

# **> Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald**

*Vollzugshilfe für die Wahl der Schadensbehandlung im Einzelbestand*

**Sturmschaden-Handbuch 2008, Teil 3**

## Impressum

### Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

*Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».*

### Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)  
*Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).*

### Autor

Christoph Angst, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

### Begleitgruppe

Walter Beer (Amt für Wald des Kantons Bern), Silvio Covi (Landwirtschaft und Wald, Luzern), Beat Forster (Eidg. Forschungsanstalt WSL), Evelyn Kamber, Marcus Ulber (Pro Natura), Felix Lüscher (Oberallmeindkorporation Schwyz), Rolf Manser (Abt. Wald, BAFU), Roland Métral (Dienststelle für Wald und Landschaft, Wallis), Walter Schönenberger (Eidg. Forschungsanstalt WSL), Markus Thommen (Abt. Natur und Landschaft, BAFU), André Wehrli (Abt. Gefahrenprävention, BAFU), Jürg Zinggeler (Abteilung Wald, Aargau)

### Begleitung BAFU

Richard Volz, Abt. Wald

### Gestaltung

Christoph Angst, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

### Zitervorschlag

BAFU 2008: Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald. Vollzugshilfe für die Wahl der Schadensbehandlung im Einzelbestand. Sturmschaden-Handbuch 2008, Teil 3. Umwelt-Vollzug Nr. 0801. Bundesamt für Umwelt, Bern. 132 S.

### Download PDF

[www.umwelt-schweiz.ch/uv-0801-d](http://www.umwelt-schweiz.ch/uv-0801-d)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache erhältlich (UV-0801-F, UV-0801-I).

© BAFU 2008

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung</b>	<b>5</b>	B-7.5 Flankierende Massnahmen	34
		B-7.6 Beiträge Dritter	35
		B-7.7 Nicht berücksichtigte Folgekosten	35
<b>A Entscheidfindung mit Hilfe der Checkliste</b>	<b>7</b>		
A-1 Checkliste für den Vergleich von Belassen und Räumen	8	<b>C Grundlagen zu den Argumenten</b>	<b>37</b>
A-2 Ausgefüllte Checkliste als Beispiel	9	C-1 Naturgefahren	37
A-3 Beurteilungseinheit	10	C-1.1 Lawinenanriss vermeiden	39
A-4 Handlungsoptionen	11	C-1.2 Steinschlag und Sturzholz vermeiden	50
A-4.1 Belassen	11	C-1.3 Rutschungen, Hangmuren und Erosion vermeiden	56
A-4.2 Teilräumen	11	C-1.4 Verklausungen und Murgänge vermeiden	64
A-4.3 Räumen	11	C-2 Folgeschäden	66
A-5 Anleitung für die Interessenabwägung mit Hilfe der Checkliste	12	C-2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen	66
A-6 Hilfsblatt zur Kostenanalyse	15	C-3 Arbeitssicherheit	76
		C-3.1 Sicherheit während der Sturmholzaufarbeitung gewährleisten	76
<b>B Argumente zum Entscheid</b>	<b>17</b>	C-4 Forstbetrieb	81
B-1 Naturgefahren	17	C-4.1 Holzmarkt und Logistik berücksichtigen	81
B-1.1 Lawinenanriss vermeiden	18	C-4.2 Gute Voraussetzungen für Folgebestand schaffen	84
B-1.2 Steinschlag und Sturzholz vermeiden	19	C-4.3 Bodenfruchtbarkeit erhalten	95
B-1.3 Rutschungen, Hangmuren und Erosion vermeiden	20	C-4.4 Einfluss des Schalenwildes lenken	98
B-1.4 Verklausungen und Murgänge vermeiden	21	C-5 Umwelt	103
B-2 Folgeschäden	22	C-5.1 Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung fördern	103
B-2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen	22	C-6 Gesellschaft	109
B-3 Arbeitssicherheit	23	C-6.1 Attraktivität für Erholung und Naturerlebnis fördern	109
B-3.1 Sicherheit während der Sturmholzaufarbeitung gewährleisten	23		
B-4 Forstbetrieb	24	<b>D Nicht berücksichtigte Kriterien</b>	<b>115</b>
B-4.1 Holzmarkt und Logistik berücksichtigen	24	D-1 Hochwasser vermeiden	115
B-4.2 Gute Voraussetzungen für Folgebestand schaffen	25	D-1.1 Begriffe	115
B-4.3 Bodenfruchtbarkeit erhalten	26	D-2 Waldbrand verhüten	118
B-4.4 Einfluss des Schalenwildes lenken	27	D-3 Grundwasserqualität erhalten	121
B-5 Umwelt	28	D-3.1 Änderungen im Stickstoffkreislauf durch Windwurf oder Käferbefall	121
B-5.1 Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung	28	D-3.2 «Stickstoffquelle» Totholz	121
B-6 Gesellschaft	29	D-4 Vorzeitiger Abtrieb	122
B-6.1 Attraktivität für Erholung, Naturerlebnis und Umweltbildung	29	D-5 Räumung zu späterem Zeitpunkt	122
B-7 Kostenbilanz	30	D-6 Erhaltung von Fachwissen und Arbeitsplätzen in der Region	122
B-7.1 Voraussichtlicher Holzerlös	30	D-7 Bedeutung der Sturmholznutzung für die Reduktion des CO <sub>2</sub> -Ausstosses	123
B-7.2 Holzerntekosten	30		
B-7.3 Zusatzkosten zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit	33	<b>Dank</b>	<b>124</b>
B-7.4 Erschliessung (Neubau, Ausbau, Reparaturen)	33	<b>Literatur</b>	<b>125</b>



# Einführung

## Ziel und Zweck der Entscheidungshilfe

In der Komplexität unserer Gesellschaft sieht sich auch der Bewirtschafter und Pfleger des Waldes mehr denn mit den unterschiedlichsten Ansprüchen konfrontiert. Dieser Herausforderung steht die Entscheidungsfreiheit des Waldeigentümers gegenüber, welcher mehr und mehr seine Entscheidungen gegenüber der Öffentlichkeit zu vertreten hat. Es gilt, sich der Vor- und Nachteile des eigenen Handelns bzw. Lassens bewusst zu sein und die getroffenen Entscheide kompetent und überzeugend darlegen zu können. Dies verlangt fundierte und nachvollziehbare Entscheidungsfindungen.

Zur Unterstützung einer kompetenten Bewältigung grossräumiger Sturmschäden im Wald stellt der Bund das Sturmschaden-Handbuch (SSH) und die vorliegende «Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald» (EH) als Informations- und Arbeitsgrundlage zur Verfügung. Das SSH gibt praktische Hinweise für das administrative, organisatorische und fachliche Vorgehen bei der Sturmschadenbewältigung und enthält übergeordnete und grossräumige Strategien. Die EH knüpft innerhalb des SSH an Kapitel «2.4 Wahl der Schadensbehandlung» (resp. 2.5.1) an und dient als Entscheidungsinstrument bei der Frage, ob und warum auf einer konkreten Windwurffläche das Sturmholz «geräumt» oder «belassen» werden soll.

In der EH werden anhand einer Checkliste folgende Fragen geprüft:

- Soll das Sturmholz auf einer bestimmten Windwurffläche «belassen» oder «geräumt» werden?
- Ist allenfalls eine «Teilräumung» von Vorteil?
- Welches sind bezüglich der Ziele des Waldbesitzers und der Öffentlichkeit die Vor- und Nachteile der Handlungsoptionen?
- Wo sind bei einem Entscheid für «Belassen», «Räumen» bzw. «Teilräumen» flankierende Massnahmen angebracht?

Die EH bietet Methode und spezifische Kenntnisse für eine auch später noch nachvollziehbare, fachlich abgestützte Interessenabwägung und einen möglichst objektiven Entscheid *auf der Ebene der einzelnen Windwurffläche*. Während des vorgeschlagenen Entscheidungsprozesses werden anhand einer Nutzwertanalyse 13 Kriterien qualitativ beurteilt. Diese sind in der Checkliste zu 7 Hauptkriterien zusammengefasst:

1. Naturgefahren
2. Folgeschäden
3. Arbeitssicherheit
4. Forstbetrieb
5. Umwelt
6. Gesellschaft
7. Kostenanalyse

Zusätzlich werden anhand einer einfachen Kostenanalyse die kurzfristigen finanziellen Kosten und Nutzen abgeschätzt, die bei den Optionen «Belassen», «Räumen» bzw. «Teilräumen» zu erwarten sind.

Als Beurteilungseinheit gilt in der Regel die einzelne Windwurffläche (vgl. A-3, S. 10). Der betrachtete Zeitraum kann sich auf die Zeit der Holzernte beschränken – beispielsweise bezüglich der Arbeitssicherheit –, aber auch über mehrere Jahrzehnte erstrecken – z.B. bezüglich Naturgefahren oder Wiederbewaldung.

Wirtschaftliche und verfahrenstechnische Überlegungen sind in der EH nur so weit berücksichtigt, wie sie für den Entscheid über «Räumen oder Belassen» relevant sind.

Die EH ist als Wegleitung zu verstehen, die sich in erster Linie an die forstlichen Entscheidungsträger richtet, d.h. an den Waldeigentümer und den örtlichen Forstdienst. Sie kann aber auch für andere Kreise von Interesse sein, die sich mit der Problematik der Behandlung von Windwurfflächen befassen.

Wo keine übergeordneten öffentlichen Interessen ein bestimmtes Vorgehen erfordern, ist der Waldeigentümer grundsätzlich frei, seine Windwurffläche zu räumen oder zu belassen. Dabei dient ihm die EH als Wegleitung für ein fachlich abgestütztes Handeln.

## Aufbau der Entscheidungshilfe

---

<b>Teil A</b>	<b>Entscheidfindung mit Hilfe der Checkliste</b> Seite 7–16	<b>Checkliste für die Interessenabwägung</b> , in der die zum Entscheid führenden Argumente (vgl. Teil B) der verschiedenen Kriterien übersichtlich dargestellt werden können. Im Kopfteil der Checkliste werden auch allgemeine Informationen über die zu beurteilende Schadenfläche notiert. Im unteren Teil des Formulars werden der aufgrund der Checkliste getroffene Entscheid sowie die wichtigsten flankierenden Massnahmen festgehalten.
<b>Teil B</b>	<b>Argumente zum Entscheid</b> Seite 17–36	<b>Auflistung der Argumente zu den Kriterien</b> , die für die Beurteilung der Optionen Belassen und Räumen von Bedeutung sind. Die Argumente stützen sich auf die Grundlagen im Teil C.
<b>Teil C</b>	<b>Grundlagen zu den Argumenten</b> Seite 37–114	<b>Ausführliche Sammlung der Erkenntnisse</b> aus Wissenschaft und Praxis zu den entscheidungsrelevanten Kriterien. Dieser Teil dient als Nachschlagewerk, das eine kompetente Verwendung der im Teil B aufgelisteten Argumente unterstützt.

---

# **A Entscheidungsfindung mit Hilfe der Checkliste**

# A-1 Checkliste für den Vergleich von Belassen und Räumen

Forstkreis: \_\_\_\_\_ Revier: \_\_\_\_\_ Forstschutzgebiet<sup>1</sup>: \_\_\_\_\_  
 Waldeigentümer: \_\_\_\_\_ Dringlichkeit<sup>2</sup>: \_\_\_\_\_  
 Höhe m ü.M.: \_\_\_\_\_ Hangneigung (%): \_\_\_\_\_ Exposition: \_\_\_\_\_ Flächengrösse (ha): \_\_\_\_\_ Flächenname, Nr.\*: \_\_\_\_\_  
 Vorrangfunktion: \_\_\_\_\_ Standortstyp: \_\_\_\_\_  
 Bestockungsziel: \_\_\_\_\_  Naturverjüngung  Ergänzungspflanzung  Pflanzung  
 BearbeiterIn: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Nutzwertanalyse		nicht relevant	ausschlaggebend	spricht für			Teilräumen vorteilhaft			
				Belassen	Räumen					
Hauptkriterium	Kriterium, Ziel			stark	mittel	schwach	schwach	mittel	stark	
<b>1 Naturgefahren</b>	1.1 Lawinenanriss vermeiden									
	1.2 Steinschlag und Sturzholz vermeiden									
	1.3 Rutschungen, Hangmuren und Erosion vermeiden									
	1.4 Verklausungen und Murgänge vermeiden									
<b>2 Folgeschäden</b>	2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen									
<b>3 Arbeitssicherheit</b>	3.1 Sicherheit während der Holzernte gewährleisten									
<b>4 Forstbetrieb</b>	4.1 Holzmarkt und Logistik berücksichtigen									
	4.2 Gute Voraussetzungen für Folgebestand schaffen									
	4.3 Bodenfruchtbarkeit erhalten									
	4.4 Einfluss des Schalenwildes lenken									
<b>5 Umwelt</b>	5.1 Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung fördern									
<b>6 Gesellschaft</b>	6.1 Attraktivität für Erholung und Naturerlebnis fördern									
<b>7 Kostenanalyse</b>	Qualitative Beurteilung der Bilanzen aus der Kostenanalyse									
<b>Kostenanalyse → vgl. Hilfsblatt (S. 15)</b> (+ = Nutzen, - = Kosten)										
	7.1 Voraussichtlicher Holzerlös									
	7.2 Holzerntekosten (übliches Verfahren)									
	7.3 Zusatzkosten zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit									
	7.4 Erschliessung (Neubau, Ausbau, Reparaturen)									
	7.5 Flankierende Massnahmen <b>Bem.:</b>									
	7.6 Beiträge Dritter (exkl. Wiederbewaldung) <b>Bem.:</b>									
<b>Bilanz:</b>										

Begründung für ausschlaggebende Kriterien: \_\_\_\_\_

**Entscheid für Windwurffläche**

- belassen
- teilweise räumen
- Räumen<sup>3</sup>
- 

Bemerkungen:

**Flankierende Massnahmen**

- Massnahmen für Bodenschutz
- entrinden und liegenlassen
- Stock- u. Stammsicherungen
- Schlagräumung / Bepflanzung
- jagdliche Massnahmen
- Massnahmen gegen Naturgefahren
- Waldbrand-Prävention
- Öffentlichkeitsarbeit
- 

\*Beilage(n): Kartenausschnitt 1:25'000 \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Gemäss regionaler, kantonaler oder gesamtschweizerischer Ausscheidung von Forstschutzgebieten (vgl. SSH Kap. 2.3.4)  
<sup>2</sup> Die Dringlichkeit von Massnahmen zur Vermeidung von Buchdrucker-Folgebefall wird anhand von B-2.1, S.22 bestimmt.  
<sup>3</sup> Vgl. weitere Informationen und Wegleitungen im Sturmschadenhandbuch

## A-2 Ausgefüllte Checkliste als Beispiel

Forstkreis: Fichtental Revier: Forstwil Forstschutzgebiet<sup>4</sup>: Freizone  
 Waldeigentümer: Korporation Forstwil Dringlichkeit<sup>5</sup>: III  
 Höhe m ü.M.: 1450 Hangneigung (%): 80 Exposition: W Flächengrösse (ha): 0,6 Flächenname, Nr.\*: Abt. 12  
 Vorrangfunktion: Lawinen-Schutzwald (Kantonsstrasse) Standortstyp: Hochstauden-Fichten-Tannenwald  
 Bestockungsziel: Fi-Ta, Rottenstruktur  Naturverjüngung  Ergänzungspflanzung  Pflanzung  
 BearbeiterIn: H. Waldmann Datum: 5.2.2000

Nutzwertanalyse		nicht relevant	ausschlaggebend	spricht für						Teilräumen
				Belassen			Räumen			
Hauptkriterium	Kriterium, Ziel			stark	mittel	schwach	schwach	mittel	stark	vorteilhaft
<b>1 Naturgefahren</b>	1.1 Lawinanriss vermeiden		j						jk	
	1.2 Steinschlag und Sturzholz vermeiden									
	1.3 Rutschungen, Hangmuren und Erosion vermeiden					f	g			
	1.4 Verklausungen und Murgänge vermeiden	a				def				
<b>2 Folgeschäden</b>	2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen							d		
<b>3 Arbeitssicherheit</b>	3.1 Sicherheit während der Holzernte gewährleisten			b	d					
<b>4 Forstbetrieb</b>	4.1 Holzmarkt und Logistik berücksichtigen							c		c
	4.2 Gute Voraussetzungen für Folgebestand schaffen					c		gj		c
	4.3 Bodenfruchtbarkeit erhalten									
	4.4 Einfluss des Schalenwildes lenken	a								
<b>5 Umwelt</b>	5.1 Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung fördern					c	i			
<b>6 Gesellschaft</b>	6.1 Attraktivität für Erholung und Naturerlebnis fördern	a								
<b>7 Kostenanalyse</b>	Qualitative Beurteilung der Bilanz aus der Kostenanalyse					X				X
<b>Kostenanalyse</b> → vgl. Hilfsblatt (S.15) (+ = Nutzen, - = Kosten)				<b>Belassen</b>	<b>Räumen</b>		<b>Teilräumen</b>			
7.1 Voraussichtlicher Holzerlös				0	+28'000		+18'000			
7.2 Holzerntekosten (übliches Verfahren)				0	-36'000		-22'000			
7.3 Zusatzkosten zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit				0	-3'000		-2'000			
7.4 Erschliessung (Neubau, Ausbau, Reparaturen)				0	-4'500		-3'500			
7.5 Flankierende Massnahmen Bem.: <u>Temp. Lawinenverbau</u>				-10'000	-270'000		-270'000			
7.6 Beiträge Dritter (exkl. Wiederbewaldung) Bem.: <u>Temp. Lawinenverbau</u>				0	+270'000		+270'000			
<b>Bilanz :</b>				<b>-10'000</b>	<b>-15'500</b>		<b>-9'500</b>			

Begründung für ausschlaggebende Kriterien:

### Entscheid für Windwurffläche

- belassen  
 teilweise räumen  
 Räumen<sup>6</sup>

Bemerkungen:

Industrie- u. Brennholz bleibt in der Fläche

### Flankierende Massnahmen

- Massnahmen für Bodenschutz  
 entrinden und liegenlassen  
 Stock- u. Stammsicherungen  
 Schlagräumung / Bepflanzung  
 jagdliche Massnahmen  
 Massnahmen gegen Naturgefahren  
 Waldbrand-Prävention  
 Öffentlichkeitsarbeit

Restholz zu Haufen zusammentragen / Rottenpflanzung auf der ganzen Fläche einzäunen  
Holzrechen (ca. 500 m')

\*Beilage(n): Kartenausschnitt 1:25'000

<sup>4</sup> Gemäss regionaler, kantonaler oder gesamtschweizerischer Ausscheidung von Forstschutzgebieten (vgl. SSH Kap. 2.4.3)

<sup>5</sup> Die Dringlichkeit von Massnahmen zur Vermeidung von Buchdrucker-Folgebefall wird anhand von B-2.1, S.22 bestimmt.

<sup>6</sup> Vgl. weitere Informationen und Wegleitungen im Sturmschaden-Handbuch

### A-3 Beurteilungseinheit

Die Entscheidungshilfe bezieht sich in erster Linie auf Flächenschäden. Die Grenze zwischen Streuschäden und Flächenschaden ist in der Literatur nicht einheitlich festgelegt. Diese Unterscheidung kann je nach Anwendung verschieden sein. Für die Erhebung des Schadenausmasses nach «Vivian» und «Lothar» wurden Windwürfe, die kleiner als 0,2 ha bzw. einen Restdeckungsgrad von mehr als 20% aufwiesen, als Streuschäden interpretiert (SCHERRER 1993). In der Beurteilung des Kriteriums «2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen» werden Flächen von weniger als 0,2 ha als «Kleinflächen» oder «Streuschäden» bezeichnet (vgl. B-2.1, S. 22 und C-2.1.5a, S. 72). Denkbar sind aber auch andere Unterscheidungen, z.B. eine minimale Flächengrösse, ab welcher mit Lawinenanriss oder anderen gefährlichen Naturereignissen zu rechnen ist (vgl. z.B. C-1.1.3c, S. 40).

