstehungsgebiet in Vivianfläche	5	11	23	22
Anzahl Ereignisse mit Entstehungsgebiet in Lotharfläche	0	20	62	39
Zusätzliche Ereignisse mit Transit durch Windwurffläche	4	14	31	37
Kanton Bern: Flächenanteil Windwurfflächen*	–	0.33%	0.67%	0.10%
Kanton Bern: Flächenanteil gesamte Waldfläche*	–	0.19%	0.69%	0.25%

**Tab 2** Anzahl Naturgefahrenereignisse, die im StorMe-Kataster der Kantone Graubünden und Bern verzeichnet sind und sich in Windwurfflächen ereignet haben, sowie Flächenanteil der Ereignisse in Windwurfflächen und im gesamten Waldgebiet. \* Die Flächenanteile konnten aufgrund einer nicht durchgehenden Erfassung (Graubünden) und von Unsicherheiten bezüglich der räumlichen Ausdehnung von wiederkehrenden Lawinereignissen (Bern) nur für den Kanton Bern und nicht für Lawinen berechnet werden.

(durchschnittlich rund 700 Stämme pro ha) und 4–7 cm (durchschnittlich rund 400 Stämme pro ha), während die Stammzahlen ab 8 cm BHD auf allen

Flächen noch sehr niedrig waren. Die Oberhöhe der Verjüngung lag im Mittel aller Flächen bei 3.6 m, wobei südlich exponierte Flächen im Allgemeinen bereits grössere Baumhöhen aufwiesen als nordexponierte Flächen. Die meisten Flächen enthielten 20 Jahre nach dem Sturm noch relativ grosse Lücken mit Ausdehnungen von mindestens 50 m (Tabelle 1; Fankhauser 2010). Damit erfüllte 20 Jahre nach dem Sturm keine der 26 untersuchten Vivianflächen alle Schutzwaldkriterien, und nur sieben Flächen konnten mindestens eines der Schutzwaldkriterien vollständig erfüllen (Tabelle 1). Insbesondere erreichte keine einzige Fläche die Kriterien betreffend «Deckungsgrad» und «Stammzahl pro ha». Auch ein BSH-Faktor von 1.5 wurde nur von fünf Flächen realisiert.

### Naturgefahrenbeobachtungen in Windwurfflächen der Kantone Graubünden und Bern

Aufgrund der StorMe-Daten der Kantone Graubünden und Bern wurde kein Hinweis auf eine grössere Lawinenaktivität auf Windwurfflächen im Vergleich mit anderen Waldgebieten gefunden. Von allen erfassten Lawinen sind nur fünf im Einflussbereich von (sehr steilen) Vivian- oder Lotharflächen angerissen (Tabelle 2). Dazu kamen einige Lawinen, die die Windwurfflächen auf ihrem Transit durchflossen. Zusätzlich zu den amtlich registrierten Lawinen in den Kantonen Bern und Graubünden wurden einzelne andere Lawinen in Windwurfflächen beobachtet und beim WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung gemeldet. Als vielleicht bekanntestes Beispiel einer Lawine aus einer geräumten Windwurffläche sei jene im Februar 1999 am Bläserberg bei Pfäfers (Kanton St. Gallen) erwähnt, welche die darunterliegende Strasse verschüttete (BAFU 2008). Weitere Lawinen wurden in geräumten Teilen der Windwurfflächen Disentis und Pfäfers beobachtet (Frey & Thee 2002, BAFU 2008). Beim Prozess Steinschlag/Sturz wurden in den Kantonen Bern und Graubünden insgesamt 31 Schadenereignisse aus durchwegs steilen (>34°) Windwurfflächen sowie 14 weitere Ereignisse mit Durchlauf durch eine Windwurffläche registriert. Alle erfassten Schadenereignisse erfolgten nach 1999.