In der Regel gilt die einzelne Windwurffläche als Beurteilungseinheit. Bei grösseren Total-schadenflächen mit deutlich uneinheitlichen Verhältnissen ist unter Umständen eine Aufteilung in mehrere Beurteilungseinheiten angebracht, die dann getrennt beurteilt werden (vgl. Tabelle 1). Umgekehrt können aber auch benachbarte, gleichartige Windwurfflächen zu einer einzigen Beurteilungseinheit zusammengefasst werden.

Eigentumsgrenzen innerhalb einer Windwurffläche können ebenfalls zu einer Aufteilung führen. Im Kleinprivatwald ist jedoch eine gemeinsame Strategie oft praktikabler als eine Zerstückelung in viele kleine Beurteilungseinheiten.

Beim Festlegen der Beurteilungseinheit ist zu berücksichtigen, dass sich die Flächen allenfalls kurzfristig noch erweitern könnten. Einzelne Fichten und Buchen beispielsweise, die in der Windwurffläche stehen geblieben sind, sterben mit grosser Wahrscheinlichkeit innert 2–3 Jahren ab (Käferbefall, Sonnenbrand) und sollten deshalb nicht zum Restdeckungsgrad gezählt werden. Auch an den neu entstandenen, sonnenexponierten Steilrändern ist im Falle besonders empfindlicher Baumarten mit weiteren Ausfällen zu rechnen.

Tabelle 1:

Unterschiede innerhalb der Fläche, die eine Aufteilung in mehrere Behandlungseinheiten erfordern können.

<b>Unterscheidungsmerkmal</b>	<b>führt zu unterschiedlicher Beurteilung bei:</b>
<i>Geländeverhältnisse</i> z.B. Hangneigung, markante Gerinne	Lawinen, Steinschlag, Rutschungen, Murgängen, Verklausungen, Holzerntekosten
<i>Bodenverhältnisse</i> z.B. Feinanteil, geologische Schichten	Steinschlag, Rutschungen, Murgängen, Bodenschutz
<i>Geworfener Bestand</i> Z.B. Entwicklungsstufen, Nadelholzanteil, Holzqualität	Borkenkäfer, Holzerntekosten, Holzertrag
<i>Förderung der Biodiversität durch unterschiedliche Behandlung auf gleicher Fläche</i>	Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung

## A-4 Handlungsoptionen

Grundsätzlich stehen drei Handlungsoptionen zur Diskussion. Entweder wird das Sturmholz so, wie es liegt, belassen, oder es wird teilweise oder ganz geräumt.

### A-4.1 Belassen

Auf «belassenen» Flächen wird das Holz nicht genutzt und die Strukturen des über- und nebeneinander liegenden Stämme bleiben erhalten. Aus Sicherheitsgründen wird höchstens punktuell und ohne erheblichen finanziellen Aufwand eingegriffen. «Punktuelle» Massnahmen dienen dem Freilegen bzw. Sichern von Wegen, Strassen, Bahnlinien oder Gebäuden. Dazu gehören Entfernen, Sichern, Verschieben, geordnetes Deponieren, Entrinden oder Zerkleinern *einzelner* kritischer Stämme.

### A-4.2 Teilräumen

Ein Teil des Sturmholzes wird geräumt. Die Bezeichnung «Teilräumung» bezieht sich entweder

- a) auf einen Teil des Sturmholz, indem auf einem grossen Teil der Windwurffläche nur gewisse Sortimente geräumt bzw. genutzt werden, oder
- b) auf einen Teil der Fläche, indem gewisse Flächenteile gänzlich belassen werden, während auf dem Rest der Fläche das Sturmholz geräumt wird.

Bei der Teilräumung gehen wesentliche Eigenschaften belassener Flächen verloren. Die zurückbleibenden Stämme liegen in der Regel kaum mehr übereinander und die Fläche ist leichter zugänglich.

Es gibt verschiedene Überlegungen, die zu einer Teilräumungsentscheid führen können:

- *Wirtschaftlichkeit*: Nur das Holz wird genutzt, das auf dem Markt gut absetzbar ist. Die minderwertigen Sortimente werden auf der Fläche zurückgelassen. Eine solche Filetstück-Nutzung ist am ehesten mit dem Harvester realisierbar. Die zurückgelassenen Stämme erschweren die Beweglichkeit während der Holzernte umso mehr, je tiefer der Mechanisierungsgrad ist.
- *Minimieren von Bodenschäden*: Um möglichst grosse Rückegassenabstände einhalten zu können, werden Bäume ausserhalb der Kranreichweite liegengelassen.
- *Arbeitssicherheit*: Es kann vorkommen, dass schwer zugängliches Sturmholz, beispielsweise in steilen Hanglagen nicht geräumt, weil dort die Arbeitssicherheit nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand gewährleistet werden könnte.

### A-4.3 Räumen

Vollständige Entnahme des liegenden Holzes. Eine Räumung hat eine deutliche Änderung des Windwurfaspektes zur Folge. Die charakteristischen Eigenschaften belassener Flächen (Durcheinander, schwere Begehbarkeit, Bodenbeschattung, vielfältige Kleinstrukturen, Totholz, Moderholz usw.) gehen dadurch verloren. Auch nach einer vollständigen Räumung bleibt in der Regel viel Holz auf der Fläche zurück. Um die Zugänglichkeit zu erleichtern wird das zurückbleibende Holz (kurze Erdstücke, Zopfholz, Äste) oft kurz geschnitten oder zu Haufen oder Wällen zusammengetragen.

## A-5 Anleitung für die Interessenabwägung mit Hilfe der Checkliste

### Vorgehen:

1. **Beurteilungseinheiten festlegen** Die Interessenabwägung anhand der Checkliste bezieht sich auf eine bestimmte Beurteilungseinheit. In der Regel gilt eine zusammenhängende Windwurffläche als eine Beurteilungseinheit, allenfalls ist es aber angebracht, andere Aufteilungen vorzunehmen (vgl. Kapitel A-3, S. 10.)
2. **Interessenabwägung mit Hilfe der Checkliste** Das Checklistenformular ist das Arbeitsinstrument, nach welchem die Interessenabwägung Punkt für Punkt durchgeführt wird:
- a) Kopfdaten eintragen
- Im Formularkopf oberhalb der Checkliste (vgl. S. 8) werden die wichtigsten technischen Daten über die zu beurteilende Fläche festgehalten.
  - Hier wird auch das **übergeordnete Konzept** zur Vermeidung von Buchdrucker-Folgeschäden berücksichtigt. Unter «**Forstschutzgebiet**» wird die Kategorie gemäss SSH Kapitel 2.4.3 eingetragen, der das Gebiet zugeordnet worden ist. Was im Feld «**Dringlichkeit**» einzutragen ist, ergibt sich aus der Beurteilung gemäss Kapitel B-2.1 (S. 22) bzw. C-2.1 (S. 66).
- b) Ausfüllen der Nutzwertanalyse
- Anhand der Nutzwertanalyse werden für jedes Kriterium die Auswirkungen der Handlungsoptionen Sturmholz «Belassen», «Räumen» und «Teilräumen» qualitativ beurteilt.

### *Auswahl der zutreffenden Argumente*

- Zu jedem Kriterium besteht im Teil B eine Tabelle mit den möglichen Argumenten. Die Argumente beschreiben konkrete Situationen, die für die zu beurteilende Windwurffläche zutreffen könnten. Häufig treffen innerhalb eines Kriteriums auch mehrere Argumente gleichzeitig zu.
- Die Querverweise hinter den Argumenten führen zu den entsprechenden Kapiteln in den Hintergrundinformationen (Teil C). Sie dienen der richtigen Interpretation der eher kurz gefassten Aussagen der einzelnen Argumente.

### *Übertragen der passenden Argumente in die Checkliste, ihrem Gewicht entsprechend*

- In der rechten Spalte der Argumenten-Tabelle ist angegeben, ob die ausgewählten Argumente für «**Räumen**» oder für «**Belassen**» sprechen oder ob daraus folgt, dass das Kriterium im zu beurteilenden Fall «**nicht relevant**» ist. Allenfalls ist auch die Option «**Teilräumen**» vorteilhaft.
- Jedem Argument ist in der Argumenten-Tabelle ein Kleinbuchstabe zugeordnet (vgl. Abbildung 1). Diese werden in der Checkliste auf der Zeile des jeweiligen Kriteriums ihrem Gewicht (s. nächster Punkt) entsprechend eingetragen (vgl. Abbildung 2, S. 14). Falls das Argument auch für eine «Teilräumung» sprechen kann, wird der Kleinbuchstabe des Arguments auch in der Spalte «Teilräumen» eingetragen.
- Die Argumente mit der Folgerung «Kriterium nicht relevant» befinden sich in den Argumenten-Listen zuoberst. Trifft bei der konkreten Beurteilung ein solches Argument zu, so erübrigt sich für das betreffende Kriterium die Prüfung der weiteren Argumente, welche für Belassen bzw. Räumen sprechen. In diesem Fall kann in der Checklisten-

Spalte «nicht relevant» Der entsprechende Argumenten-Buchstabe oder auch einfach ein «X» eingetragen werden.

- Die Argumente für «Belassen» bzw. «Räumen» können «**schwach**», «**mittel**» oder «**stark**» für die angegebene Option sprechen. Die Gewichtung liegt im Ermessen des Entscheidungsträgers und soll den konkreten Verhältnissen entsprechen. Es ist wichtig, dass diese Gewichtung im engen Rahmen des jeweiligen Kriteriums geschieht, d.h. ohne Rücksicht auf die anderen Kriterien. Hierzu ist es hilfreich, sich die möglichen Extremsituationen vorzustellen, um dann das Gewicht der Argumente bezüglich der zu beurteilenden Windwurffläche abzuschätzen. So wird beispielsweise bei den Naturgefahren die Gewichtung eines bestimmten Arguments von der Höhe des Schadenpotentials und des Gefahrenpotentials bestimmt.

c) Abschätzen der zu erwartenden Kosten und Erlöse anhand der Kostenanalyse

- Für die Kostenanalyse steht ein Beiblatt zur Verfügung, in welchem die Teilkosten einzeln abgeschätzt werden können (vgl. A-6, S. 15). Die Ergebnisse werden danach in die Tabelle der Kostenanalyse des Checklisten-Formulars übertragen. Diese Kosten (negative Zahlen) und Erlöse (positive Zahlen) werden für alle drei Optionen – «Belassen», «Räumen» und «Teilräumen» geschätzt.
- In der untersten Zeile «Bilanz» wird die Summe der geschätzten Kosten und Nutzen eingetragen.

d) Interpretieren der Nutzwertanalyse

- Die Gesamtheit der in der Checkliste eingetragenen Kleinbuchstaben ergibt ein «Punkt-diagramm», welches mehr oder weniger deutlich auf die Seite einer der beiden Optionen tendiert. Zusätzlich ist aus der rechten Spalte «Teilräumen» zu erkennen, ob allenfalls auch eine Teilräumung in Frage kommt.
- Manchmal wird die bildliche Darstellung der speziellen Situation einer Windwurffläche nicht gerecht. Es kann sein, dass aus der Sicht des Waldeigentümers oder der Öffentlichkeit ein einziges Argument von solch überwiegendem Interesse ist, dass das betreffende Kriterium – trotz aller anderen Ansprüche – für die Wahl einer bestimmten Option ausschlaggebend ist. In diesem Fall wird das betreffende Kriterium durch Eintragen des Argumenten-Buchstabens in der Spalte «**ausschlaggebend**» markiert (vgl. Abbildung 2, S. 14) und die Gründe stichwortartig unterhalb der Checkliste aufgeführt. Welche Kriterien allenfalls als «ausschlaggebend» beurteilt werden, dürfte im Wesentlichen von der Vorrangfunktion des betroffenen Waldes abhängen.

e) Interpretieren der Kostenanalyse

- Die Kostenbilanz wird in Relation zur Schadengrösse und dem volkswirtschaftlichen bzw. betrieblichen Nutzen qualitativ beurteilt. Diese Beurteilung fliesst in die Nutzwertanalyse unter «7 Kostenanalyse» ein. Relativ hohe Kosten dürften eher stark für «Belassen» sprechen, ein Gewinn dagegen mehr oder weniger stark für «Räumen». Auch dieses Kriterium kann zum «ausschlaggebenden Kriterium» werden.

### 3. Entscheid

Der Entscheid ergibt sich entweder aus der Synthese aller Kriterien oder aus den als «ausschlaggebend» bezeichneten Kriterien. Im unteren Teil des Checklisten-Formulars kann der Entscheid schriftlich festgehalten und umschrieben werden.

4. Überlegungen bezüglich notwendiger flankierender Massnahmen

Aus der Nutzwertanalyse wird auch ersichtlich bei welchen Kriterien der Entscheid für Räumen oder Belassen nachteilige Folgen haben könnte. Mit entsprechenden flankierenden Massnahmen können allenfalls negative Auswirkungen vermieden oder abgemildert werden. Solche Massnahmen können im untersten Teil des Formulars notiert werden.

Argumente zu Steinschlag und Sturzholz	Folgerung aus Argumenten
<p>a) Es ist kein erhebliches Schadenpotential vorhanden, d.h. der Gefahrenbereich umfasst keine Menschenleben und Objekte der Kategorien A und B. → C-1.2.2, S.48; Tabelle 2, S.36</p> <p>b) Es ist kein Gefahrenpotential vorhanden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Steinschlagquellen.</li> <li>Hangneigung &lt; 30° (58%), d.h. Steinschlag o. Hinunterrollen von Wurzelteilern ist nicht möglich. → C-1.2.3, S.50</li> <li>Windwurfhöhe befindet sich weder im Transit- noch Auslaufgebiet von Steinschlag. → C-1.2.2a), S.49; C-1.2.2b), S.49</li> </ul>	Kriterium nicht relevant
<p>c) Die Windwurfhöhe befindet sich bezüglich Steinschlags im Quell-, Transit- oder Auslaufgebiet. Ein wesentlicher Teil des Steinschlags wird durch die liegenden Stämme verhindert oder gestoppt. → C-1.2.5, S.51</p> <p>d) Das Sturmholz ist wirksam gegen Steinschlag, weil die Stämme überwiegend schräg zur Falllinie liegen. → C-1.2.5, S.51</p> <p>e) Wurzelteiler könnten nach der Holzerte herunterrollen, weil sie zu nah am Stock abgetrennt wurden. → C-1.2.5, S.51</p>	Belassen
f) Belassenes Holz könnte herunterstürzen und Schaden anrichten, weil die Fläche steiler als ca. 45° (100%) ist. → C-1.2.3, S.50; C-1.2.5, S.51	Räumen evtl. Teilräumen

Der Kleinbuchstabe vertritt in der Checkliste das betreffende Argument.

Aus jedem Argument ergibt sich eine Folgerung: «Kriterium nicht relevant», Sturmholz «belassen», «räumen» bzw. «teilräumen».

Abbildung 1: Beispiel einer Argumentent-Tabelle aus Teil B.

Das Argument «j» ist in diesem Beispiel so wichtig, dass das Kriterium 1.1 als «aus-schlaggebend» erachtet wird. Deshalb wird der Entscheid sehr wahrscheinlich für das Räumen ausfallen.

Nutzwertanalyse		aus-schlaggebend	spricht für				
Hauptkriterium	Kriterium, Ziel		Belassen	Räumen		Teil-räumen	
			stark	mittel	schwach	stark	vorteilhaft
1 Naturgefahren	1.1 Lawinanriss vermeiden	j				jk	
	1.2 Steinschlag und Sturzholz vermeiden				f		
	1.3 Rutschungen, Hangmuren und Erosion vermeiden				def		
	1.4 Verdräusungen und Murgänge vermeiden	a					
2 Folgeschäden	2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen					a	
3 Arbeitssicherheit	3.1 Sicherheit während der Holzerte gewährleisten		b	d			
4 Forstbetrieb	4.1 Holzmarkt und Logistik berücksichtigen					c	c
	4.2 Gute Voraussetzungen für Folgebestand schaffen					g	c
	4.3 Bodenfruchtbarkeit erhalten						
	4.4 Einfluss des Schalenwildes lenken	a					
5 Umwelt	5.1 Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung fördern				e	l	
6 Gesellschaft	6.1 Attraktivität für Erholung und Naturerlebnis fördern	a					
7 Kostenanalyse	Qualitative Beurteilung der Bilanz aus der Kostenanalyse				X		X
<b>Kostenanalyse – vgl. Hilfsblatt (S.17) (+ = Nutzen, - = Kosten)</b>			<b>Belassen</b>	<b>Räumen</b>	<b>Teil-räumen</b>		
7.1	Voraussichtlicher Holzertlös		0	+28'000	+18'000		
7.2	Holzertekosten (übliches Verfahren)		0	-36'000	-22'000		
7.3	Zusatzkosten zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit		0	-3'000	-2'000		
7.4	Erschliessung (Neubau, Ausbau, Reparaturen)		0	-4'500	-3'500		
7.5	Flankierende Massnahmen Bem.: Temp. Lawinenverbau		-10'000	-270'000	-270'000		
7.6	Beträge Dritter (exkl. Wiederbewaldung) Bem.: Temp. Lawinenverbau		0	+270'000	+270'000		
<b>Bilanz:</b>			<b>-10'000</b>	<b>-15'500</b>	<b>-9'500</b>		

Entsprechend der Folgerung in der Argumenten-Tabelle des Kriteriums 1.2 spricht das im Beispiel zutreffende Argument «g» für «Räumen». Der Beurteilende hat hier das Argument als «schwach» gewichtet.

Abbildung 2: Beispiel für die Beurteilung einer Windwurfhöhe anhand der Checkliste. Die Auswahl der Argumente und deren Gewichtung sind von den örtlichen Verhältnissen der jeweiligen Windwurfhöhe abhängig.

## A-6 Hilfsblatt zur Kostenanalyse

### 7.1 Voraussichtlicher Holzerlös (gemäss Offerte von Unternehmer oder Schätzung ↪ B-7.1, S.30)

		Räumen		Teilräumen	
Stammholz	Nadelholz:	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.		
	Laubholz:	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.		
Industrieholz	Nadelholz:	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.		
	Laubholz:	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.		
Energieholz	Nadelholz:	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.		
	Laubholz:	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.		
_____ :		_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = + _____ Fr.		
<b>Voraussichtlicher Holzerlös (Total):</b>		<b>+ Fr.</b>	<b>+ Fr.</b>		

Checkliste 7.1
Checkliste 7.1
Checkliste 7.1

### 7.2 Holzerntekosten (gemäss Offerte von Unternehmer oder Schätzung ↪ B-7.2, S.30)

		Räumen		Teilräumen	
<input type="checkbox"/> Abstocken / <input type="checkbox"/> Entzerren / <input type="checkbox"/> Aufarbeiten / <input type="checkbox"/> Vorrücken:		_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.		
<input type="checkbox"/> Rücken / <input type="checkbox"/> Aufarbeiten:		_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.		
Mehrkosten für Bodenschutz: _____		_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.		
Transport bis <input type="checkbox"/> Übernahmeort oder bis <input type="checkbox"/> Holzlager:		_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.		
Lagerung: ( <input type="checkbox"/> Waldstrasse / <input type="checkbox"/> Nasslager <input type="checkbox"/> _____ )		_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.		
<b>Holzerntekosten (Total):</b>		<b>- Fr.</b>	<b>- Fr.</b>		

Checkliste 7.2
Checkliste 7.2
Checkliste 7.2

### 7.3 Zusatzkosten zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit (↪ B-7.3, S.33)

		Räumen		Teilräumen	
Aufpreis für sichereres Holzernteverfahren:		_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m <sup>3</sup> à _____ Fr. = - _____ Fr.		
Instruktionen / Kurse (z.B. Kurs f. Sturmholzerei): _____		_____ Pers. à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ Pers. à _____ Fr. = - _____ Fr.		
Schutzvorkehrungen: _____		_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.		
Notrufsystem: _____		_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.		
Kontrollen: _____		_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.		
<b>Zusatzkosten Arbeitssicherheit (Total):</b>		<b>- Fr.</b>	<b>- Fr.</b>		

Checkliste 7.3
Checkliste 7.3
Checkliste 7.3

## 7.4 Erschliessung (↔ B-7.4, S.33)

	Belassen	Räumen	Teilräumen
<input type="checkbox"/> Neubau / <input type="checkbox"/> Ausbau:	<input type="checkbox"/> Waldstrasse; <input type="checkbox"/> Maschinenweg; <input type="checkbox"/> Transportpiste	_____ m' (m³) à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m' (m³) à _____ Fr. = - _____ Fr.
Reparatur:	<input type="checkbox"/> Waldstrasse; <input type="checkbox"/> Maschinenweg; <input type="checkbox"/> Transportpiste	_____ m' (m³) à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m' (m³) à _____ Fr. = - _____ Fr.
<b>Erschliessungskosten (Total):</b>		- _____ Fr.	- _____ Fr.
	Checkliste 7.4	Checkliste 7.4	Checkliste 7.4

## 7.5 Flankierende Massnahmen (↔ B-7.5, S.34)

	Belassen	Räumen	Teilräumen
<b>Massnahmen für Bodenschutz:</b>	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.
<b>Entrinden und liegenlassen:</b>	_____ m³ à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m³ à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ m³ à _____ Fr. = - _____ Fr.
<b>Stock- u. Stammsicherungen:</b>	_____ Stück à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ Stück à _____ Fr. = - _____ Fr.	_____ Stück à _____ Fr. = - _____ Fr.
<b>Massnahmen gegen Naturgefahren:</b>	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.
<b>Öffentlichkeitsarbeit, Information:</b>	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.
<sup>1</sup> _____ :	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.
_____ :	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.	_____ - _____ Fr.
<b>Flankierende Massnahmen (Total):</b>	_____ Fr.	_____ Fr.	_____ Fr.
<sup>1</sup> weitere flankierende Massnahmen, z.B. Waldbrandprävention, Schlagräumung, jagdliche Massnahmen, etc.	Checkliste 7.5	Checkliste 7.5	Checkliste 7.5

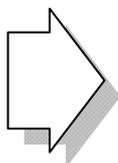
## 7.6 Beiträge Dritter (nur für Massnahmen auf der Fläche ↔ B-7.6, S.35)

	Belassen	Räumen	Teilräumen
<b>Subventionen bzw. Abgeltungen für</b>			
<b>Holzernte:</b>	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
<b>Holzlagerung:</b>	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
<b>Entrinden und Liegenlassen:</b>	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
<b>Massnahmen gegen Naturgefahren:</b>	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
<b>Abgeltung für Waldreservat:</b>	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
_____ :	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
_____ :	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
<b>Beiträge Dritter (Total):</b>	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.	_____ + _____ Fr.
	Checkliste 7.6	Checkliste 7.6	Checkliste 7.6

# B Argumente zum Entscheid

Teil B ist eine Sammlung möglicher Argumente zu den Kriterien, die anhand der Checkliste beurteilt werden müssen. Je nach Situation der zu beurteilenden Windwurffläche können die Argumente in unterschiedlicher Zusammensetzung für das Belassen oder für das Räumen des Sturmholzes sprechen. Jedes Argument ist mit einem Kleinbuchstaben identifiziert, welcher für den Eintrag in die Checkliste bestimmt ist.

## B-1 Naturgefahren



Die Argumente zu den Naturgefahren-Kriterien (B-1.1 bis B-1.4) gelten unter der Voraussetzung, dass **sowohl ein Gefahren-<sup>7</sup> als auch ein Schadenpotential<sup>8</sup>** vorhanden ist. Das mögliche Schadenpotential ist in drei Kategorien aufgeteilt (vgl. Tabelle 2, S. 38). Der Entscheid über Belassen und Räumen des Sturmholzes soll vor allem Menschenleben und Sachwerte berücksichtigen, die gemäss Kreisschreiben Nr. 8 auch in Notstandssituationen Bedeutung haben. Dies betrifft die Kategorien A und B.

<sup>7</sup> Definition für Gefahrenpotential: Summe der gefährdenden und schädigenden Faktoren im betrachteten Gebiet» (LATELTIN 1997)

<sup>8</sup> Definition für Schadenpotential: Menge der potentiell durch Naturereignisse beeinträchtigten Objekte in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung (HEINIMANN *et al.* 1998).

## B-1.1 Lawinenanriss vermeiden

**Ziel:**  
Vermeidung von Schäden an Menschen und Sachwerten aufgrund von Lawinenanriss in der Windwurffläche

Argumente zu Lawinenanriss (vgl. auch den Entscheidungsbaum für die Beurteilung des Gefahrenpotentials: Abbildung 6, S. 42)	Folgerung aus Argumenten
a) Es ist <b>kein erhebliches Schadenpotential</b> , d.h. der Gefahrenbereich umfasst <b>keine Menschenleben und Objekte der Kategorien A und B</b> . → C-1.1.2, S. 39 und Tabelle 2, S. 38	Kriterium nicht relevant
b) Es ist <b>kein Gefahrenpotential</b> vorhanden, d.h. die <b>Windwurffläche liegt unterhalb 800–1200* m ü.M.</b> (je nach Klimaregion <sup>9</sup> ). → C-1.1.3a), S. 40	
c) Es ist <b>kein Gefahrenpotential</b> vorhanden, d.h. die Fläche ist <b>weniger steil als 30° (58%)</b> , unterhalb 1200 m ü.M. weniger steil als <b>35° (70%)</b> . → C-1.1.3b), S. 40	
d) Es ist <b>kein Gefahrenpotential</b> vorhanden, d.h. <b>die folgenden drei Bedingungen sind kumulativ erfüllt</b> (mögliche Folgeschäden durch Buchdrucker berücksichtigen) → C-1.1.3c), S. 40: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Deckungsgrad &gt; 50%</b><sup>10</sup> auf der Windwurffläche und Umgebung (Betrachtungseinheit: mind. 1 ha; betrifft den Nachbarbestand inkl. Lücken).</li> <li>• <b>Lückenzlänge</b><sup>10</sup> in Falllinie <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>kleiner 50 m</i> bei Hangneigungen von 30–40° (58–84%) oder</li> <li>• <i>kleiner 40 m</i> bei Hangneigungen von 40–45° (84–100%) oder</li> <li>• <i>kleiner 30 m</i> bei Hangneigungen von &gt; 45° (&gt;100%).</li> </ul> </li> <li>• <b>Lückenbreite</b><sup>10</sup> quer zur Falllinie <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>kleiner 15 m</i> (in wintergrünem Wald) oder</li> <li>• <i>kleiner 5 m</i> (in winterkahlem Wald).</li> </ul> </li> </ul>	
e) Die <b>Hangneigungen sind über 30° (58%)</b> (über 35° (70%) unterhalb 1200 m ü.M.). Bei Verzicht auf Räumung sind (auch längerfristig) keine gefährlichen Lawinen zu erwarten, weil das liegende Holz dies verhindert. → C-1.1.4, S. 42; C-1.1.5b), S. 44ff	Belassen
f) Die <b>Stämme sind ein guter Schutz gegen Lawinenanriss</b> , weil sie gut verankert und mehrheitlich schräg zur Falllinie liegen. Dadurch vermögen sie kleinere Schneebewegungen auch rasch wieder zu stoppen. → C-1.1.5b), S. 44ff	
g) Die <b>etablierte Vorverjüngung ist genügend</b> bezüglich Anzahl und Verteilung. Bis das Holz gegenüber Lawinenanriss seine Wirkung verliert, kann der Folgebestand diese Schutz Aufgabe wieder übernehmen. → C-1.1.7, S. 48	
h) Die <b>Kosten für Räumen und Verbau sind hoch</b> und stehen in einem ungünstigen Verhältnis zum Sicherheitsgewinn gegenüber einer belassenen Windwurffläche.	
i) <b>Schneehöhen mit Wiederkehrdauer von 30 Jahren können aber die Wirkhöhe um mehr als 1 m übertreffen</b> . Deshalb ist die Lawinengefahr und das Risiko gross, auch wenn das Holz aufgrund der Hangneigungen, 35–45° (70–100%), stabil liegt. → C-1.1.4, S. 42; b), S. 44ff	Räumen und Verbau
j) Die <b>Hangneigungen in der Windwurffläche sind über ca. 45° (100%)</b> . Es besteht daher die Gefahr, dass durch die Wirkung der zusätzlichen Schneelast die ganze Schicht mitsamt dem belassenen Holz abgleitet. → C-1.1.5b), S. 44ff und Tabelle 4, S. 46	

<sup>9</sup> In speziellen Fällen kann diese Grenze auch tiefer liegen.

<sup>10</sup> Deckungsgrad, Lückenzlänge und -breite könnten sich vor allem bezüglich der auf der Fläche und am Flächensaum stehengebliebenen Fichten und Buchen in den Folgejahren noch verändern (Käferbefall, Sonnenbrand). Dies ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen, insb. wenn die absterbenden Bäume entfernt werden.

## B-1.2 Steinschlag und Sturzholz vermeiden

**Ziel:**  
Vermeidung von Schäden an Menschen und Sachwerten aufgrund von Steinschlag und Sturzholz

Argumente zu Steinschlag und Sturzholz	Folgerung aus Argumenten
<p>a) Es ist <b>kein erhebliches Schadenpotential</b> vorhanden, d.h. der Gefahrenbereich umfasst keine Menschenleben und Objekte der Kategorien A und B.  ↳ C-1.2.2, S. 51; Tabelle 2, S. 38</p>	Kriterium nicht relevant
<p>b) Es ist <b>kein Gefahrenpotential</b> vorhanden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Steinschlagquellen.</li> <li>• Hangneigung &lt; 30° (58%), d.h. Steinschlag o. Hinunterrollen von Wurzeltellern ist nicht möglich.  ↳ C-1.2.3, S. 52</li> <li>• Windwurflläche befindet sich weder im Transit- noch Auslaufgebiet von Steinschlag.  ↳ C-1.2.2a), S. 51; C-1.2.2b), S. 51</li> </ul>	
<p>c) Die Windwurflläche befindet sich bezüglich Steinschlags <b>im Quell-, Transit- oder Auslaufgebiet</b>. Ein wesentlicher Teil des Steinschlags wird durch die liegenden Stämme verhindert oder gestoppt.  ↳ C-1.2.5, S. 53</p>	Belassen
<p>d) <b>Das Sturmholz ist wirksam</b> gegen Steinschlag, weil die Stämme überwiegend schräg zur Falllinie liegen.  ↳ C-1.2.5, S. 53</p>	
<p>e) Wurzelteller könnten nach der Holzernte herunterrollen, weil sie zu nah am Stock abgetrennt wurden.  ↳ C-1.2.5, S. 53</p>	
<p>f) Belassenes Holz könnte herunterstürzen und Schaden anrichten, weil die Fläche steiler als ca. 45° (100%) ist.  ↳ C-1.2.3, S. 52; C-1.2.5, S. 53</p>	Räumen evtl. Teilräumen

### B-1.3 Rutschungen, Hangmuren und Erosion vermeiden

**Ziel:**  
Vermeidung von Schäden an Menschen und Sachwerten aufgrund von Rutschungen, Hangmuren und Erosion

Argumente zu Rutschungen, Hangmuren und Erosion	Folgerung aus Argumenten
<p><b>a) Es ist kein erhebliches Schadenpotential vorhanden</b>, d.h. der Gefahrenbereich umfasst keine Menschenleben und Objekte der Kategorien A und B.  ↳ C-1.3.2, S. 56; Tabelle 2, S. 38</p>	Kriterium nicht relevant
<p><b>b) Es ist kein Gefahrenpotential vorhanden.</b>  ↳ C-1.3.3b), S. 57</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Hinweis in Gefahrenkarte</li> <li>• Hangneigung (Rutschungen sind unterhalb 20° selten, zw. 30–45° häufig)</li> <li>• Keine Anzeichen von früheren Rutschungen</li> <li>• Wenig gefährdete Böden (besonders gefährdet sind wenig durchlässige Lockermaterialien mit hohem Feinanteil, z.B. feinkörniger Gehängeschutt bzw. Gehängelehm, tonige Moränen).</li> </ul>	
<p><b>c) Für die Holzernte wäre im konkreten Fall der Bau einer Strasse oder eines Maschinenweges nötig</b>, was aufgrund der Bodeneigenschaften oder der Hydrologie problematisch wäre.  ↳ C-1.3.6a), S. 62</p>	Belassen
<p><b>d) Das liegende Sturmholz kann wesentlich zum Abbremsen von Rutschmassen und Hangmuren beitragen</b> und die Auslaufstrecke verkürzen. (vgl. jedoch Argument h).  ↳ C-1.3.6b), S. 63</p>	
<p><b>e) Eine Räumung würde die Gefahr von Oberflächenerosion</b> – in geringerer Masse auch von Rutschungen und Hangmuren – <b>erhöhen</b>, weil dadurch unter den gegebenen Voraussetzungen zusätzliche Bodenwunden (z.B. Bodenzug, Seilkran insb. bei Falllinien-paralleler Seillinie) oder Bodenverdichtung geschaffen würden.  ↳ C-1.3.6a), S. 62</p>	Belassen evtl. Teilräumen
<p><b>f) Das liegende Holz trägt zur Verminderung von Oberflächenerosion</b> bei, z.B. durch Abbremsen des oberflächlichen Abflusses oder durch partielles Abmildern der Aufprallenergie des Niederschlags.  ↳ C-1.3.6b), S. 63</p>	
<p><b>g) In nach oben geöffneten Wurzeltellermulden kommt es zu konzentrierter Versickerung</b> des Oberflächenwassers. Durch aktives Zurückklappen der Wurzelteller während der Räumung könnte die Gefahr oberflächennaher Rutschungen verringert werden.  ↳ C-1.3.5, S. 60</p>	Räumen evtl. Teilräumen
<p><b>h) Mit Holz vermischte Rutschungen bzw. Hangmuren</b> haben eine erhöhte Schadwirkung und sind schwierig zu räumen (vgl. jedoch Argument d).  ↳ C-1.3.6a), S. 62; C-1.3.6b), S. 63</p>	

## B-1.4 Verklausungen und Murgänge vermeiden

**Ziel:**  
Vermeidung von Schäden an Menschen und Sachwerten aufgrund von Verklausungen und Murgängen in Gerinnen

Argumente zu Verklausung und Murgang	Folgerung aus Argumenten
<p>a) Es ist <b>kein erhebliches Schadenpotential vorhanden</b>, d.h. der Gefahrenbereich umfasst keine Menschenleben und Objekte der Kategorien A und B.  ↳ C-1.4.2, S. 64; Tabelle 2, S. 38</p>	
<p>b) Es ist <b>kein Gefahrenpotential vorhanden</b>; es besteht keine Gefahr, dass Sturmholz ins Gerinne gelangt und dort Verklausungen verursacht.  ↳ C-1.4.3; S. 64</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hangneigung ist &lt; 9–14°.</li> <li>• Kein liegendes Holz in direktem Einflussbereich der Gerinne.</li> </ul>	Kriterium nicht relevant
<p>c) Die Wahrscheinlichkeit ist gross, dass <b>liegendes Holz ins Gerinne gelangt</b> und dort an Ort und Stelle oder weiter talwärts <b>Verklausungen</b> bzw. <b>Murgänge</b> mit erheblicher Schädigung verursacht.  ↳ C-1.4.3; S. 64</p>	Räumen

## B-2 Folgeschäden

### B-2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen

**Ziel:**  
**Minimieren des Folgebefalls in den umgebenden Schutz- und Wirtschaftswäldern**

Die Notwendigkeit von Forstschutz-Massnahmen auf der zu beurteilenden Windwurffläche richtet sich	Entscheidungsebene:
1. nach der Kategorie des Forstschutzgebietes, in welchem sich die zu beurteilende Windwurffläche befindet.	Bund, Kanton, Region (vgl. SSH, Kapitel 2.4.3.)
2. nach der Dringlichkeit und dem Gewicht von Forstschutz-Massnahmen auf der zu beurteilenden Fläche für die Vermeidung von Folgeschäden im Gebiet.	Waldbesitzer, Forstdienst (Argumente und Checkliste der Entscheidungshilfe)

#### Argumente zu Borkenkäferbefall

(als Alternative zu untenstehender Liste lassen sich die zutreffenden Argumente auch anhand des Entscheidungsbaumes auf S. 74 herleiten (Abbildung 16).



- Die fachliche Beurteilung mit Hilfe der Entscheidungshilfe ist unabhängig von der übergeordneten Ausscheidung von Forstschutzgebieten gemäss SSH Kapitel 2.4.3.
- Die Dringlichkeit wird in den Formularkopf der Checkliste übertragen.
- Dringlichkeit ≠ Gewicht (schwach, mittel, stark für Räumen). Bei den Dringlichkeiten 1–3 steht der zeitliche Aspekt im Vordergrund, bei der Gewichtung die Effizienz.

#### Beispiele:

- Weist ein Gebiet abgesehen von einer einzigen, aber grossen und fichtenreichen Windwurffläche (> 2 ha) keine weiteren Sturmschäden auf, so kann die Räumung dieser einen Fläche für die Prävention von Folgeschäden trotz Dringlichkeit 3 sehr effizient sein. Obwohl in diesem Fall die Dringlichkeit nicht hoch ist, dürfte die Gewichtung «spricht stark für Räumen» angebracht sein.
- Bei zwei vergleichbaren Windwurfflächen im selben Gebiet kann die Räumung trotz gleicher Dringlichkeit unterschiedlich gewichtet werden, wenn z.B. eine der beiden Windwurfflächen deutlich näher beim gefährdeten Schutzwald liegt.