Insgesamt wurden in den zur Verfügung stehenden StorMe-Daten 85 Rutschungen und 61 Hangmuren/Murgänge aus dem Einflussbereich von Vivian- und Lotharflächen registriert. Die meisten dieser Ereignisse erfolgten während der Unwetter im Jahr 2002 auf Vivianflächen und im Jahr 2005 auf Lotharflächen (Abbildung 4). Rutschungen und Hangmuren/Murgänge waren damit die häufigsten Massenbewegungen auf den Windwurfflächen. Eine räumliche Analyse der Prozesse im Kanton Bern ergab aber auch für diese keinen Hinweis auf eine erhöhte Dichte im Vergleich mit anderen bewaldeten Gebieten (Tabelle 2).

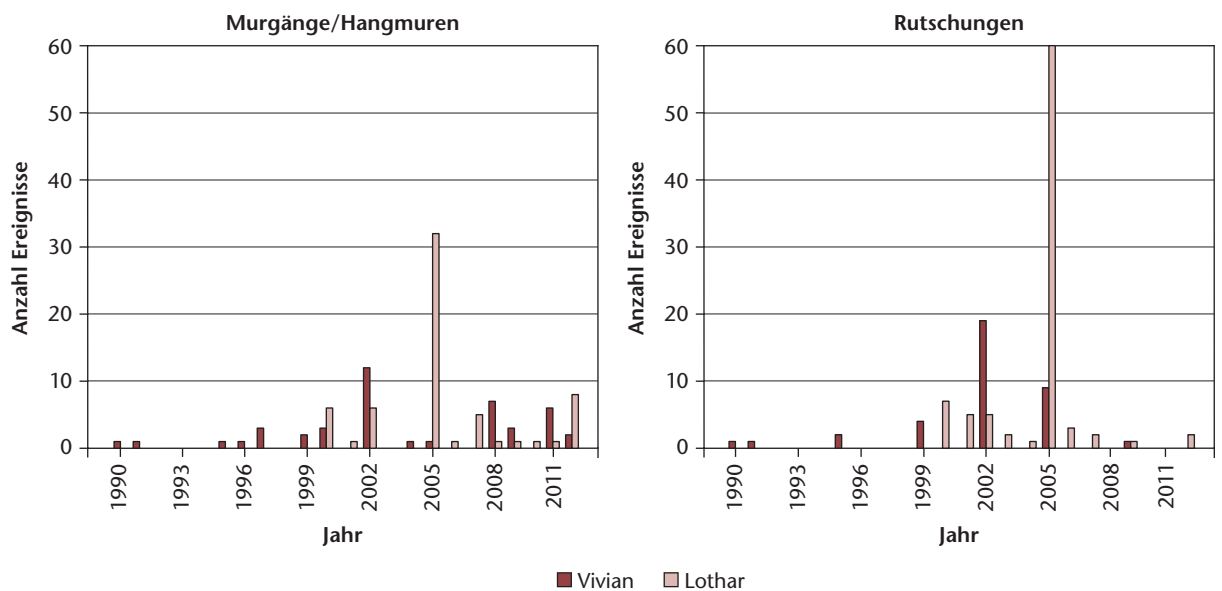


Abb 4 Anzahl Murgänge/Hangmuren und Rutschungen (Anriss- und Transitereignisse) auf Vivian- und Lotharflächen gemäss StorMe-Kataster der Kantone Bern und Graubünden in den Jahren 1990 bis 2013.

## Diskussion

Untersuchungen und Beobachtungen von Naturgefahrenprozessen in Windwurfflächen bestätigen in vielerlei Hinsicht, was bereits kurz nach dem Sturm Vivian vermutet wurde (Frey et al 1995): Die erhöhte Oberflächenrauigkeit auf Windwurfflächen vermag die beeinträchtigte Schutzfunktion des ehemaligen Bestandes mindestens teilweise zu kompensieren. Obwohl der Naturgefahrenschutz 20 Jahre nach Vivian insbesondere auf den belassenen Flächen ein erwartetes Minimum erreicht haben dürfte, gab es abgesehen von Rutschungen und Muren während einzelner Unwetterereignisse nur relativ wenige Beobachtungen von Massenbewegungen. Die hier zusammengefassten Beobachtungen sind jedoch kaum vollständig und lassen deshalb noch keine generellen Schlussfolgerungen zu. Auch bleibt die Frage offen, welche Ereignisse bei noch extremeren Schnee- und Starkregenfällen in den kritischsten Phasen nach Vivian möglich gewesen wären. Trotz diesen Unsicherheiten ist es Zeit für eine Zwischenbilanz, die wir im Folgenden für die drei Naturgefahrenprozesse Lawinen, Steinschlag und Rutschungen/Murgänge separat durchführen möchten.