	Folgerung aus Argumenten
<b>a) Eine Räumung aus Forstschutz-Gründen drängt sich nicht auf,</b> weil mindestens eines der folgenden vier Bedingungen zutrifft: <ul style="list-style-type: none"> <li>• weniger als 80% des Fichten-Sturmholzes können im Forstschutzgebiet (inkl. Streuschäden) rechtzeitig geräumt bzw. entrindet werden. ↪ C-2.1.5, S. 72</li> <li>• der Fichtenanteil (BHD &gt;30 cm) in angrenzenden Beständen (Umkreis ca. 1000 m) ist kleiner als 20%. ↪ C-2.1.5b), S. 73</li> <li>• Die Anzahl der in angrenzenden Beständen (Umkreis ca. 1000 m) noch zu schützenden Fichten ist bedeutend kleiner als die zu räumenden Streu- und Flächenschäden. ↪ C-2.1.3b), S. 69</li> <li>• der Fichtenanteil (BHD &gt;30 cm) in der Windwurffläche ist kleiner als 20%. ↪ C-2.1.3a), S. 68</li> </ul>	Kriterium nicht relevant
<b>b) Die Windwurffläche ist klein (&lt; 0,1 ha) oder Streuschaden.</b> ↪ C-2.1.3a), S. 68; C-2.1.5a), S. 72	Räumen (o. entrinden und liegenlassen) <b>Dringlichkeit 1, d.h. sofort.</b>
<b>c) Die Windwurffläche ist mittelgross (0,1–2 ha).</b> ↪ C-2.1.3a), S. 68; C-2.1.5a), S. 72	Räumen (o. entrinden und liegenlassen) <b>Dringlichkeit 2, d.h. baldmöglichst.</b>
<b>d) Die Windwurffläche ist gross (&gt; 2 ha);</b> die Sturmholz-Aufarbeitung auf dieser Fläche kann zugunsten kleinerer Flächen zurückgestellt werden (vgl. Dringlichkeiten 1 und 2) und evtl. ist das Sturmholz auf dieser Windwurffläche bis im Herbst nicht mehr bruttauglich. ↪ C-2.1.3a), S. 68; C-2.1.5a), S. 72	Räumen (o. entrinden und liegenlassen) <b>Dringlichkeit 3, d.h. bis folgendes Frühjahr, sofern dann noch nötig.</b>
<b>e) Gefahr von Nadelholzbefall durch andere Borkenkäferarten in Nachbarbeständen (selten von Bedeutung).</b> ↪ C-2.1.6, S. 74	Räumen (o. entrinden und liegenlassen)

## B-3 Arbeitssicherheit

### B-3.1 Sicherheit während der Sturmholzaufarbeitung gewährleisten

**Ziel:**  
**Vermeidung von Unfällen**  
**während der**  
**Sturmholzaufarbeitung**

Nebst der qualitativen Beurteilung der Arbeitssicherheit werden auch die Zusatzkosten zur Gewährleistung der Sicherheit während der Holzerntearbeiten in der Kostenanalyse der Checkliste abgeschätzt (→ B-7.3, S. 33).

Sicherheitsüberlegungen aufgrund von Naturgefahren sind in der Checkliste in den Kriterien 1.1–1.4 sowie in den Kapiteln B-1 und C-1 enthalten.

Argumente zu Sicherheit während der Sturmholzaufarbeitung	Folgerung aus Argumenten
<b>a) Vorwiegend maschinelle Sturmholzernte</b> (mit Prozessoren) vorgesehen; dies betrifft insbesondere das gefährliche Abstocken und Entzerren. → C-3.1.2, S. 77; Tabelle 15, S. 77	Kriterium nicht relevant
<b>b) Während der Holzernte besteht die Gefahr von Steinschlag und abrollenden Wurzeltellern;</b> Hangneigungen über 30° (60%). → C-3.1.3, S. 78	Belassen evtl. Teilräumen, d.h. in den kritischen Bereichen wird nicht geräumt
<b>c) Die Stämme sind wirt übereinander geworfen</b> und deshalb besonders gefahrenträchtig.	
<b>d) Die Kosten zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit sind zu hoch bzw. das Räumen des Sturmholzes ist aus Gründen der Arbeitssicherheit nicht verantwortbar.</b>	
<b>e) Die Unfallgefahr bei der Holzerei ist hoch.</b> Das Gelände oder gewisse Partien der Windwurflläche sind so steil oder komplex (z.B. Felswände, Blockschutt), dass die Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt ist.	

## B-4 Forstbetrieb

### B-4.1 Holzmarkt und Logistik berücksichtigen

**Ziel:**  
**Reibungslose**  
**Holzvermarktung und**  
**angemessene Preise**

Für eine realistische Beurteilung dieses Kriteriums reicht das «Vergangenheitswissen» allein nicht aus. Wichtige Informationsquellen über die aktuellen technischen Möglichkeiten (z.B. bzgl. Holzertetechnik) und die Holzmarktsituation sind:

- Gespräche mit Revierförster, Kunden und Forstunternehmern,
- Internetseiten des VSFU, HIS, BAFU und des kantonalen Forstdienstes,
- Regionale «runde Tische».

Argumente zu Holzmarkt und Logistik	Folgerung aus Argumenten
<p><b>a) Ein reibungsloser Prozessablauf dürfte schwierig sein</b> aufgrund der voraussichtlichen Zusammenstellung der Aufarbeitungsequipe und ihrer Ausrüstung (z.B. wegen mangelnder Erfahrung oder Ausbildung, sprachlichen Schwierigkeiten, ad hoc zusammengestellter Equipe, mangelnder Ausrüstung etc.).  ↳ C-4.1.2, S. 82</p>	Belassen
<p><b>b) Abtransport und Verkauf des Holzes wären nicht garantiert</b>, weil das regionale Sturmholzvolumen sehr gross und die Absatzlogistik überfordert ist.  ↳ C-4.1.1, S. 81</p>	
<p><b>c) Der Ablauf innerhalb der Prozesskette wird gut geplant</b> (Aufarbeitung, Rückung, Vermarktung oder Lagerung des aufgearbeiteten Sturmholzes), weil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• das Sturmholz ab Stock verkauft wird oder</li> <li>• die ganze Prozesskette durch eine überbetriebliche Organisation gelenkt wird oder</li> <li>• der Bewirtschafter speziell darauf achtet.</li> </ul> ↳ C-4.1.2, S. 82	Räumen evtl. Teilräumen
<p><b>d) Das Holz kann lebend gelagert werden, bis es effizient abtransportiert und verkauft wird</b> (Nadelholz mit noch aktiven Wurzelkontakten, über 900 m ü.M., nord- und ostexponierte Lage).  ↳ C-4.1.2, S. 82</p>	

## B-4.2 Gute Voraussetzungen für Folgebestand schaffen

**Ziel:**  
**Möglichst naturnahe**  
**Wiederbewaldung und**  
**Folgebestände, die ihre**  
**Vorrangfunktion erfüllen**

Argumente zu guten Voraussetzungen für Folgebestand	Folgerung aus Argumenten
a) <b>Weder Schutz- noch Wirtschaftswald</b> , darum ist der Verlauf der Wiederbewaldung nicht wesentlich. ↳ C-4.2.5, S. 89	Kriterium nicht relevant
b) <b>Ersteingriff erfolgt erst in 20–60 Jahren</b> , weil die Verjüngung zwischen dem liegenden Holz in Bezug auf Quantität und Qualität genügend ist, um im Sinne der «Biologischen Rationalisierung» die Jungwaldentwicklung während der ersten Jahrzehnte der Natur zu überlassen. ↳ C-4.2.6, S. 90	
c) <b>Moderholz ist hier wichtig</b> für die Fichtenverjüngung. ↳ C-4.2.7, S. 92; Tabelle 21, S. 93	Belassen evtl. Teilräumen
d) <b>Eine belassene Windwurffläche bietet viele kleinstandörtliche Vorteile</b> , z.B. frühe Ausaperung, Wurzelsteller und Wurzelmulden, ausgeglicheneres Mikroklima. ↳ C-4.2.3b), S. 85; C-4.2.3c), S. 85	
e) <b>Vorhandene Verjüngung wäre durch die Sturmholzzräumung gefährdet</b> , z.B. wegen hohem Befahrungsgrad oder Bodenzug. ↳ C-4.2.4a), S. 86	
f) <b>Jungwuchs- oder Dickungspflege sind nötig</b> – z.B. wegen hoher Vegetationskonkurrenz – was durch die Nutzung des Sturmholzes wesentlich erleichtert wird. ↳ C-4.2.6, S. 90	Räumen evtl. Teilräumen
g) <b>Pflanzungen und evtl. Pflege sind wahrscheinlich nötig</b> , weil die Verjüngung bezüglich Stammzahl, Baumart oder Qualität das Erreichen der waldbaulichen Ziele in Frage stellt (kann oft erst nach ca. 5 Jahren abschliessend beurteilt werden). ↳ C-4.2.5, S. 89	
h) <b>Verjüngung ist wesentlich überdeckt</b> von den liegenden Bäumen und sollte «befreit» werden. ↳ C-4.2.4a), S. 86	
i) <b>Pionierbaumarten sind erwünscht</b> . Sie stellen sich auf geräumten Windwurfflächen üppiger ein als auf ungeräumten, sofern Samenbäume in der Nähe sind. ↳ C-4.2.3b), S. 85; C-4.2.4b), S. 87	
j) <b>Stambewegungen</b> können den Jungwald wesentlich beeinträchtigen. ↳ C-4.2.3d), S. 85	

### B-4.3 Bodenfruchtbarkeit erhalten

**Ziel:**  
**Bodenschäden**  
**während der Sturmholz-**  
**aufarbeitung vermeiden**

Grundsätzlich besteht bei allen Böden die Gefahr der Verdichtung durch Befahrung. Werden die unter C-4.3.4 (S. 97) aufgeführten Regeln konsequent umgesetzt, so kann die Verdichtungsgefahr bedeutend reduziert werden. Unter diesen Voraussetzungen kann bei wenig empfindlichen Böden (C-4.3.2, S. 95) das Kriterium als «nicht relevant» gelten (vgl. Argument a).

Argumente bezüglich Bodenfruchtbarkeit	Folgerung aus Argumenten
<p><b>a) Nachhaltige Bodenschäden können vermieden werden</b>, weil die betreffenden Böden wenig empfindlich sind und wirksame Vorkehrungen zum Schutz des Bodens getroffen werden.  ↳ C-4.3.4, S. 97; C-4.3.2, S. 95; Tabelle 22, S. 95</p>	Kriterium nicht relevant
<p><b>b) Die Böden sind in feuchtem Zustand mittel bis stark verdichtungsempfindlich (Tongehalt 8–45%)</b>, bei Einhaltung der Regeln des Bodenschutzes können Bodenschäden auf ein vertretbares Mass minimiert werden  ↳ C-4.3.2, S. 95; C-4.3.4, S. 97</p>	Belassen
<p><b>c) Es wird schwierig sein, die Beachtung des Bodenschutzes durchzusetzen</b>, es muss z.B. damit gerechnet werden, dass der Boden flächig oder auch bei schlechten Witterungs- und Bodenverhältnissen befahren wird.  ↳ C-4.3.4, S. 97</p>	
<p><b>d) Die Sturmholzaufarbeitung findet voraussichtlich im Winter statt.</b> Höhenlage: &lt; 900 m ü.M.  ↳ C-4.3.4, S. 97</p>	
<p><b>e) Es handelt sich um stark bis extrem empfindliche Böden.</b>  ↳ C-4.3.2, S. 95</p>	
<p><b>f) Die bestehende Feinerschliessung reicht für die voraussichtlich im Einsatz stehenden Maschinen nicht aus</b> bzw. der Abstand neu anzulegender Rückegassen ist voraussichtlich unter 20 m (im Steilhang unter 30 m).  ↳ C-4.3.4, S. 97</p>	Belassen evtl. Teilräumen (z.B. mit grösserem Abstand)

## B-4.4 Einfluss des Schalenwildes lenken

Ziel:  
 Naturnahe  
 Wiederbewaldung

Argumente zum Schalenwildeinfluss	Folgerung aus Argumenten
<p>a) Die Windwurffläche hat <b>keine spezielle Schutz- oder Produktionsfunktion</b>. Selbst starker Verbiss kann ohne wesentliche Nachteile hingenommen werden.</p>	
<p>b) <b>Der Wildverbiss ist gering oder die Verjüngung stammzahlreich</b>, d.h. die Wiederbewaldung mit standortsgemässen Baumarten ist ohne spezielle Massnahmen möglich.        ↪ C-4.4.4, S. 101</p>	<p>Kriterium nicht relevant</p>
<p>c) <b>Die umliegenden Waldbestände bieten qualitativ und quantitativ genügend Äsung und Deckung</b>. Das Schalenwild nutzt daher die belassenen Windwurfflächen weniger als Rückzugsort und zur Nahrungsaufnahme, insb. wenn die Störung (z.B. Freizeitaktivitäten) gering ist.        ↪ C-4.4.3a), S. 100; C-4.4.3b), S. 100</p>	<p>Belassen</p>
<p>d) <b>Die umliegenden Waldbestände bieten qualitativ und quantitativ nicht genügend Äsung und Deckung</b>. Eine naturnahe Wiederbewaldung ist ohne Schutzmassnahmen in Frage gestellt, weil in solchen Fällen das Schalenwild die Windwurfflächen gerne als Rückzugsort und zur Nahrungsaufnahme nutzt, insb. wenn die Störung (z.B. Freizeitaktivitäten) hoch ist.        ↪ C-4.4.3a), S. 100; C-4.4.3b), S. 100</p>	<p>Räumen evtl. Teilräumen</p>

## B-5 Umwelt

### B-5.1 Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung

Ziel:  
Bereicherung des  
Lebensraumes und  
Rücksicht auf Flora  
und Fauna

Argumente zu Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung	Folgerung aus Argumenten
<p><b>a)</b> Im Gebiet leben <b>besonders störungsempfindliche Tierarten und die Sturmholzaufarbeitung fände während einer besonders empfindlichen Zeit statt</b> (während der Winterruhe-, Setz-, Balz-, Brut oder Aufzuchtzeit). ↳ C-5.1.1, S. 103</p>	Belassen
<p><b>b)</b> Störungsempfindliche Tierarten können von einer belassenen Windwurffläche profitieren (Ruhe vor dem Menschen). ↳ C-5.1.1, S. 103</p>	
<p><b>c)</b> <b>Belassene Windwurfflächen sind generell wertvoll</b>, weil sie einen Gegenpol zur mehr oder weniger stark bewirtschafteten Kulturlandschaft darstellen. Eine hohe Struktur- und Grenzlinienvielfalt – inkl. harmloser Erosionsstellen – erhöht die Qualität des Lebensraumes. ↳ C-5.1.5, S. 108 u. C-5.1.3, S. 106</p>	
<p><b>d)</b> Als <b>ökologischer Trittstein im regionalen Biotopverbundnetz</b> ist die belassene Windwurffläche eine Bereicherung. ↳ C-5.1.5, S. 108</p>	
<p><b>e)</b> Die Windwurffläche <b>eignet sich für ein Reservat</b> aufgrund des kantonalen Reservatskonzepts – evtl. inkl. umgebender Bestände. ↳ C-5.1.5, S. 108</p>	
<p><b>f)</b> Die belassene Windwurffläche bietet sich an zur <b>Arrondierung/Erweiterung eines bereits bestehenden Naturwaldes</b>. ↳ C-5.1.5, S. 108</p>	
<p><b>g)</b> Das <b>Erschliessungsnetz müsste für die Holzernte ausgebaut werden</b>, was auch längerfristige Beunruhigung nach sich zieht. Dies wiegt in bisher noch kaum erschlossenen Gebieten besonders stark. ↳ C-5.1.1, S. 103</p>	
<p><b>h)</b> <b>Das belassene Sturmholz trägt besonders zum Artenschutz und zur Artenvielfalt bei</b> (ökologisch attraktive Holzarten, grosse Durchmesser, gut besonntes Totholz). ↳ C-5.1.3, S. 106; Tabelle 23, S. 107</p>	Belassen evtl. Teilräumen
<p><b>i)</b> <b>In naher Nachbarschaft werden die meisten Windwurfflächen belassen</b>, so dass das Räumen der zu beurteilenden Windwurffläche mehr zur Artenvielfalt beitragen würde als eine weitere belassene. ↳ C-5.1.2, S. 104</p>	Räumen evtl. Teilräumen (z.B. Fläche aufteilen)

## B-6 Gesellschaft

### B-6.1 Attraktivität für Erholung, Naturerlebnis und Umweltbildung

Ziel:  
Berücksichtigung  
der Anliegen der  
Erholungs- und Natur-  
erlebnissuchenden

Argumente zu Erholung, Naturerlebnis und Umweltbildung	Folgerung aus Argumenten
<p><b>a)</b> Die Windwurffläche kommt für umweltpädagogische Projekte (vgl. Argumente d und e) nicht in Frage, aber es fällt leicht, der Bevölkerung den Entscheid verständlich zu machen, unabhängig davon, ob diese Windwurffläche nun belassen oder geräumt wird.</p>	Kriterium nicht relevant
<p><b>b) Einheimische oder Waldbesucher nehmen wenig Notiz von der Windwurffläche,</b> weil sie schwer zugänglich ist oder sich ausserhalb des Naherholungsraumes befindet. → C-6.1.3, S. 110</p>	
<p><b>c)</b> Die <b>Sturmholzaufarbeitung müsste voraussichtlich während der Tourismus-Saison ausgeführt werden.</b> Dadurch würde die Qualität des Erholungsgebietes vorübergehend wesentlich beeinträchtigt → C-6.1.2b), S. 110:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• starker Verkehr,</li> <li>• Lärmbelastung durch Motorsägen, Helikopter etc.,</li> <li>• Rückeschäden auf Wanderwegen,</li> <li>• wesentliche Einschränkungen des Wanderwegnetzes.</li> </ul>	Belassen
<p><b>d)</b> Die Fläche <b>eignet sich gut als Lehr- und Demonstrationsobjekt</b> um für die Bevölkerung natürliche und möglichst unbeeinflusste Prozesse erlebbar zu machen. Die Fläche ist gut erreichbar und die Mittel sowie der lange Atem für entsprechende Information (z.B. Umweltbildungsprojekte Öko-Exkursionen, Walderlebnistage) und evtl. Beobachtungseinrichtungen (z.B. Lernpfade) sind vorhanden. → C-6.1.4, S. 111; C-6.1.5, S. 112</p>	
<p><b>e)</b> Als <b>Erlebnis- oder Beobachtungsfläche</b> ist die belassene Windwurffläche für Besucher oder Touristen attraktiv – mit entsprechendem Marketing und Einrichtungen (Begehungspfade, Umweltbildungsprojekte etc.). → C-6.1.5, S. 112</p>	
<p><b>f) Erholungsfunktion ist hier vorrangig;</b> «Ordnung» und Bewegungsfreiheit sollten möglichst gewahrt bleiben (häufig mit dichtem Wegenetz, entsprechendem «Freizeitmobiliar», wichtigen Sport- und Erholungseinrichtungen, wie beliebtes OL-Gelände, LL-Loipe, Wanderwege, Skiabfahrt usw.). Die bisherigen Nutzungsarten können durch Räumen des Sturmholzes am ehesten wieder ermöglicht werden. → C-6.1.2, S. 109</p>	Räumen evtl. Teilräumen
<p><b>g)</b> Das belassene Sturmholz wäre eine <b>Gefahr für Wanderer und Waldbesucher,</b> auch wenn die Wege freigemacht werden – z.B. in steilem Gelände. → C-6.1.2, S. 109</p>	
<p><b>h) Das Belassen der Windwurffläche wäre schwierig zu rechtfertigen.</b> Gründe: Wirtschaftswald mit wertvollem Holz, etc. → C-6.1.4, S. 111</p>	

## B-7 Kostenbilanz

In der Kostenanalyse werden die direkten Kosten und Nutzen in Franken aufgerechnet, die sich aus dem Räumen oder Belassen des Sturmholzes ergeben.

### B-7.1 Voraussichtlicher Holzerlös

Zur Abschätzung der Holzpreise können die aktuellen Preisempfehlungen der Holzmarktkommission und Waldbesitzerverbände oder konkrete Offerten von Holzabnehmern dienen.

Nach Windwurf ist gegenüber dem «normalen» Holzerlös mit Mindererlösen unterschiedlicher Ursache zu rechnen. Das Verkaufsrisiko liegt auf der Seite des Waldbesitzers, wenn er die Holzernte selbst vornimmt oder als Dienstleistung von einem Forstunternehmer einkauft. Wird das Sturmholz ab Stock verkauft, dann übernimmt der Forstunternehmer, welcher in der Regel den Holzmarkt besser überblicken kann und auch über eine effizientere Vermarktungslogistik verfügt.