### Lawinenschutz: Tests bestanden – alles gut?

Die grösstenteils als ungenügend beurteilte Lawinenschutzfunktion von Vivianflächen 20 Jahre nach dem Sturm (Fankhauser 2010) steht im Gegensatz zu den wenigen Lawinen, welche in den Sturmflächen tatsächlich beobachtet wurden. Offenbar hat die nach dem Sturm verbliebene Bodenrauigkeit insbesondere in nicht oder nur teilweise geräumten Flächen zu einem weit besseren Lawinenschutz beigetragen, als dies aufgrund der nicht oder höchstens

teilweise erfüllten Anforderungsprofile in Bezug auf Lawinen befürchtet werden musste. Hinweise auf das Zusammenspiel von Stammbewegungen und den dafür nötigen Schneemassen auf belassenen Windwurfflächen geben die Versuche von Putallaz (2010) sowie frühere Untersuchungen von Frey & Thee (2002). Daraus geht hervor, dass in steilen Hängen mit zunehmender Zersetzungsdauer der Stämme und bei genügend mächtiger Schneedecke durchaus Kräfte wirken, die punktuell zu grösseren Stammverschiebungen führen können. Dass trotzdem nur sehr wenige Lawinen in Windwurfflächen anrissen, kann entweder damit erklärt werden, dass die Winter seit 1990 nicht besonders schneereich waren, oder damit, dass die erhöhte Bodenrauigkeit auf Windwurfflächen insgesamt doch zu einer besseren Stabilisierung der Schneedecke geführt hat, als dies aufgrund von bisherigen Kriterien und Modellen erwartet werden konnte. Im Folgenden möchten wir diese Argumente genauer beleuchten.

Zur Einschätzung der Gefahrensituation in den Wintern nach 1990 und der Schutzwirkung in Vivianflächen dient ein Überblick über langjährige Messreihen von maximalen Schneehöhen auf der Alpennordseite (Abbildung 5). Daraus wird in den für die Windwurfflächen relevanten Höhenlagen kein klarer Trend in Richtung abnehmender maximaler Schneehöhen ersichtlich, und es zeigt sich, dass es auch nach 1990 Winter mit grossen Schneemengen gab. Im Lawinenwinter 1999 überschritten die Schneehöhen die 2-m-Marke im Bereich von Vivian-Waldschadenflächen, und auch der Winter 2012 brachte Schneemengen, deren Last aufgrund der Messungen und Berechnungen von Putallaz (2010) zumindest ein ernst zu nehmender Test für das sich setzende Sturmholz war. Die Messreihen zeigen aber, dass die Schneebelastungen für das Vivian-

Sturmholz auf der Alpennordseite in den letzten Jahren auch grösser hätten sein können. Schneehöhen von mehr als 3 m, wie sie zum Beispiel in den Jahren 1945 und 1975 in Andermatt gemessen wurden, können heute und in Zukunft nicht ausgeschlossen werden, trotz ansteigenden Temperaturen. Bei solcher Schneemächtigkeit wäre die Wirkung der darunter begrabenen Hölzer stärker reduziert.

Dass die Rolle der erhöhten Bodenrauigkeit für den Lawinenschutz vielfach eher unterschätzt wird, zeigen Beobachtungen und Forschungsergebnisse ausserhalb von Windwurfflächen. Untersuchungen von Feistl et al (2014) weisen beispielsweise darauf hin, dass die erforderliche Begrenzung der Lückengrössen für das Verhindern von Lawinen insbeson-

dere bei Gleitschneesituationen sehr stark von der Oberflächenrauigkeit abhängt. Wenn eine kleine Lawine im Waldbereich anreiss, können Jungbäume und Bodenrauigkeitselemente im Anriss- und Beschleunigungsbereich (oberste 100–150 m) bereits erheblich dazu beitragen, dass der Lawine Masse und damit Energie entzogen wird und sie so weiter unten von Bäumen gestoppt werden kann. In steilen Windwurfflächen (> ca. 35°) ist es deshalb wichtig, dass keine grösseren Abschnitte (> ca. 15–20 m Lückenlänge) ohne wirksame Oberflächenrauigkeitselemente entstehen.