*Mindererlöse:*

- wegen **Bruchholz**: Bruchholz hat einerseits einen höheren Anteil unverwertbaren Derbholzes und andererseits Sortimentsverschiebungen beim Wertholz zur Folge. Berechnungen in Baden-Württemberg ergaben nach Wiebke einen durchschnittlichen Bruchholzanteil von rund 5% (BRANDL und BRANDT 1994)
- wegen **Sicherheitsmassnahmen in steilem Gelände**: Ab Hangneigungen von 30° (58%) muss beispielsweise beim Abstocken oft ein wertvolles Erdstück am Stock belassen werden, um das Abrollen von Wurzelstöcken zu verhindern (BROSI 1991)
- wegen **Überangebot** auf dem Holzmarkt: Bei gesättigtem inländischem Holzmarkt geht ein grosser Teil der «Massenware» in den Fernabsatz. Der Mindererlös resultiert dabei im Wesentlichen aus den Transportkosten, die in der Regel zu Lasten des Holzerlöses gehen.

### B-7.2 Holzerntekosten

Kurz nach dem Sturmereignis können die Forstunternehmer wegen der erhöhten Nachfrage ihre Ansätze deutlich anheben. Weitersichtig beurteilt lohnt es sich, höhere Tarife einzukalkulieren und dafür vom Unternehmer auf vertraglicher Basis mehr Qualität zu verlangen (z.B. höhere Arbeitssicherheit, Schonung des Bodens und der Verjüngung).

**Hilfsmittel für die Schätzung der Holzerntekosten:**

- Offerten von Forstunternehmern
- Aktuelle Tarifempfehlungen des VSFU, abrufbar auf der Webseite <http://www.vsfu.ch/d/info.asp>
- Kennzahlen und Erfahrungswerte des Betriebes
- Pauschalansätze des Kantons

- HeProMo, EDV-Modell zur Kalkulation von Holzerntearbeiten, vgl. [www.waldwissen.net](http://www.waldwissen.net), Stichwort «HeProMo» (ERNI und FRUTIG 2004)
- Kalkulationsprogramme für das Holzlücken mit Forwarder (Tragschlepper), Mobil- und Konventioneller Seilkran (BACHOFEN *et al.* 2000)
- Beschreibung von Sturmholzernteverfahren mit ihrer jeweiligen Produktivität (vgl. Waldschadenhandbuch)

#### **B-7.2.1 Abstocken / Entzerren / evtl. Aufarbeiten / Vorrücken)**

Alle Arbeiten auf der Fläche und Vorrücken an die Rückegasse. Je nach Verfahren wird das Holz bereits auf der Fläche aufgearbeitet, d.h. entastet und abgelängt.

#### **B-7.2.2 Bringung / evtl. Aufarbeiten**

Bringung bis zum Holzpolter bzw. zum Aufarbeitungsplatz. Je nach Verfahren werden die Bäume erst nach der Bringung zentral aufgearbeitet, d.h. entastet, abgelängt und allenfalls entrindet.

#### **B-7.2.3 Transportkosten**

Ab Waldstrasse bis zum Übernahmeort. Bei Kaufverträgen franko Waldstrasse entfallen die Transportkosten.

#### **Erfahrungswerte aus der Sturmschadenbewältigung nach «Lothar»:**

<b>15.– bis 18.– Fr./m<sup>3</sup></b>	bis 100 km (exkl. 2–3.– Fr. für LSVA <sup>11</sup> )
<b>bis 50.– Fr./t</b>	100–300 km
<b>65.– bis 70.– Fr./t</b>	ca. 500 km
<b>90.– bis 110.– Fr./t</b>	ca. 1000 km (BÄRTSCHI <i>et al.</i> 2003; HOFER <i>et al.</i> 2003)

<sup>11</sup> Die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) wurde erst am 1. Januar 2001 eingeführt.

#### **B-7.2.4 Holzlagerung**

##### *a) Lager an der Waldstrasse*

Die Kosten bei der Lagerung an der Waldstrasse ergeben sich aus den Kapitalkosten für die im Voraus finanzierte Holzernte (BÄRTSCHI *et al.* 2003)

#### **Erfahrungswerte aus der Sturmschadenbewältigung nach «Lothar»:**

**1.– bis 5.– Fr./m<sup>3</sup>** nicht berücksichtigt sind allfälliges Spritzen und Ertragseinbussen wegen qualitativer Holzwertung (Bärtschi *et al.* 2003).

##### *b) Nasslager*

Die Nasslagerung ist eine relativ sichere Art der Qualitätserhaltung (ARNOLD 2003). Nadelholz kann auf einem Nasslager bis zu ungefähr 5 Jahren werterhaltend gelagert werden. Nach zwei Sommern erhöht sich aber das Befallsrisiko durch Hallimasch, vor allem auf Lagerplätzen unterhalb 1000 m ü.M. Aus betriebs- und volkswirtschaftlicher Sicht kann sich die Nasslagerung von qualitativ gutem Holz unter Umständen lohnen, wenn es 1–3 Jahre später zu wieder gefestigten Preisen ohne grosse Transportkostenabzüge lokal verkauft werden kann (BUWAL 2004).

Gemäss Erfahrungen des BAFU streuten die Lagerungskosten je nach Einrichtung erheblich, da sie sehr stark von den örtlichen Rahmenbedingungen und dem Aufwand für den laufenden Unterhalt bestimmt werden.

#### **Erfahrungswerte des BAFU aus der Sturmschadenbewältigung nach «Lothar»:**

**5.– bis 50.– Fr./m<sup>3</sup>** Nach «Lothar» unterstützte der Bund grosse Nasslager von mehr als 1000 m<sup>3</sup> mit max. 25.– Fr./m<sup>3</sup>.

##### *c) Folienlager*

Mit einer Losgrösse von 150 bis 250 m<sup>3</sup> ist das Folienlager für Kleinmengen bis zu einer Lagerdauer von einem Jahr geeignet (BÄRTSCHI *et al.* 2003). Die Folienverpackung erfordert entsprechende Ausbildung und Erfahrung. Bei sorgfältiger Anwendung erzielt man sehr gute Erfolge. Für wertvolle Buchenstämme ist es wohl die erfolgreichste Konservierungsart (ODENTHAL-KAHABKA und PÜTTMANN 2004).

#### **Erfahrungswerte aus der Sturmschadenbewältigung nach «Lothar»:**

**12.– bis 16.– Fr./m<sup>3</sup>** Für Losgrössen zw. 150–250 m<sup>3</sup>. Materialkosten: 5.– bis 10.– Fr./m<sup>3</sup>. Bei der Auslagerung wiesen die Stämme häufig stirn- und mantelseitige Einläufe von Rotstreifigkeit auf. Durchschnittlich mussten am Stock- und Zopfende ca. 60 cm abgèsägt werden (ARNOLD 2003; BÄRTSCHI *et al.* 2003).

### **B-7.3 Zusatzkosten zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit**

Mit geeigneten technischen Lösungen (Arbeitsverfahren, Arbeitsmittel, ausgebildete und erfahrene Personen, zusätzliche Sicherheitsmassnahmen) können heute schätzungsweise mehr als 95% der Sturmholzflächen relativ sicher aufgearbeitet werden. Aus Kosten-/Nutzenüberlegungen bzw. aus Kostengründen wird jedoch in einigen Fällen auf Räumen oder Teilräumen verzichtet werden müssen.

Um diese Entscheide transparent und nachvollziehbar darstellen zu können, werden nebst der qualitativen Beurteilung auch die Zusatzkosten zur Gewährleistung der Sicherheit während der Holzerntearbeiten in der Kostenanalyse der Checkliste abgeschätzt. Dazu gehören beispielsweise spezielle Kurse, zusätzliche Ausrüstung oder unter Umständen auch der Entscheid für die Arbeitsvergabe an einen erfahrenen Forstunternehmer.

Die Hintergrundinformationen dazu sind in C-3 Arbeitssicherheit zu finden.

### **B-7.4 Erschliessung (Neubau, Ausbau, Reparaturen)**

Grosse Sturmschäden im Wald haben in der Regel auch grosse Schäden am Strassennetz zur Folge. Der Verschleiss der Waldstrassen ist als Bestandteil der Holzerntekosten nicht zu unterschätzen. Es empfiehlt sich, während der Sturmholzaufarbeitung einen kontinuierlichen Wegeunterhalt einzuplanen. Insbesondere beim Einsatz auswärtiger Unternehmer sollte dieser Punkt Teil des Vertrages bilden.

Behält man die Gesamtkosten der Holzerntemassnahmen im Auge, so kann es sich durchaus lohnen, das Holz mit etwas höheren Kosten bergab statt bergauf zu rücken und dadurch das Strassennetz zu schonen (FVA FREIBURG 2000).

Bezogen auf den Kubikmeter genutztes Sturmholz ist die Spannbreite der Kosten für die Wiederinstandstellung gross und im Wesentlichen von folgenden Faktoren bestimmt:

<b>Untergrund</b>	Bei labilem Untergrund ist speziell auf die Empfindlichkeit des Strassennetzes zu achten.
<b>Strassenzustand</b>	Rückstände im Unterhalt wirken sich auf den Verschleiss der Waldstrassen durch Sturmholzräumung oft verheerend aus. Durch das rechtzeitige Ausbessern von Schadstellen lassen sich hohe Folgekosten vermeiden. «Fahrwege sind in aller Regel nicht auf eine derart hohe Belastung durch Transportbewegungen ausgelegt. Deshalb muss eine kontinuierliche Wegeunterhaltung eingeplant werden» (FVA FREIBURG 2000).
<b>Strassenbelag</b>	Naturstrasse oder asphaltiert.
<b>Zeitpunkt der Holzernte</b>	Besonders problematisch ist das Befahren von Waldstrassen in der Regel im Frühling.

<b>Witterung</b>	Bei der Ernte von Sturmholz werden die Güterstrassen sehr oft ohne spezielle Rücksichtnahme auf schlechte Witterungsverhältnisse befahren, was sich auf deren Zustand verheerend auswirken kann. Insbesondere bei kurzfristiger Planung sind im Endeffekt sind vertragliche oder logistische Zwangsvorgaben entscheidender als der Vorsatz, bei nassen Verhältnissen auf Transportfahrten zu verzichten.
<b>Fahrzeugladung und Anzahl Fahrten</b>	Kleinere Lasten erhöhen zwar die Anzahl Fahrten und damit die Transportkosten, reduzieren aber unter Umständen die nachfolgenden Kosten für die Strassensanierung.
<b>Chauffeur-Mentalität</b>	Der einzelne Chauffeur kann mit seinem Verhalten (Fahrstil, Gewichtslimite etc.) wesentlich zur Schonung der Wald- und Güterstrassen beitragen.

#### **Erfahrungswerte aus der Sturmschadenbewältigung nach «Lothar»:**

<b>4.– bis 5.– Fr./m<sup>3</sup> bzw. 26.– Fr./m<sup>3</sup></b>	Kanton Freiburg – durchschnittliche Kosten für Strassenreparaturen (≠ Unterhalt) (SERVICE DES FORÊTS ET DE LA FAUNE FRIBOURG 2001)
<b>mind. 5.50 Fr./m<sup>3</sup></b>	Kanton Zürich – vorsichtige Schätzung der Reparaturkosten (U. Strauss, schriftl.)
<b>8.20 Fr./m<sup>3</sup></b>	Kanton Obwalden – Durchschnitt bezieht sich auf 2,3 Mio. Fr. Reparaturkosten bei insgesamt 280'000 m <sup>3</sup> Sturmholz (AMT FÜR WALD UND LANDSCHAFT OBWALDEN 2004)

#### **B-7.5 Flankierende Massnahmen**

Die flankierenden Massnahmen sollen die negativen Auswirkungen mildern oder verhindern, die aufgrund der Entscheidung für Räumen, Belassen oder Teilräumen zu erwarten sind. Beispiele:

- Massnahmen zum Schutz des Bodens, insb. gegen Bodenverdichtung.
- Entrinden liegen bleibender Stämme als Forstschutzmassnahme.
- Stock- und Stammsicherung zur Vermeidung von Sturzholz.
- Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren, z.B. Lawinenverbauungen, Steinschlagschutz, verkleinern des Stammholzes im Einflussbereich von Gerinnen.
- Präventive Massnahmen gegen Waldbrand, z.B. holzfreier Sicherheitsstreifen entlang viel begangener Wege und Strassen.
- Öffentlichkeitsarbeit, Informations- und Überzeugungsaufwand gegenüber Behörden und Bevölkerung.

Kosten für Wiederbewaldungsmassnahmen (z.B. Bepflanzung, Verbissschutz) werden hier nicht berücksichtigt.

### **B-7.6 Beiträge Dritter**

Subventionen und Abgeltungen für Massnahmen auf der Fläche, z.B.

- Sturmholzernte,
- Flankierende Massnahmen (vgl. B-7.5),
- Nutzungsverzicht oder
- Ausscheidung bzw. Erweiterung von Waldreservaten.

Beiträge für Wiederbewaldungsmassnahmen (z.B. Bepflanzung, Verbisschutz) sowie für Forstschutzmassnahmen in den umgebenden Beständen werden hier nicht berücksichtigt.

### **B-7.7 Nicht berücksichtigte Folgekosten**

Die Kostenanalyse der «Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald» beschränkt sich auf die Kosten und Gewinne im Zusammenhang mit der Sturmholzernte. Nicht berücksichtigt sind z.B. die Kosten für:

- Wiederbewaldung (Schlagräumung, Pflanzung, Verbisschutz, Jungwaldpflege).
- Waldbauliche Eingriffe ab Dickungsstufe.
- Käferbekämpfung.

Diese Aspekte werden nach Möglichkeit in der Nutzwertanalyse in qualitativer Form berücksichtigt.



# C Grundlagen zu den Argumenten

## C-1 Naturgefahren

In diesen Grundlagen werden die Naturereignisse behandelt, die als Folge flächiger Windwürfe auftreten können. Im Allgemeinen handelt es sich um die Prozesse Lawinen, Stein Schlag, Sturzholz, Erosion, Rutschungen, Hangmuren, Verklausungen und Murgänge. Wo solche Naturereignisse mit hoher Wahrscheinlichkeit bzw. mit hoher Intensität auftreten können, soll das Tun oder Unterlassen auf Windwurfflächen zur Gefahrenreduktion beitragen, ohne dass dadurch neue und vielleicht noch erheblichere Gefahrenquellen geschaffen werden (z.B. Destabilisierung von Boden- und Gesteinsschichten durch den Bau von Erschliessungen).

### **Umgang mit Naturgefahren nach den Grundsätzen der «Risikokultur»**

Die Beurteilung der Schutzwirkung des belassenen Holzes darf nicht von der Forderung nach einer hundertprozentigen Sicherheit geleitet sein. Entscheidend ist nicht nur die Frage: «Was kann passieren?» sondern auch: «Was darf passieren?». Mit einem gewissen Restrisiko muss immer gerechnet werden, auch nach der Errichtung kostspieliger Verbauungen. Auch hier ist die «Pareto-Regel» anwendbar, wonach bereits 20% des strategisch richtig eingesetzten Aufwandes 80% des möglichen Nutzens erbringen (SEIWERT 1984). Diese Regel ruft nach einem «Risikomanagement», welches Kostenaufwand und Risikoreduktion zu optimieren versucht (KIENHOLZ 1994). Wie gross das Restrisiko im Einzelfall sein darf und welche Massnahmen getroffen werden sollen, ist auch eine Frage der sozialen Gerechtigkeit – beispielsweise im Blick auf zukünftige Generationen – und der ökologischen Verträglichkeit (WILHELM 1999).

Die Beachtung der im Folgenden behandelten Gefahren ist besonders dort geboten, wo Menschenleben und Sachwerte der Kategorien A und B ernsthaft bedroht sind (vgl. Tabelle 2, S. 38).

Die Beurteilung der gefährlichen Naturereignisse stützt sich auf die Beantwortung folgender Grundfragen:

- a) Ist ein **Schadenpotential**<sup>12</sup> vorhanden? – Welche Objekte können durch allfällige Naturereignisse in Mitleidenschaft gezogen werden und welche Bedeutung haben diese? Die Bedeutung des Schadenpotentials für die Öffentlichkeit wird anhand der in Tabelle 2 (S. 38) beschriebenen Kategorien A, B und C unterschieden.
- b) Ist ein **Gefahrenpotential**<sup>13</sup> vorhanden? – Könnten in der Windwurffläche aufgrund der Geländeneigungen, der Bodenverhältnisse usw. gefährliche Naturereignisse eintreten?
- c) Sind Massnahmen zur Gefahrenminimierung verhältnismässig oder ist die Risikominimierung auf der Seite des Schadenpotentials effizienter?

---

<sup>12</sup> Definition für Schadenpotential: Menge der potentiell durch Naturereignisse beeinträchtigten Objekte in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung (HEINIMANN *et al.* 1998).

<sup>13</sup> Definition für Gefahrenpotential: Summe der gefährdenden und schädigenden Faktoren im betrachteten Gebiet» (LATELTIN 1997)

Tabelle 2: Einteilung des Schadenpotentials gemäss Kreisschreiben Nr. 8 (F+D 1996)

Kategorie	Menschenleben	Sachwerte Bedeutung des Objektes	Bedeutung in Notstandssituationen
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>dauernder Aufenthalt ist notwendig; keine Ausweichmöglichkeiten (Wohn- und Arbeitsplatz)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Objekte mit Folgeschäden (Kraftwerke, Nationalstrassen, Strassen mit ganzjährig öffentlichem Verkehr, Bahnlinien mit Fahrplanpflicht).</li> <li>Lebensnotwendige Einrichtungen (Spitäler).</li> <li>Objekte mit hohem, öffentlichem Schutzwert (öffentliche Gebäude, Gewerbe- und Industriebetriebe).</li> </ul>	<i>gross:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>wichtige Versorgungsleitungen (Wasser, Strom)</li> <li>Spitäler (incl. Zufahrtswege)</li> <li>Verkehrsanlagen für Evakuierungsmassnahmen</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorübergehender Aufenthalt; nur bedingt beeinflussbar (Verkehrsachsen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gebäude mit dauerndem Nutzen für Einzelne (ständig bewohnte Einzelgebäude, Zubringerstrassen).</li> <li>grössere landwirtschaftliche Einrichtungen.</li> </ul>	<i>vorhanden:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verkehrsanlagen für die permanente, längerfristige Versorgung</li> <li>öffentliche Einrichtungen</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>freiwilliger Aufenthalt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einrichtungen, die zeitweise genutzt werden (Ferienhäuser).</li> <li>Sport- und Tourismusanlagen.</li> </ul>	<i>nicht relevant</i>

↪ Einteilung und Definition der Schadenpotential-Kategorien werden voraussichtlich im Rahmen des BAFU-Projekts «Silvaprotect» gewisse Anpassungen erfahren, welche zur Zeit der Erarbeitung der «Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald» noch nicht bekannt waren.

## C-1.1 Lawinenanriss vermeiden

### C-1.1.1 Begriffe

- **Lawine:** In eine rasche Bewegung geratene Schneedecke. Vorkommen: Anrisse an Hängen mit über 30° (58%) Neigung, alle Expositionen.
- **Schneebrettlawine:** Lawine, die durch den Abbruch einer ganzen Schneetafel entsteht, die einer ausgeprägten Schwachschicht überlagert ist. Charakterisiert durch linienförmige, quer zum Hang verlaufende Anrissfläche oberhalb der Gleitfläche. Auslösung durch Initialriss, rasche Beschleunigung.
- **Lockerschneelawine:** Lawine, die von einem sichtbaren Punkt ausgeht (Schneeball-effekt). Die Kräfte werden nicht in der Schneedecke übertragen. Langsame Beschleunigung.
- **Staublawine:** Aus feinkörnigem, trockenem oder leicht feuchtem Schnee bestehende Lawine, die beim steilen Absturz ein Schnee-Luft-Aerosol bildet und grosse Schneestaubwolken entwickelt.