Liegen gelassenes Sturmholz trug zwar auch 20 Jahre nach Vivian noch zu einer erhöhten Bodenrauigkeit bei, es hatte in dieser Zeit aber bereits mehr als die Hälfte seiner ursprünglichen Wirkung eingebüsst, wobei die Qualität der Restwirkung sehr stark von Standorteigenschaften, der Struktur des Ausgangsbestandes und der Verankerung des Sturmholzes im Boden abhing. Ob die Schutzfunktion ohne entscheidende Einbussen erhalten werden kann, hängt daher davon ab, wie rasch die abnehmende Wirkung des belassenen Holzes durch die aufkommende Verjüngung kompensiert werden kann (Abbildung 1). Wo eine rechtzeitige Kompensation der Schutzfunktion aufgrund von fehlender Vorverjüngung nicht erwartet werden kann, sind gruppenweise und kleinstandörtlich angepasste Ergänzungspflanzungen im belassenen Bestand eine effiziente Variante zur Verkürzung der Zeit mit ungenügender Schutzfunktion (Schwitter 2011; Abbildung 6). In noch steileren Hängen (>45°) oder wo das Sturmholz aufgrund von ungenügender Verankerung bei grossen Schneemengen von selbst abrutschen kann, müssen für eine dauerhafte Erfüllung der Schutzfunktion ergänzende temporäre Stützverbauungen in Betracht gezogen werden (BAFU 2008).

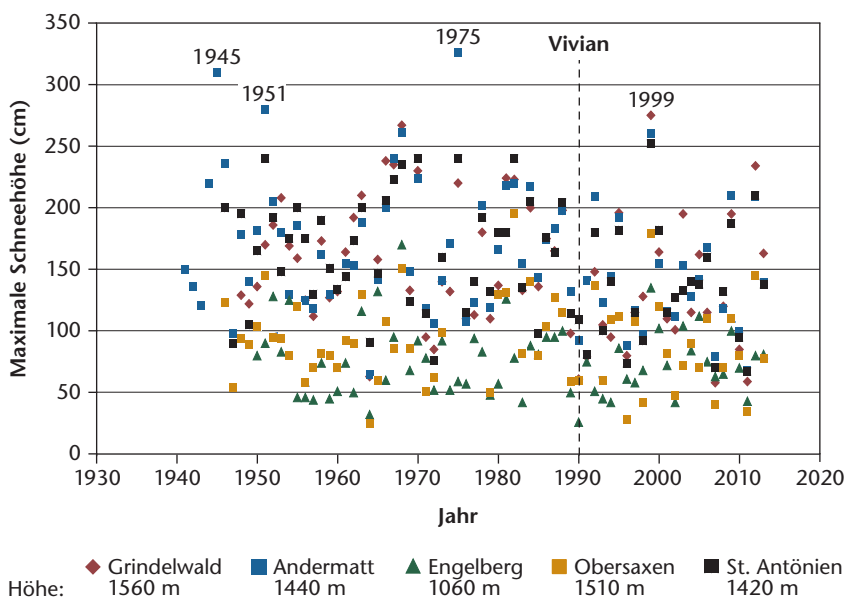


Abb 5 Maximale Schneehöhen pro Jahr in schneereichen Lagen der Alpennordseite. Besonders schneereiche Lawinenwinter sind mit Jahreszahlen gekennzeichnet. Höhe: Stationshöhe in m ü. M.



Abb 6 Zustand der Fichten im Jahr 2014, ein Jahr nach Vivian zwischen die liegenden Bäume auf einer belassenen Sturmfläche in Pfäfers (Kanton St. Gallen) gepflanzt wurden. Foto: Raphael Schwitter

### Steinschlagschutz: lose Steine hinter zerfallendem Holz

Nach Vivian wurden zunächst vor allem bei den Räumungs- und Sicherungsarbeiten Erfahrungen mit Steinen gesammelt, die sich auf steilen Windwurfflächen lösten und teilweise zusätzliche technische Verbauungen nötig machten. Auf nicht oder nur teilweise geräumten Flächen bot das verbliebene Sturmholz in den ersten Jahren zumeist einen guten Steinschlagschutz, teilweise sogar einen besseren als der Ausgangsbestand (Schönenberger et al 2005, Ammann 2006; Abbildung 7). Allerdings nimmt die Wirkung der sich zersetzenden Stämme mit der Zeit ab, wodurch sich die Steine hinter den liegenden Baumteilen auch wieder bewegen können. Durch die ständigen Wachstums- und Mortalitätsprozesse finden solche Umlagerungs- und Loslösungsprozesse zwar grundsätzlich in jedem Steinschlagschutzwald statt. Sie sind insbesondere in lange nicht mehr genutzten Steinschlagschutzwä-

**Abb 7** Steine, die von einem Stirzel auf einer Windwurffläche aufgefangen wurden.

Foto: Werner Gerber



dern stets zu beachten. In nicht oder nur teilweise geräumten Windwurfflächen dürften die Dynamik der Zerfallsprozesse und die Gefährdung durch lose Steine vielfach besonders hoch sein.

Im StorMe-Kataster sind nur wenige Sturz- und Steinschlagereignisse aus Windwurfflächen verzeichnet. Dies deutet darauf hin, dass die Steinschlagproblematik den zuständigen Forstbetrieben bisher keine unlösbare Aufgabe stellte und dass die Sicherung der Steine bisher auch gut gelöst werden konnte. Dass alle registrierten Steinschlagereignisse aus Windwurfflächen nach 1999 erfolgten, kann allerdings auch ein Hinweis auf mit fortschreitender Holzersetzung zunehmende Steinschlagaktivität sein und darauf, dass die Schutzwirkung noch nicht vollständig durch aufkommende Verjüngung kompensiert worden ist. Jedenfalls müssen insbesondere ungeräumte Windwurfflächen in steilen Waldgebieten und mit kurzer Transitstrecke bis zum Schadenpotenzial periodisch kontrolliert und neue Steinschlagherde gesichert werden.

#### **Rutschungen und Muren: Wie lange dauert die Zeitspanne mit reduzierter Schutzwirkung?**

Von allen Massenbewegungen werden flachgründige Rutschungen wahrscheinlich am stärksten durch Windwürfe begünstigt. Als Folge der geringeren Interzeption nach Sturmschäden gelangen mehr Niederschläge in den Boden, was den Porenwasserdruck ansteigen lässt und damit die Scherfestigkeit des Bodens verringert. Zudem werden bei Windwürfen Wurzeln aus dem Boden gerissen und Wur-

zelstöcke ausgedreht, womit Wasser in den Boden infiltrieren kann und so Ausgangspunkte für Rutschungen entstehen können (Rickli et al 2008). Und auch wenn Stämme nicht entwurzelt, sondern gebrochen werden, lässt spätestens zwei bis drei Jahre nach dem Sturm die Bodenarmierung durch Wurzelverstärkung stark nach (Vergani et al 2014).

Die Wurzeln der Folgevegetation können erst nach Jahrzehnten diejenigen des Ausgangsbestandes kompensieren. Deshalb ist sowohl auf belassenen als auch auf unbelassenen Windwurfflächen für längere Zeit mit einer grösseren Rutschungsgefährdung zu rechnen (Ziemer 1981), wobei durch unsorgfältigen Maschineneinsatz erzeugte Bodenwunden die Gefahr verschärfen (Gerber et al 2002). Ein starker Zusammenhang zwischen früheren Stürmen und einer erhöhten Rutschungsgefährdung konnte nach dem Unwetter von Sachseln im Jahr 1997 festgestellt werden (Moos 2014). Wie lange es dauert, bis die neuen Wurzeln die stabilisierende Wirkung der abgestorbenen Baumwurzeln kompensieren können, ist wahrscheinlich stark vom Standort und von der Baumart abhängig. Die meisten Rutschungen und Murgänge auf Windwurfflächen ereigneten sich während der beiden Starkregenfälle in den Jahren 2002 und 2005. Die grosse Anzahl Rutschungen in Vivianflächen im Jahr 2002 (12 Jahre nach dem Sturm) und in Lotharflächen im Jahr 2005 (5 Jahre nach dem Sturm; Abbildung 4) ist möglicherweise ein Hinweis auf eine in dieser Zeitperiode verringerte Bodenfestigkeit. Ob die Rutschungsanfälligkeit 25 Jahre nach Vivian bereits wieder am Abnehmen ist, wird das nächste Unwetter zeigen.