(Definitionen aus FREHNER *et al.* 2005)

### C-1.1.2 Schadenpotential

Meistens geben Gefahrenhinweiskarten auch Aufschluss über das Schadenpotential. Die Reichweite der Lawine kann auch aufgrund von Modellierungen oder des Pauschalgefälles abgeschätzt werden.

Gefährdet ist ein Objekt, wenn es sich bezüglich der Anrisslinie innerhalb eines Pauschalgefälles von 22° (40%) befindet (vgl. Abbildung 3). Dieser Wert ist eine bewährte Annäherung für kleinere Lawinen, d.h. für die Grössenordnung von bis zu etwa 10'000 m<sup>3</sup>. Die Reichweite grösserer Lawinen kann mit lawindynamischen Berechnungen ermittelt werden (SALM *et al.* 1990). Grosslawinen sind durch grosse Anrissmächtigkeit und breite Anrisszonen charakterisiert, wofür die Windwurfllächen im Allgemeinen zu klein und zu stark strukturiert sind.

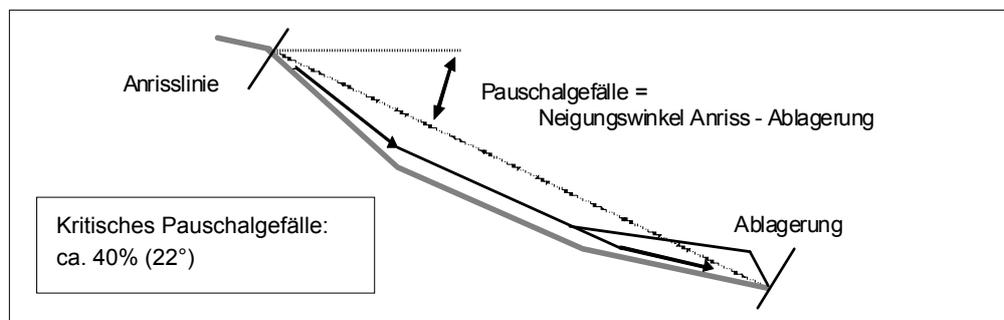


Abbildung 3: Definition Pauschalgefälle; Abbildung aus TEUFEN (1993), leicht verändert.

### C-1.1.3 Gefahrenpotential

«Der Wald stellt heute flächenmässig den wichtigsten Beitrag zum Lawinenschutz in der Schweiz dar» (MARGRETH 2004). Seine Schutzwirkung gegen Schneelawinen beschränkt sich in der Regel auf das Verhindern von Lawinenanriss. Eine deutlich oberhalb des Waldes in Bewegung geratene Lawine vermag der Wald nur selten zu stoppen. Da im Waldgebiet kaum Staublawinen entstehen und nasse Lockerschneelawinen eine geringe Geschwindigkeit und Reichweite besitzen, beziehen sich die nachstehenden Aussagen in erster Linie auf die Gefahr von Schneebrettlawinen, die im Wald anreissen.

Für die potentielle Gefahr von Lawinenanriss auf einer Windwurflläche sind im Wesentlichen die Höhenlage, die Hangneigung und die zu erwartende Schneehöhe entscheidend.

#### a) Höhenlage

Die Gefahr von Schneebrettlawinen ist vor allem dann gegeben, wenn bei niedrigen Temperaturen innerhalb eines kurzen Zeitraumes von ca. 3 Tagen beträchtliche Neuschneemengen fallen oder Tribschneeansammlungen stattfinden. Solche Situationen sind unterhalb ca. 1000 bis 1200 m ü.M. eher unwahrscheinlich. Mit zunehmender Höhe über Meer nimmt im Allgemeinen auch die Wahrscheinlichkeit von Lawinenanrissen zu. Schneegleiten und Nassschneerutsche können auch in Höhenlagen von 800 bis 1200 m ü.M. häufig auftreten, in gewissen Gebieten sogar schon ab 600 m ü.M. Trockene Schneebrettlawinen sind hingegen in diesen Höhenlagen selten.

#### b) Hangneigung

Lawinen entstehen fast ausschliesslich bei Hangneigungen zwischen 30°-50° (58%-119%). Verbauungen werden in der Regel innerhalb dieses Neigungsbereichs erstellt (BUWAL und SLF 1990). Unterhalb 1200 m ü.M. kann im Normalfall wegen geringerer Schneehöhen mit etwas günstigeren Bedingungen gerechnet werden, d.h. eine kritische untere Hangneigung von 35° (70%) angenommen werden.

#### c) Unbestockte Lückengrösse

Auf einer *geräumten* Windwurflläche muss mit einer erhöhten Gefahr von Lawinenanriss gerechnet werden, wenn die entstandene Waldlücke eine kritische Grösse übersteigt (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 4).

Bricht in einer Lücke eine Waldlawine an, so ist bei einer Lückenlänge von mehr als 150 m mit der Zerstörung des darunter liegenden Waldes zu rechnen (MARGRETH 2004).

Tabelle 3: Kritische Lückengrößen im Lawinenschutzwald (Näherungswerte gemäss FREHNER *et al.* 2005)

<b>Kritische Lückengröße:</b> (in Falllinie)	> 50 m > 30 m	(bei 35° (70%) Hangneigung) (bei 45° (100%) Hangneigung)
<b>Kritische Lückenbreite:</b> (quer zur Falllinie)	> 15 m > 5 m	(in wintergrünem Wald) (in winterkahlem Wald)
<b>Kritischer Deckungsgrad:</b>	< 50%	(Betrachtungseinheit: mind. 1 ha; betrifft den Nachbarbestand inkl. Lücken)

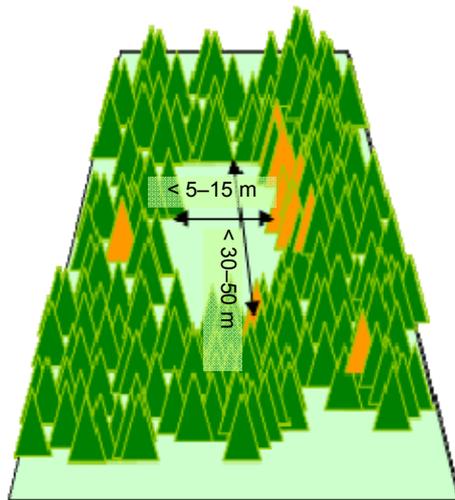


Abbildung 4: Lückengröße, ab welcher im unbestockten oder vom Sturmholz geräumten Zustand mit Lawinenanriss zu rechnen ist.

Bei der Beurteilung der Gefahr von Lawinenanriss auf einer Windwurffläche ist auch die längerfristige Entwicklung der «unbestockten Lückengröße» zu beachten, insbesondere wenn aufgrund der Baumartenzusammensetzung und des Zustandes der Nachbarbestände mit Käferbefall zu rechnen ist.

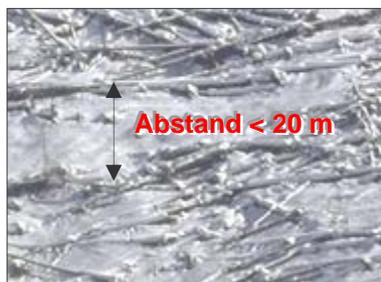


Abbildung 5: Maximal-Abstand der Elemente, die aufgrund ihrer Wirkhöhe als «Lawinenverbau» dienen. (Belassene Fläche Disentis im Lawinenwinter 98/99)

Als Lücke kann auch ein grösserer sturmholzfreier Bereich in einer belassenen Windwurffläche gelten. In Anlehnung an die «Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet» (BUWAL und SLF 1990) muss für die Stämme, welche zusammen die Wirkhöhe bilden, der Abstand kleiner als 20 m sein (vgl. Abbildung 5). Diese überragenden, schutzwirksamen Stämme müssen jedoch zusätzlich durch das dazwischen liegende Holz unterstützt werden, da ein einzelner, liegender Baumstamm niemals die Wirkungshöhe eines temporären Stützwerkes erreicht. Es sollten also dazwischen keine grossen, stammfreien Lücken vorkommen. Jeder liegende Stamm trägt durch seine Gegenwart zur Verhinderung des Schneegleitens bei, so dass sich kein grosser Schneedruck aufbauen kann.

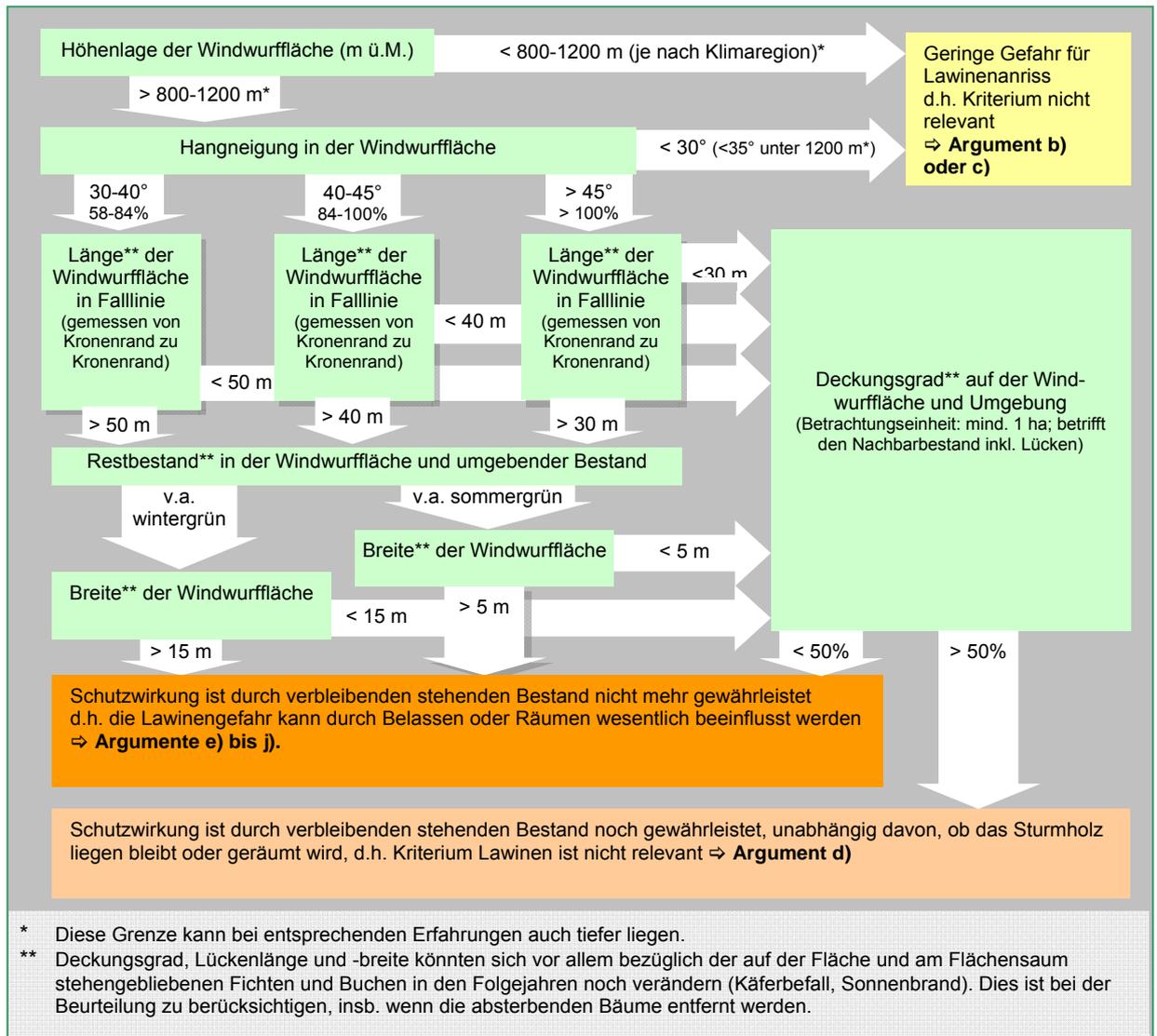


Abbildung 6: Entscheidungsbaum für die Beurteilung des Gefahrenpotentials von Lawinenanriss (Grundlage: FREHNER *et al.* 2005). Die Argumente a-l sind in Kapitel B-1.1, S. 18 aufgelistet.

### C-1.1.4 Abschätzung der extremen Schneehöhe und Wiederkehrdauer

Die zu berücksichtigende extreme Schneehöhe und ihre Wiederkehrdauer (o. Jährlichkeit) richten sich nach dem Zeitraum, innert welchem der aufkommende Jungwald die Schutzfunktion wieder übernehmen kann. Beträgt dieser Zeitraum voraussichtlich ca. 30 Jahre, dann genügt es, mit der 30-jährlichen Schneehöhe zu rechnen (B. Salm, mündl.):

$$30\text{-jährige extreme Schneehöhe} = 0,83 \times 100\text{-jährige extreme Schneehöhe}$$

Die 100-jährliche extreme Schneehöhe kann anhand der Schneehöhenkarte in den «Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet» (BUWAL und SLF 1990) und der dazu

gehörenden Berechnungsformel ermittelt werden. Dieser Annäherungswert korrigiert mit den lokalen Erfahrungen entspricht den lokalen Verhältnissen genügend.

Die extreme Schneehöhe kann insbesondere an der oberen Waldgrenze schneereicher Gebiete recht gross sein. So errechnet sich für eine durchschnittlich alle 30 Jahre wiederkehrende Schneehöhe in der Zentralschweiz bei Oberiberg auf 1800 m ü.M. ein Wert von rund 4,5 m.

<b>Höhenlage</b>	Faktoren, welche die Dauer, bis der aufkommende Jungwald schutzwirksam wird, wesentlich bestimmen: In der hochmontanen und subalpinen Stufe kann es je nach Vegetationskonkurrenz und Verbissbelastung 30 bis 80 Jahre oder noch länger dauern bis der natürlich verjüngte Jungwald die Schutzfunktion wieder übernehmen kann (OTT <i>et al.</i> 1997 S. 33; KUPFERSCHMID <i>et al.</i> 2004).
<b>Vorverjüngung</b>	Sofern nur wenig Vorverjüngung vorhanden ist, verläuft die natürliche Wiederbewaldung in belassenen Windwurfflächen meist langsamer als in geräumten und auch örtlich eher gestaffelt (vgl. C-4.2.4, S. 86). Oft dürfte der erwünschte natürliche Verjüngungsschub erst mit der Moderholzverjüngung, d.h. nach ca. 15–30 Jahren, einsetzen (vgl. C-4.2.7, S. 92 u. C-4.2.7b), S. 93).
<b>Samenbäume</b>	In grossen Windwurfflächen, wo die Samenbäume sehr weit entfernt sind (vgl. C-4.2.4b), S. 87) und die Vorverjüngung nur spärlich auftritt, dauert eine flächendeckende, natürliche Wiederbewaldung in der Regel sehr lange.
<b>Wiederbewaldungsmassnahmen</b>	Durch geeignete Förderung der Wiederbewaldung – z.B. durch Rücksichtnahme auf Vorverjüngung, durch Pflanzung etc. – kann die Dauer für die Etablierung eines schutzwirksamen Jungwaldes auf manchen Flächen (auch auf belassenen) deutlich verkürzt werden (vgl. C-4.2.5, S. 89).

### **C-1.1.5 Schutzwirkung von Windwurfflächen im Anrissgebiet**

#### *a) Geräumte Windwurfflächen*

<b>Auch nach der Räumung ist die Oberflächenrauigkeit noch hoch</b>	Durch die Räumung des Sturmholzes wird die im belassenen Zustand sehr hohe Bodenrauigkeit stark herabgesetzt, insbesondere dann, wenn auf die Holzernte eine gründliche Schlagräumung folgt. In der Regel bleibt die Bodenrauigkeit jedoch auch nach einer Räumung so hoch, dass Gleiten und Bodenlawinen weitgehend verhindert werden (NOACK <i>et al.</i> 2004; FREHNER <i>et al.</i> 2005). Dies wird durch die Erfahrungen des Lawinenwinters 1998/99 bestätigt. Selbst bei Schneehöhen von 1,50 bis 2 m waren auch in den geräumten Windwurfflächen von 1990 die übrig gebliebenen Baumstrünke, Wurzelteller und Stammtrümmer noch deutlich sichtbar und damit der grossflächige Aufbau einer einheitlichen Schneedecke behindert. Dennoch waren Ende Februar 1999 in steileren, besonders «sauber» geräumten Windwurfflächen einige bedeutende Lawinenanrisse zu verzeichnen; zwischen Pfäfers und Vättis wurde durch eine solche Lawine die Kantonsstrasse verschüttet.
---	--

**Die Schutzwirkung wird durch Räumung stark herabgesetzt**

Baumstrünke und Asthaufen allein reichen nicht aus, um in steilen Lagen der montanen und subalpinen Stufe das Anreissen von Lawinen zu verhindern. Innerhalb einer Beobachtungsdauer von 10 Jahren lösten sich beispielsweise auf den über 35° (70%) steilen geräumten «Vivian»-Versuchsflächen bei Disentis und Pfäfers mehrere und zum Teil auch grössere Lawinen (FREY und THEE 2002; SCHWITTER 2002). Als im Frühjahr 1999 auf der Versuchsfläche bei Pfäfers maximale Schneehöhen von ca. 2 m gemessen wurden, die etwa einem 20-jährlichen Ereignis entsprachen, verschüttete eine solche Waldlawine die unterhalb liegende Kantonsstrasse.

Trotz der ungewöhnlichen Schneemengen vom Februar 1999, war der Schneedeckenaufbau unterhalb der oberen Waldgrenze relativ stabil. Bei ungünstigeren Schneebedingungen, wie z.B. 1951, müsste bei geräumten, potentiellen Lawinenanrissflächen mit deutlich häufigeren Lawinenabgängen gerechnet werden (W. Frey, schriftl.).

#### b) Belassene Windwurfflächen

**Die Oberflächenrauigkeit ist auf belassenen Windwurfflächen sehr hoch**

In ungeräumten Windwurfflächen wird die Schneedecke in der Regel mannigfach durch Sturmholz, Wurzelteller und Baumstrünke durchbrochen und unterteilt (NOACK *et al.* 2004). Grossflächig zusammenhängende und einheitliche Schneeschichten können sich daher in ungeräumten Windwurfflächen kaum bilden. Selbst wenn die Schneedecke das Sturmholz ganz überdeckt, ziehen sich die Unterbrechungen und Spalten der unteren Lagen oft bis in die obersten Schneeschichten durch (FREY und THEE 2002).

**Die grosse Wirkhöhe des Sturmholzes ergibt in den ersten Jahren eine hohe Schutzwirkung**

In den ersten Jahren nach dem Sturm kann bei geworfenem Baumholz die Wirkhöhe (vgl. Abbildung 7) örtlich 2 bis 3 Meter und mehr betragen. Diese anfänglich grosse Wirkhöhe des Sturmholzes lässt einen Lawinenanriss in der Windwurffläche praktisch nicht zu. In den von Stämmen durchwirkten Schneeschichten reissen bei Hangneigungen bis 45° (100%) kaum Lawinen an. Eine allfällige Gleitfläche liegt vermutlich immer über der Wirkhöhe (vgl. C-1.1.4b) der Stämme. Wird das liegende Holz vom Schnee vollständig überdeckt, so ist bei Hangneigungen von über 30° (58%) das Abgleiten der oberen Schichten als Oberlawine möglich (Tabelle 4), wobei gerade die Verbindung zwischen Holz und Schnee eine Schwachstelle darstellen kann.