## Potenzieller Einfluss von Borkenkäferbefall und Waldbrand auf die Schutzwirkung

Grossflächige Windwürfe in Fichtenwäldern lösen bekanntlich häufig Folgeschäden durch den Buchdrucker (*Ips typographus*) aus, was den Entsch eid, ob und wie eine Windwurf fläche geräumt werden soll, wesentlich beeinflusst (Wermelinger et al 2014). Bezüglich der Auswirkungen des Buchdruckerbefalls auf die Schutzfunktion gibt es auf den ersten Blick viele Parallelen zu Sturmschäden: Die Interzeption nimmt ab, befallene Bäume fallen um, verkeilen sich ineinander und haben damit für eine gewisse Zeit eine ähnliche Wirkung wie vom Wind geworfene Bäume. Im Unterschied zu Windwürfen gibt es aber nach Borkenkäferbefall weniger Entwurzelungen (Kupferschmid et al 2004). Die Bäume brechen erst mehrere Jahre nach dem Absterben und bleiben als Stirzel stehen, was bezüglich des Erhalts einer gewissen Schutzfunktion und der kontinuierlichen Nachlieferung von relativ gut konserviertem Totholz positiv bewertet werden kann (Ammann 2006, Schwitter 2011). In Käferbeständen bleibt die Schutzfunktion somit in der Regel länger erhalten. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass die Waldverjüngung nur zögerlich vorankommen kann, unter anderem, weil Moderholzverjüngung auf Borkenkäferholz wegen der oft starken Präsenz des Rotrandigen Baumschwammes (*Fomitopsis pinicola*) erschwert ist (Bače et al 2012). Potenziell gravierende Folgeschäden nach Windwürfen könnten bei entsprechend ungünstigen Witterungsbedingungen durch Brände erwartet werden (Cannon et al 2014). Sowohl Vivian- als auch Lotharflächen blieben bisher von grösseren Bränden verschont. Eine erhöhte Waldbrandgefährdung beschränkt sich wahrscheinlich auf die ersten Jahre nach Windwürfen oder Käferschäden, d.h., solange leicht entflammbare Nadeln und trockenes Holz vorhanden sind (Kulakowski & Veblen 2007). Jedenfalls tragen gerade solche Störungs- respektive Gefahrenkaskaden und die sehr unterschiedlichen Folgeprozesse dazu bei, dass auch der nächste Sturm sehr hohe Anforderungen an die Einschätzung der Naturgefahrrensituation stellen wird.

## Folgerungen

Die erhöhte Oberflächenrauigkeit auf Windwurf flächen wirkte bisher gut. Behandlungsvarianten, welche das Liegenlassen von Sturmholz nach Vivian einschlossen, können deshalb heute aus dem Blickwinkel des Naturgefahrnschutzes meistens als geglückte Experimente bezeichnet werden. Wo wenig Aussicht besteht, dass die nach 20 Jahren stark nachlassende Wirkung des Sturmholzes rechtzeitig durch Naturverjüngung kompensiert wird, kann die Handlungsoption «Belassen und Bepflanzen» erfolg-

versprechend sein, weil damit die heikle Zeitperiode mit verminderter Schutzwirkung stark verkürzt wird. Auf sehr steilen Flächen mit schlechter Verankerung der Stämme sind auch gemäss aktuellem Kenntnisstand oft temporäre Verbauungen erforderlich. Flachgründige Rutschungen haben im Vergleich zu anderen Naturgefahren auf den Windwurf flächen öfter zugenommen und zeigen, dass sowohl in belassenen als auch in geräumten Flächen mit einem Zeitfenster mit reduzierter Schutzwirkung gegenüber Rutschungen gerechnet werden muss. Die grossen standortbedingten Unterschiede im Wirkungsgefüge und in der Zeitdauer der Folgeprozesse bestätigen, dass es kein allgemeingültiges Rezept für den Schutz vor Naturgefahren auf Sturmflächen gibt und dass letztendlich jeder Fall individuell beurteilt und die Handlungsoptionen mit den damit verbundenen Risiken bewertet werden müssen.