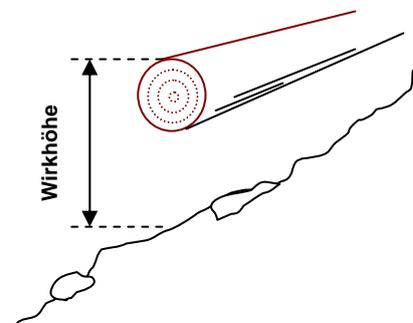


Abbildung 7: Als Wirkhöhe wird hier die durchschnittliche, lotrechte Höhe der obersten Stammlage über dem Boden bezeichnet. Das ist der Bereich, in welchem das liegende Holz für die Schneedecke stabilisierend wirkt. Voraussetzung ist, dass die angenommene Wirkhöhe in den über 30° (58%) steilen Hangpartien gut verteilt ist und keine grösseren Lücken auftreten.

Die Schutzwirkung des liegenden Holzes ist in dreifacher Hinsicht zu sehen:

- es erhöht die Bodenrauhigkeit beträchtlich,
- verhindert einen gleichmässigen Aufbau der Schneedecke und
- stützt die Schneedecke.

Die Schutzwirksamkeit des liegenden Sturmholzes ist besonders hoch, wenn:

- die Wirkhöhe gross ist (nimmt im Lauf der Zeit ab),
- die Stammdurchmesser gross sind,
- die Stämme schräg zur Falllinie liegen und
- die geworfenen Bäume dank Wurzelkontakt gut im Boden verankert sind.

Besondere Abklärungen sind an Stellen geboten, wo mit zusätzlichen grösseren Trieb-  
schneeansammlungen zu rechnen ist, beispielsweise in Waldlücken oder im Lee von  
Geländekanten (FREY und THEE 2002).

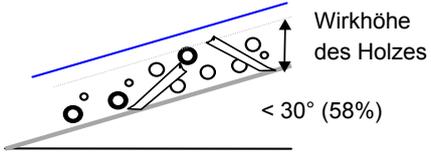
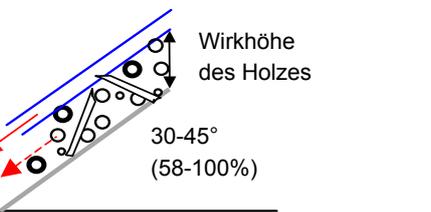
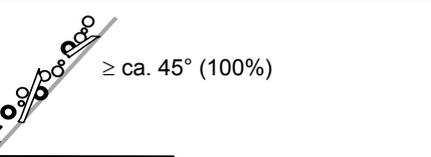
**Belassenes Sturmholz  
bietet keinen 100-pro-  
zentigen Schutz!**

Trotz des sehr effizienten Schutzes durch belassene Windwurfflächen ist eine sorgfältige  
Lagebeurteilung unumgänglich. Allgemeingültige, quantitative Angaben über die Wirkhöhe  
von belassenem Holz, die Lage der Stämme usw. sind problematisch, da der Streubereich  
zu gross ist und sehr stark von den örtlichen Verhältnissen abhängt. Die Beurteilung der  
Wirkung des liegenden Holzes zur Verhinderung von Lawinenanrissen muss sich deshalb  
im konkreten Fall auch auf eigene Beobachtungen und Erfahrungen vor Ort stützen.

Bei über ca. 45° (100%) steilen Windwurfflächen besteht die Möglichkeit, dass auch  
Schneesichten, die von belassenem Sturmholz durchsetzt sind, in Bewegung geraten. Das  
mitgeführte Holz kann die Schadwirkung von Lawinen beträchtlich erhöhen und gegeben-  
enfalls in Gerinnen Verklausungen verursachen (MARGRETH 2004).

Sollen mit Hilfe des liegenden Sturmholzes Strassen oder Siedlungen vor Lawinen  
geschützt werden, ist es infolge des unbekanntes Restrisikos wichtig, dass diese während  
kritischen Situationen gesperrt bzw. evakuiert werden können (SCHWITTER 2002). Beste-  
hen aufgrund eines sehr hohen Gefahren- und Schadenpotentials sehr hohe Anforderungen  
an den Schutz vor Lawinenanriss, so muss die Wirkung des liegenden Sturmholzes eventu-  
ell lokal mit Verbauungen erhöht werden (NOACK *et al.* 2004).

Tabelle 4:  
Stabilität der Schneedecke in Abhängigkeit von der Hangneigung und der Wirkhöhe des liegenden Holzes

Situation	Beschreibung
<p><b>1</b></p>  <p>Wirkhöhe des Holzes &lt; 30° (58%)</p>	<p>Bei Hangneigungen bis zu 30° (58%) ist auch bei Schneehöhen, welche die Wirkhöhe um mehr als 50 cm überragen, nicht mit Lawinenanriss zu rechnen (unterhalb 1200 m ü.M. kann im Normalfall eine kritische Hangneigung von 35° (70%) angenommen werden).</p>
<p><b>2</b></p>  <p>Wirkhöhe des Holzes 30-45° (58-100%)</p>	<p>Bei Hangneigungen von über 30° (58%) beginnt der Bereich, wo bei einer Überdeckung der Wirkhöhe durch mehr als 50 cm Neuschnee Lawinenanrisse zu erwarten sind. Die Gleitschicht liegt dann aber oberhalb der Wirkhöhe. Versuche von (FREY und THEE 2002) bei 40° (85%) Hangneigung haben gezeigt, dass liegende Stämme auch 10 Jahre nach dem Windwurf der Last einer 30-jährlichen maximalen Schneehöhe standhalten können.</p>
<p><b>3</b></p>  <p>≥ ca. 45° (100%)</p>	<p>Wird es noch steiler, so liegt die Holzaufgabe selbst so instabil, dass sie auch ohne zusätzliche Schneebelastung abrutschen kann. Ab ca. 50° (120%) sind wegen häufiger Hangentladung nur kleine Lawinen zu erwarten.</p>

Im Laufe der Zeit nimmt die Wirkhöhe ab

In der Regel besteht bezüglich Lawinengefahr kein Anlass für ein möglichst rasches Handeln. Der anfänglich sehr effiziente Schutz nimmt während der ersten Jahre nicht wesentlich ab.

Der Holzabbau verläuft je nach Besonnung, Bodenkontakt, Niederschlagsverhältnissen etc. sehr uneinheitlich (ALBRECHT 1991). Stellenweise hatte Sturmholz 10 Jahre nach «Vivian» noch kaum an Festigkeit eingebüsst, andernorts – oft auch im selben Stamm – war die Zersetzung schon erstaunlich weit fortgeschritten. In der subalpinen Stufe, in stark besonnten Lagen sowie bei grossen Stammdurchmessern dürfte der Setzungs- und Zersetzungsprozess deutlich länger, d.h. mehrere Jahrzehnte, dauern. Dasselbe gilt auch für hochgelagerte Stämme ohne Bodenkontakt.

Im Falle der belassenen Versuchsfläche bei Disentis sank die anfänglich grosse Wirkhöhe von schätzungsweise über 150 cm in den ersten 10 Jahren auf gut 110 cm. Die Setzungen erfolgten hauptsächlich während der schneereichen Wintern 1991/92, 1994/95 und 1998/99. Auch nach fast 10 Jahren war die Wirkhöhe noch genügend hoch, um im «Lawinenwinter» 1998/99 Lawinenanrisse zu verhindern (FREY und THEE 2002). Wie die Abbildung 8 zeigt, zeichneten sich selbst bei Schneehöhen von über 150 cm noch genügend liegende Fichten deutlich in der Schneedecke ab oder ragten aus der Schneedecke heraus. Im Gegensatz zu benachbarten geräumten Windwurfflächen wurden in jenem Winter praktisch keine Lawinenanrisse festgestellt werden. Als Ausnahme sind kleine Schneebrettlawinen zu erwähnen, die bei einer Hangneigung von 45° (100%) losrissen und durch das liegende Holz rasch wieder gestoppt wurden.

Abbildung 8:  
 WSL-Versuchsfläche bei  
 Disentis (1400–1500 m ü.M.)  
 am 25.2.1999 (9 Jahre nach  
 Vivian) mit einer Schneehöhe  
 von 150 cm. Im Mittel hatten  
 die Stämme der belassenen  
 Teilfläche (Bildmitte) eine  
 Wirkhöhe von knapp 120 cm.  
 (Foto: W. Frey, WSL)



Situationen, bei denen die Schneedecke mit dem liegenden Holz losgerissen wäre, wurden bisher keine beobachtet. Offenbar ist diese Gefahr eher gering einzustufen. Ein solches Szenario ist ab einer Hangneigung von ca. 45° (100%) denkbar (vgl. Tabelle 4). Versuche von (FREY und THEE 2002) haben gezeigt, dass das liegende Sturmholz auch bei Hangneigungen von 85% (40°) noch durchaus den Druck einer 30-jährlichen, extremen Schneehöhe ( $H_{\text{ext}} = 2,4 \text{ m}$ ) aufzunehmen vermag. Dieser Versuch wurde neun Jahre nach dem Sturmergebnis am Bläserberg bei Pfäfers (SG) durchgeführt.

Ein junger Fichtenbestand muss mindestens die doppelte extreme Schneehöhe erreicht haben, um die Schutzwirkung gegen Lawinenanriss zu gewährleisten. Bis dahin kann es im Gebirgsfichtenwald bei hoher Verbissintensität ohne weiteres 30 und mehr Jahre dauern (KUPFERSCHMID *et al.* 2004). Bis gegen 30 Jahre lang kann vermutlich auch mit einer gegen Lawinenanriss wirksamen Stammschicht gerechnet werden (FREY und THEE 2002). Innerhalb dieses Zeitraumes, in dem die Schutzwirkung der liegenden Stämme laufend abnimmt, muss die Wiederbewaldung so gefördert werden, dass bei Abnahme der Wirkung des liegenden Holzes der Jungwald die Schutzfunktion wieder mehr und mehr übernimmt (Abbildung 9). Entscheidet man sich, auf einer Windwurffläche mit mangelnder Vorverjüngung und dynamischer Entwicklung von Hochstauden und Himbeeren das Sturmholz liegen zu lassen, so bedeutet dies: möglichst rasch nach dem Windwurf eine genügende Anzahl junger Bäume (ca. 4000 Bäume/ha) zwischen die liegenden Stämme pflanzen (SCHWITTER 2002).

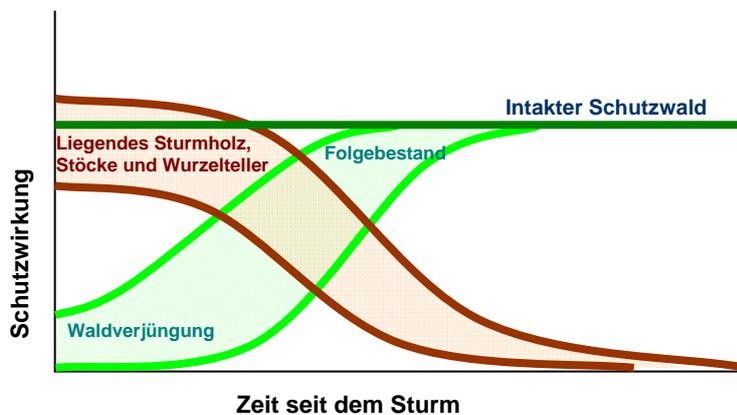


Abbildung 9: Gedankenmodell über den Verlauf der Schutzwirkung auf einer Windwurffläche. Je nach Räumungsintensität, Menge, Dimensionen sowie Zersetzungsfortschritt bewegt sich der Schutz durch das verbleibende Sturmholz am oberen oder unteren Rand des Bandes. Der neu aufkommende Bestand übernimmt die Schutzfunktion nach und nach, entsprechend der Vorverjüngung und den nach dem Sturm vorherrschenden Ansamungs- und Aufwuchsbedingungen. Bei mangelnder Verjüngung kann die Schutzwald-Entwicklung durch Pflanzung wesentlich beschleunigt werden. Sturmholz und aufkommender Folgebestand können zwar nicht einfach zu einer «Gesamtschutzwirkung» aufsummiert werden, sie unterstützen sich aber gegenseitig bis der Folgebestand die Schutzfunktion wieder voll übernimmt (Grafik nach W. Schönenberger, unveröffentlicht).

#### C-1.1.6 Schutzfunktion von Belassen in der Sturzbahn

Bei kleineren, in belassenen Windwurfflächen anreissenden Schneebrettlawinen ist die Gefahr gering, dass sie Material mitreissen könnten, auch wenn in der Sturzbahn vereinzelte Stämme über die Gleitschicht herausragen. Wenn genügend Stämme in der Sturzbahn liegen, ist die Wahrscheinlichkeit sogar gross, dass die Lawine frühzeitig wieder gestoppt wird. Bei einer Hangneigung von  $45^\circ$  (100%) und einer Anrissmächtigkeit von 50 cm brauchen Schneebrettlawinen eine Fliessstrecke von 20 m, um praktisch die Endgeschwindigkeit zu erreichen. Eine oberhalb der Windwurffläche anreissende Lawine, die in voller Fahrt über die Windwurffläche hinwegfegt, reisst das liegende Holz einfach mit. Solchen Kräften vermag aber auch ein noch stehender Bestand nicht zu widerstehen.

#### C-1.1.7 Liegendes Sturmholz als Alternative zur Räumung mit Lawinenverbau?

Angesichts des sehr hohen Kostenaufwandes, den eine Räumung mit anschliessender Lawinenverbauung mit sich bringt, lohnt sich eine genauere Prüfung möglicher Alternativen. Als wesentlich kostengünstigere Alternative bietet sich die Ausnützung des liegenden Sturmholzes an, die über viele Jahre hinweg das Anreissen von Lawinen wirksam verhindert. Gleichzeitig kann in vielen Fällen durch Förderung der Vorverjüngung, Auspflanzung zwischen den Stämmen und entsprechende Begleitmassnahmen ein Jungwald herangezogen werden, der die mit der Zeit nachlassende Schutzfunktion des Sturmholzes rechtzeitig übernimmt.

Wichtig ist die periodische Kontrolle der lawinenkritischen Stellen. Wenn sich die Wirkhöhe durch Setzung des Sturmholzes auf die 30-jährliche maximale Schneehöhe verringert und der Jungwald noch weit davon entfernt ist, die Schutzfunktion zu übernehmen, kann an kritischen Stellen auch dann noch mit einzelnen temporären Stützwerken nachgeholfen werden. Die technischen Möglichkeiten, beispielsweise vorgefertigte Stützwerke, erlauben heute ein zeitlich und örtlich differenziertes Vorgehen.

#### **C-1.1.8 Schutzwirkung abgestorbener Fichtenbestände nach Buchdruckerbefall**

Im Anschluss an die Windwürfe von «Vivian» brachte der Buchdrucker oberhalb Schwanden (GL) an der steilen Nordflanke des Gandbergs auf einer Fläche von 30 ha einen Fichtenbestand zum Absterben. Die toten Bäume wurden danach stehen gelassen. Bis zum Sommer 2000 wurden rund 75% der Bäume durch den Wind gebrochen (KUPFERSCHMID *et al.* 2004). Die meisten Stämme kamen quer zur Falllinie zu liegen und bildeten so einen wirksamen Schutz gegen Steinschlag und Lawinenanriss (vgl. Abbildung 10).

Während der bis anhin achtjährigen Beobachtungsdauer waren im Totholzbestand weder Lawinenanrisse noch nennenswerte Steinschlagaktivitäten festzustellen. Als Ausnahme erwähnt (KUPFERSCHMID ALBISETTI 2003) einen kleineren Steinschlag, der aber nach wenigen Metern durch die Stöcke und liegenden Stämme gestoppt wurde. Wäre das Totholz genutzt worden, so hätten in diesen Steillagen Erosion, Steinschlag und die Gefahr von Lawinenanriss mit grosser Wahrscheinlichkeit zugenommen (KUPFERSCHMID ALBISETTI 2003). Auch KUPFERSCHMID *et al.* (2004) rechnen damit, dass das Totholz am Gandberg während 30 Jahren wesentlich zum Schutz vor Naturgefahren beitragen wird. Voraussetzung ist das gleichzeitige Aufkommen eines Folgebestandes, der sich in dieser Phase mehr und mehr mit dem Totholz in die Schutzaufgabe teilt (vgl. Abbildung 9).



Abbildung 10: Totholzbestand am Gandberg bei Schwanden nach Buchdruckerbefall. Die inzwischen vom Wind gebrochenen Stämme bilden einen wirksamen Schutz vor Steinschlag und Lawinenanriss. (Foto: A. Kupferschmid)

## C-1.2 Steinschlag und Sturzholz vermeiden

### C-1.2.1 Begriffe

- **Steinschlag / Blockschlag:** Bewegung von stürzenden Steinen sowie deren Interaktion mit der Umgebung (FREHNER *et al.* 2005).
- **Steine und Blöcke** werden in fünf Grössenklassen unterteilt (Tabelle 5).
- **Sturzholz:** Ähnlich dem Steinschlag können sich in steilem Gelände und entlang von Geländekanten auch Wurzelteller, Baumstämme oder Teile davon aus ihrer Verankerung lösen und gleitend, rollend oder springend talwärts bewegen.

Tabelle 5: Grössenklassen von Steinen und Blöcken (GERBER 1994)

	Mittlere Abmessungen	Masse*
Steine	< 0,5 m	< 250 kg
kleine Blöcke	0,5 – 1,0 m	250 – 2 000 kg
mittlere Blöcke	1,0 – 1,5 m	2 000 – 7 000 kg
grosse Blöcke	1,5 – 2,0 m	7 000 – 15 000 kg
Grossblöcke	> 2,0 m	> 15 000 kg

\*Mittelwert: Quaderformen weisen 20% mehr, Kugelformen 20% weniger Masse auf.

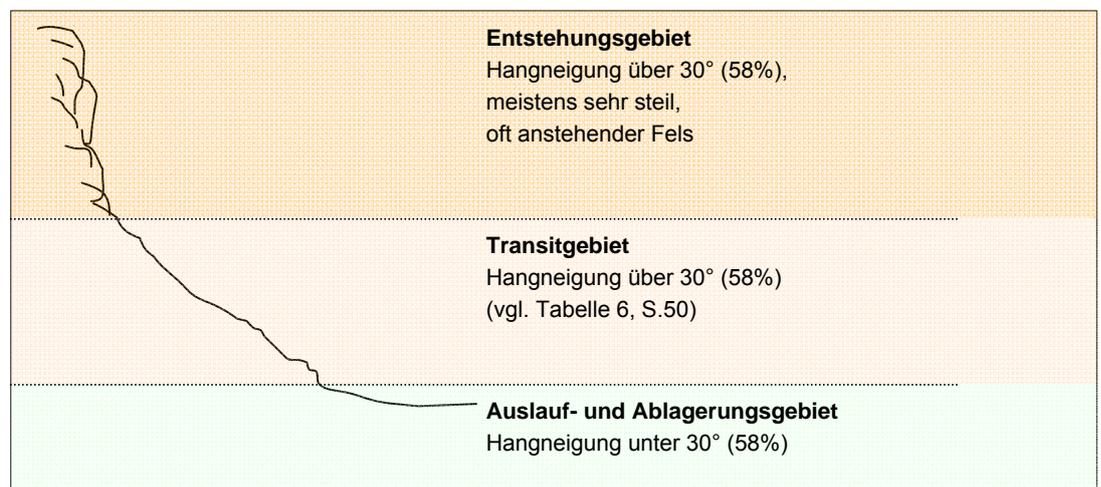


Abbildung 11: Einteilung eines Steinschlaggebietes gemäss FREHNER *et al.* (2005).