Eingereicht: 23. September 2014, akzeptiert (mit Review): 4. März 2015

## Dank

Wir danken den Fachstellen für Naturgefahren der Kantone Bern und Graubünden für die Zurverfügungstellung der StorMe-Daten. Dem Forstamt Disentis danken wir für die Hilfe bei den Zugversuchen und Pat Thee für die Hilfe bei der Auswertung der Fernerkundungsdaten in der Windwurf fläche Cavorgia/Disentis.

## Literatur

- AMMANN M (2006) Schutzwirkung abgestorbener Bäume gegen Naturgefahren. Zürich: Eidg Techn Hochschule, Dissertation 16638. 191 p.
- BAČE R, SVOBODA M, POUŠKA V, JANDA P (2012) Natural regeneration in Central-European subalpine spruce forests: Which logs are suitable for seedling recruitment? For Ecol Manage 266: 254–262.
- BAFU (2008) Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald. Vollzugshilfe für die Wahl der Schadensbehandlung im Einzelbestand. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Vollzug 0801. 132 p.
- CANNON JB, O'BRIEN JJ, LOUDERMILK EL, DICKINSON MB, PETERSON CJ (2014) The influence of experimental wind disturbance on forest fuels and fire characteristics. For Ecol Manage 330: 294–303.
- FANKHAUSER M (2010) Lawinenschutzwirksamkeit auf Vivian-Windwurf flächen. Zollikofen: Hochschule Agrar- Forst- Lebensmittelwiss, Bachelorarbeit. 47 p.
- FEISTL T, BEBI P, DREIER L, HANEWINKEL M, BARTELT P (2014) Quantification of basal friction for glide-snow avalanche mitigation measures in forested and non-forested terrain. Hazards Earth Syst Sci Discuss 2: 2947–2980.
- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landsch. 564 p.
- FREY W, FORSTER B, GERBER W, GRAF F, HEINIGER U ET AL (1995) Risiken und Naturgefahren auf Windwurf flächen. Schweiz Z Forstwes 146: 863–872.



- FREY W, THEE P (2002)** Avalanche protection of windthrow areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. For Snow Landsc Res 77: 89–107.
- GERBER W, RICKLI C, GRAF F (2002)** Surface erosion in cleared and uncleared mountain winthrow sites. For Snow Landsc Res 77: 109–116.
- KULAKOWSKI D, VELEN TT (2007)** Effect of prior disturbances on the extent and severity of wildfire in the Colorado subalpine forests. Ecology 88: 759–769.
- KUPFERSCHMID AD, BRANG P, BUGMANN H, SCHÖNENBERGER W (2004)** Schutzwirkung von Gebirgsfichtenwäldern nach Buchdruckerbefall. Wie gut schützen Totholzbestände vor Naturgefahren? Wald Holz 85 (1): 33–36.
- LOSEY S, WEHRLI A (2013)** Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. Bern: Bundesamt Umwelt. 29 p.
- MARTY C, BLANCHET J (2012)** Long-term changes in annual maximum snow depth and snowfall in Switzerland based on extreme value statistics. Clim Change 111: 705–721.
- MEYER-GRASS M, SCHNEEBELI M (1992)** Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen. Internationales Symposium Interpraevent 1992 Bern, Tagungspublikation, Band 2. pp. 443–454.
- MOOS C (2014)** How does forest structure affect landslide susceptibility? Davos: WSL-Inst Schnee Lawinenforsch SLF. 97 p.
- PUTALLAZ JM (2010)** Protection à long terme contre les avalanches sur les surfaces de chablis; Etude sur l'efficacité mécanique des arbres au sol. Davos: Institut pour l'Etude de la neige et des avalanches, Masterarbeit. 116 p.
- RICKLI C, KAMM S, BUCHER HU (2008)** Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teilprojekt Flachgründige Rutschungen. Bern: Bundesamt Umwelt. 114 p.
- SCHÖNENBERGER W (2002)** Windthrow research after the 1990 storm Vivian in Switzerland: objectives, study sites, and projects. For Snow Landsc Res 77 (1/2): 9–16.
- SCHÖNENBERGER W, NOACK A, THEE P (2005)** Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. For Ecol Manage 213: 197–208.
- SCHWITTER R (1996)** Schutzwald im Taminatal – Wiederherstellung nach dem Sturm. Forstwiss Cent.bl 115: 273–286.
- SCHWITTER R (2011)** 20 Jahre nach dem Sturm. Wald Holz 92 (6): 29–31.
- STOFFEL L, SCHÄR M, MARGRETH S, MÜLLER, R (2006)** Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei touristischen Transportanlagen. Bern: Bundesamt Verkehr. 41 p.

## La fonction de protection dans les chablis

Cet article tire un bilan provisoire de l'évolution des occurrences de dangers naturels sur les chablis dans les 20 années qui ont suivi la tempête hivernale Vivian (1990). Cet état intermédiaire se base sur 1) des essais de traction répétés et des observations à long terme dans les chablis de Cavorgia/Disentis laissés tels quels, 2) la détermination de la fonction de protection sur 26 chablis et 3) les données enregistrées dans le cadastre «StorMe» des occurrences de dangers naturels dans les chablis. 20 ans après la tempête, la hauteur au sol et la résistance des troncs entre-temps largement décomposés sur le chablis de Cavorgia/Disentis s'élèvent à seulement 40% environ des valeurs initiales. Sur les pentes très raides (>45°) et rocheuses, les troncs se sont parfois déplacés de quelques mètres vers l'aval. La plupart des 26 chablis étudiés ne remplissaient aucun des critères pris en compte pour les forêts de protection contre les avalanches. Pourtant, on n'y a constaté que très peu d'avalanches et chutes de pierres. Par contre, le nombre relativement important de glissements de surface quelques années après la tempête indique un créneau temporel avec propension accrue aux glissements. Nos études et observations montrent que l'augmentation de la rugosité de surface a joué un rôle positif contre les avalanches et chutes de pierres dans les premières années après la tempête. Mais 20 ans après Vivian, cette efficacité a fortement baissé en de nombreux endroits et ne devrait suffire à une protection fiable que là où le rajeunissement naturel a déjà bien progressé ou là où des plantations ont été effectuées entre les troncs laissés tels quels au sol. La planification des mesures pour la protection contre les dangers naturels doit s'effectuer au cas par cas pour chaque chablis.

## Protection against natural hazards on windthrow areas

We give an overview on natural hazard processes on windthrow areas during the first 20 years after the winterstorm Vivian (1990). This overview is based on 1) repeated pulling experiments and a long-term analysis of stem movements in the uncleared winthrow area Cavorgia/Disentis, 2) the assessment of avalanche protection function of 26 windthrow areas, and on 3) StorMe cadastral data of natural hazard events on windthrow areas. The effective heights and stem resistance of lying logs have been reduced to ca. 40% of the original values on average in the uncleared winthrow area Cavorgia/Disentis. In particular on very steep (>45°) and rocky slopes, some of the stems have moved several meters. Most of the 26 investigated windthrow areas did not fulfill any of the considered criteria to effectively protect against avalanches. Nevertheless, very few avalanches and rockfall events were observed on Vivian areas. The relatively large number of shallow landslides in the years after the windthrow could, however, be a sign of a certain time with increased landslide susceptibility. Our results and observations suggest that the increased terrain roughness after Vivian largely compensated for the decreased protection effects against avalanche and rockfall of former stands structures during the first years after the storm. After 20 years, the terrain roughness effect has strongly decreased and reliable protection against mass movements depends in most cases on a sufficiently advanced natural forest regeneration or on additional post-windthrow plantations. It is important to consider specific conditions on the level of single slopes when planning measures against natural hazards in windthrow areas.