### C-1.2.2 Schadenpotential

Der Gefährdungsbereich umfasst das Transit- und Ablagerungsgebiet (vgl. C-1.2.2a und C-1.2.2b). Im konkreten Fall kann die Reichweite des Steinschlags evtl. durch Spuren im Gelände oder anhand von Gefahrenhinweiskarten festgestellt werden. Steine und Blöcke kommen häufig innerhalb eines Pauschalgefälles (vgl. Abbildung 3, S. 39) von ungefähr 30° (58%) zum Stillstand (GERBER 1998; PERRET *et al.* 2004). Dabei sind die Faktoren, welche die Sturzbahn verlängern bzw. verkürzen, zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 6).

Die Reichweite von Steinen mit und ohne die bremsende Wirkung des Waldes kann heute auch mit Hilfe von Simulationsmodellen recht zuverlässig abgeschätzt werden (STOFFEL *et al.* 2005).

#### a) Transitgebiet

Im *Transitgebiet* des **Steinschlags** ist die Hangneigung über 30° (58%). Das bedeutet, dass die Steine bei hindernisfreier Sturzbahn eine Beschleunigung erfahren bzw. deren Geschwindigkeit zunimmt (FREHNER *et al.* 2005). Um eine maximale Geschwindigkeit und damit je nach Gelände auch grosse Sprungweiten zu erreichen, kann bereits eine Bahnlänge von 40 m genügen (GSTEIGER 1993).

Die Transitstrecke von **Sturzholz** ist abgesehen von Wurzeltellern und entastetem Stammholz meist deutlich verkürzt. Für eine Beschleunigung oder das Aufrechterhalten der Sturzeschwindigkeit sind in der Regel Hangneigungen von über 45° (100%) nötig. Äste lassen rollende Bewegungen nur begrenzt zu und bei Stämmen mit Wurzeltellern wird die anfänglich falllinienparallele Sturzbahn relativ rasch durch seitliches Ablenken verkürzt.

Hindernisse, wie Bäume oder liegendes Sturmholz, können die Transitstrecke erheblich verkürzen und das Ablagerungsgebiet nach oben verschieben (vgl. Tabelle 6; LUNDSTRÖM *et al.*; DORREN *et al.* 2005; SCHÖNENBERGER *et al.* 2005). Eine ähnliche Wirkung haben auch tiefgründige Böden mit hoher Dämpfung.

#### b) Ablagerungsgebiet

Im Ablagerungsgebiet werden die Steine und Blöcke bzw. das Sturzholz abgebremst und gestoppt. Bei weniger als 25° (45%) Hangneigung stoppen die Steine meistens nach kurzer Distanz» (FREHNER *et al.* 2005).

Tabelle 6: Bei flachgründigen Bodenverhältnissen kommen kleine Blöcke in der Regel innerhalb eines Pauschalgefälles von 30° (58%) zum Stillstand. Die Tabelle zeigt, welche Faktoren die Reichweite des Steinschlags verkürzen (grösseres Pauschalgefälle) bzw. verlängern (kleineres Pauschalgefälle) können.

Minimales Pauschalgefälle:	> 30° (58%) Reichweite wird verkürzt durch:	< 30 (58%) Reichweite wird verlängert durch:
Eigenschaften des Steinschlagmaterials:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steine (vgl. Tabelle 5, S. 50).</li> <li>• kantiges oder plattiges Gestein.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittlere Blöcke oder grösser (vgl. Tabelle 5, S. 50).</li> <li>• runde Formen der Steine und Blöcke.</li> </ul>
Eigenschaften des Waldes:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stammzahlreiches, stehendes Stangen- oder Baumholz.</li> <li>• liegendes Holz; je nach Lage zur Falllinie, Durchmesser und Zersetzungsgrad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lichter Wald oder unbestockt.</li> <li>• kleine Baumdurchmesser.</li> </ul>
Eigenschaften des Geländes:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grosse Bodenrauhigkeit, z.B. Hangschutt.</li> <li>• tiefgründiger Boden, d.h. grosse Dämpfung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Bodenrauhigkeit.</li> </ul>

### C-1.2.3 Gefahrenpotential

Nach Windwürfen kann die Steinschlaggefahr bei entsprechender Hangneigung und Geologie zunehmen, z.B. weil

- durch Entwurzelung Steine freigelegt werden,
- der Frost nach dem Wegfall des schützenden Bestandes tiefer in den Boden eindringt und dadurch das Gestein schneller verwittert,
- die Funktionstüchtigkeit des geschädigten Steinschlag-Schutzwaldes vermindert ist (FREY *et al.* 1995).

**Steinschlag** entsteht in der Regel über bei Hangneigungen von mehr als 30° bzw. 58% (vgl. Tabelle 6).

Meistens sind steinschlagaktive Zonen im Gelände deutlich sichtbar oder aus Aufzeichnungen, wie Gefahrenkataster und Gefahrenkarten, bekannt.

Im Zusammenhang mit dem Windwurfereignis können kurz- oder mittelfristig auch neue Steinschlagquellen entstehen, wenn mit den Wurzeltellern auch grössere Steine aus dem Verbund gerissen werden, die sich mit der Zeit aus dem Wurzelballen lösen. Darauf ist zu achten, wenn das Sturmholz, welches solche losgelösten Steine wieder stoppen könnte, geräumt wird.

Abgesehen von zu nah am Stock abgetrennten Wurzeltellern, die sich bei entsprechender Form wie Steine verhalten können, entsteht **Sturzholz** in der Regel erst bei Hangneigungen von über 45° (100%), wenn sich die Bäume oder Wurzelteller von ihrer Verankerung lösen oder stehende Totholzstämme nach einigen Jahren brechen.

#### C-1.2.4 Wirkung von geräumten Windwurfflächen gegenüber Steinschlag

##### a) Entstehungsgebiet:

Beim Räumen kann labiles Sturmholz entfernt oder gesichert werden

An Stellen, wo das Sturmholz instabil liegt und als Sturz- oder Rutschmasse direkt oder im Bereich von Bächen indirekt erhebliche Schäden verursachen kann, ist eine saubere Räumung sinnvoll (GERTSCH und KIENHOLZ 2004).

Grössere in Wurzeltellern eingebundene Steine «lösen sich meistens mit der Verwitterung der Wurzeln und stellen so eine Steinschlagquelle dar (z.B. im Jura häufig). Lose Wurzelteller können sich in Bewegung setzen. Falls beim Absägen des Baumstammes mindestens 4 m des Stammes am Stock bleibt, kann dieses Problem weitgehend vermieden werden» (FREHNER *et al.* 2005).

Schlecht verankertes Holz kann leicht in Bewegung geraten. Dies ist bei grossen Hangneigungen, bei entastetem oder entrindetem Stammholz auch die Sturzgefahr, sowie bei entsprechender Schneewirkung besonders zu beachten (FREHNER *et al.* 2005).

##### b) Transit- und Ablagerungsgebiet:

Durch Räumung wird ein hochwirksamer Steinschlagverbau entfernt

Selbst geräumte Windwurfflächen bieten dank der aufgeklappten Wurzelteller, hohen Stöcke und dem zurückbleibenden Restholz einen ähnlich hohen Schutz wie der ehemalige Wald. Die Strukturelemente sind zwar weniger hoch aber dafür ausgedehnter in der Horizontalen (NOACK *et al.* 2004). Asthaufen tragen zur Dämpfung bei.

Dennoch wird mit der Räumung des liegenden Sturmholzes wird in vielen Fällen ein über längere Zeit hinweg hochwirksamer, natürlicher Steinschlagschutz-«Verbau» entfernt (FREHNER *et al.* 2005).

#### C-1.2.5 Wirkung von belassenen Windwurfflächen gegenüber Steinschlag

##### a) Entstehungsgebiet:

Steinschlag wird durch das Sturmholz «im Keim erstickt» – während Jahrzehnten

Durch die liegenden Baumstämme wird das Ausbrechen von Steinen und oft auch von kleineren Blöcken über Jahrzehnte hinweg unterbunden (FREHNER *et al.* 2005). In einer belassenen Fläche ist auch die Erosion bzw. die Gefahr von oberflächlichen Rutschungen gering, was sich bezüglich Steinschlags ebenfalls günstig auswirkt.

In steilen Lagen kann belassenes Holz instabil werden

«In sehr steilen Windwurfflächen mit Hangneigungen von 50 bis 55° (120 bis 140%), beispielsweise im Bündner Oberland, sind Baumstämme und Steine bereits im ersten Jahr nach dem Sturmereignis abgerutscht. Vielfach liegen Stämme und Steinmassen in Bach- und Flussbetten, wo sie bei einem Hochwasser weiteren Schaden anrichten können» (FREY *et al.* 1995).

b) *Transit- und Ablagerungsgebiet:*

**Die Oberflächenrauigkeit ist in belassenen Flächen sehr hoch**

Liegendes Sturmholz erhöht die Oberflächenrauigkeit markant. In den ersten Jahren liegen die Stämme oft meterhoch übereinander. Dadurch werden die minimalen Anforderungen für den Schutz vor Steinschlag bei Weitem erfüllt. Schräg zur Falllinie liegendes Holz bremst die Steine, während quer zur Falllinie liegende Stämme die Steine auch zum Stillstand bringen. Werden springende Steine einmal durch Hindernisse oder abflachendes Gelände zum Rollen abgebremst, dann ist die Wirkung von liegendem Holz besonders gross. Liegendes Holz im Transitgebiet kann auch den neu aufkommenden Bestand vor Verletzungen schützen (NOACK *et al.* 2004; FREHNER *et al.* 2005).

Lose Steine, die auf einer geräumten Fläche unter Umständen weit hinunterrollen können, sammeln sich auf belassenen Windwurfflächen oft hinter quer liegenden Stämmen an. Unter Umständen kann eine Windwurffläche selbst zum Entstehungsgebiet werden, wenn sich grössere Steinansammlungen nicht genügend mit dem Boden verbinden und bei fortgeschrittenem Zersetzungsgrad des Holzes wieder losbrechen, oder wenn sich Steine aus aufgeklappten Wurzeltellern lösen. Diese Möglichkeit ist insbesondere in steilen Lagen, d.h. bei Hangneigungen über 30° (58%) gegeben (FREY *et al.* 1995; FREHNER *et al.* 2005). Oft wird solches Material durch die unterhalb liegenden, belassenen Stämme, durch die nach wie vor grosse Bodenrauigkeit oder den inzwischen aufgekommenen Jungwald relativ schnell wieder zum Stillstand gebracht. Der Steinschlagschutz einer belassenen Windwurffläche wirkt auf grosser Fläche. Insgesamt überwiegt diese Stärke das Risiko, dass allenfalls lokal aufgestaute Steine später wieder losbrechen könnten, bei weitem. Dennoch sind im Schutzwald gefährliche Steinansammlungen langfristig im Auge zu behalten. Allenfalls drängen sich bei fortschreitender Zersetzung des Staukörpers lokale Schutzmassnahmen auf, beispielsweise das Anbringen neuer Stämme unterhalb der verfaulenden Stämme (FREHNER *et al.* 2005).

**Blöcke können den Sturmholzverhau durchbrechen**

Blöcke mit einem mittleren Durchmesser von mehr als 1 m (ca. 2'000 kg) werden durch eine belassene Windwurffläche nur bedingt aufgehalten. Schon bei Sprungweiten von 5–7 m erreicht ein solcher Block eine Geschwindigkeit von 10 m/s und damit eine kinetische Energie von mehr als 100 kJ. Um einen liegenden Stamm zu durchschlagen, wird hingegen, je nach Durchmesser, Baumart und Zersetzungsgrad des Stammes, weit weniger Energie benötigt. Auch in einem intakten, stehenden Wald kann kaum mit mehr Widerstand gerechnet werden (GERBER 1998). Bei grösseren Blöcken mit einem mittleren Durchmesser von mehr als 1,5 m (ca. 7'000 kg) wirkt der Wald zwar immer noch bremsend, vermag aber die Geschwindigkeit solcher Blöcke ohne gleichzeitig abflachendes Gelände kaum mehr zu stoppen.

### **C-1.2.6 Schutzwirkung abgestorbener Fichtenbestände nach Käferbefall**

Das Absterben der stehenden Fichten hat keinen unmittelbaren Verlust des Steinschlag-schutzes zur Folge. Die Bäume bleiben noch mehrere Jahre stehen und brechen gemäss den Erfahrungen am Gandberg bei Schwanden (GL) oft auf einer Höhe von 1 bis 5 m. Nach dem Absterben entwurzelte Bäume wurden keine beobachtet (KUPFERSCHMID *et al.* 2004). Kommen die abgebrochenen Baumteile quer zur Falllinie zu liegen, so entsteht durch die hohen Stöcke und die liegenden Stämme ein hochwirksamer Steinschlag-«Verbau», der die Schutzwirkung des ehemaligen Bestandes übertreffen kann (vgl. Abbildung 2, S. 14). Mit der fortschreitenden Zersetzung verlieren die hohen Stöcke und die liegenden Stämme aber an Festigkeit. Dies kann sich negativ auf die Schutzwirkung solcher Flächen auswirken. Ebenfalls ist bei grosser Hangneigung, bei ungünstiger Fallrichtung abbrechender Stämme sowie bei entsprechender Schneewirkung die Gefahr von Sturzholz aus solchen Flächen zu beachten.

## C-1.3 Rutschungen, Hangmuren und Erosion vermeiden

### C-1.3.1 Begriffe

- **Rutschung:** Hangabwärts gerichtete Bewegung von Erd-, Fels- oder Lockergesteinsmassen längs einer Gleitfläche. Bei starker Durchnässung der Rutschmasse kann sich daraus eine Hangmure entwickeln.

	Tiefe der Gleitfläche
flachgründige Rutschungen:	0–2 m
mittelgründige Rutschungen:	2–10 m
tiefgründige Rutschungen:	> 10 m

- **Hangmure:** Murgang, der an einem Hang entsteht (↪C-1.4.1, S. 64).
- **Erosion:** Abtrag und Transport von Feststoffen durch fliessendes Wasser, Gletscher, Wind, Wellen usw.
- **Oberflächenerosion:** Erosion einer ausgedehnten gleichförmigen Schicht der Bodenoberfläche durch die Tätigkeit von Wasser, Schnee oder Wind.

(Definitionen aus FREHNER *et al.* 2005)

Tabelle 7: Dokumente und Hinweise im Gelände als Hilfe für die Abschätzung der Rutschgefahr

Unterlagen	Hinweise im Gelände
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahrenkarte, Gefahrenhinweiskarte</li> <li>• Karte von Boden- und Hanginstabilitäten</li> <li>• Ereigniskataster, Ereignisdokumentationen</li> <li>• Geologische Karte</li> <li>• Modellierungsergebnisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hangneigung</li> <li>• Geologie und Bodeneigenschaften</li> <li>• Geländeform</li> </ul>

### C-1.3.2 Schadenpotential

Rutschungen i.e.S. sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung, da die Distanz zwischen Entstehungs- und Ablagerungsort normalerweise gering ist. Bei genügender Verflüssigung des Materials und entsprechender Hangneigung (vgl. C-1.3.2) können sich Rutschungen zu Hangmuren mit grossen Verlagerungsdistanzen weiterentwickeln und damit auch weiter entfernte Objekte gefährden.

Die Reichweite von Rutschungen und Hangmuren und somit die mögliche Gefährdung von Objekten kann evtl. aus Spuren im Gelände, Dokumentationen früherer Ereignisse oder aufgrund spezieller Gutachten hergeleitet werden. Die Bandbreite des Pauschalgefälles und der möglichen Reichweite ist gross. (RICKLI und BUCHER 2003) stellten bei der Analyse ausserordentlicher Starkniederschlagsereignisse in den Gebieten Napf und Appenzell Reichweiten von 8 bis 150 m innerhalb von Pauschalgefällen zw. 17 bis 48° (31–111%) fest. 90% der ohne hindernisfrei auslaufenden Rutschungen bewegten sich innerhalb eines Pauschalgefälles von 20° (36%) und flossen maximal 80 m weit.

### C-1.3.3 Gefahrenpotential

#### a) Voraussetzungen für Erosion

<b>Starkniederschlag</b>	Es braucht in der Regel starke Niederschläge, damit die Infiltrationskapazität des Bodens überschritten wird und das Wasser oberflächlich abfließt. Erst dann kann es zu bedeutender Erosion kommen.
<b>grosse Hangneigung</b>	Je steiler desto intensiver wirkt in der Regel die Oberflächenerosion. Auf vegetationsfreien Böden kann sie schon bei geringen Hangneigungen auftreten.
<b>ungünstige Bodeneigenschaften</b>	Feinerdereiche Böden sind stark erosionsanfällig, wenn das Feinmaterial (Korngrösse < 2 mm) mehr als 60% Silt (Korngrösse 0,002–0,06 mm) enthält (COPPIN und RICHARDS 1990).

#### b) Voraussetzungen für flachgründige Rutschungen

<b>Starkniederschlag</b>	<p>Flachgründige Rutschungen entstehen meistens in Verbindung mit Wasser, das in den Boden eindringt. Auslösend sind in der Regel Niederschläge kurzer Dauer und hoher Intensität. Nicht unbedeutend ist dabei auch die Niederschlagsmenge, die dem Ereignis vorausgeht.</p> <p>Besteht die Gefahr von Rutschungen, so kann diese allenfalls durch eine fachgerechte Entwässerung entschärft werden. Wegen zahlreicher Schwierigkeiten müssen aber die Vor- und Nachteile solcher Massnahmen zuvor eingehend geprüft werden (BÖLL 1997; GERBER <i>et al.</i> 2002). Die Ableitung des Niederschlagswassers ist insbesondere beim Bau neuer Strassen und Wege zu speziell zu berücksichtigen.</p>
<b>grosse Hangneigung</b>	Rutschungen treten häufig bei Hangneigungen von 30–45° (58–100%) auf. Die Analyse zahlreicher Rutschungen in den Gebieten Sachseln, Appenzell und Napf, die in der Folge von drei Starkniederschlagsereignissen entstanden waren, lässt auf den Neigungsbereich schliessen, in welchem Rutschungen besonders häufig auftreten (RICKLI und BUCHER 2003). In Sachseln ereigneten sich 80% der Rutschungen bei Neigungen zwischen 34 und 41° (67–87%), in den Gebieten Napf und Appenzell war das Gelände bei gegen 90% der Fälle zwischen 29–44° (55–97%) steil (vgl. Abbildung 12). Bei Hangneigungen unterhalb 20–23° (36–42%) sind Rutschungen offenbar selten und oft im Zusammenhang mit Strassenböschungen, konzentrierten Wassereinleitungen oder Gerinneerosion zu beobachten. Im Steilgelände über ca. 50° (119%) sind Rutschungen selten, weil dort die Lockergesteinsdecke weniger mächtig ausgebildet ist.
<b>ungünstige Geologie</b>	Ein wichtiges Kriterium für die Stabilität eines Hanges ist der Winkel der inneren Reibung des Lockermaterials. Er bezeichnet ungefähr die Grenzneigung einer Böschung und ist unter anderem abhängig von der Korngrössenverteilung des Bodenmaterials. Böden mit einem hohen Anteil feiner Komponenten (Ton und Silt) weisen im Allgemeinen eine vergleichsweise geringe Standfestigkeit auf (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Bodeneigenschaften und entsprechende kritische Hangneigungen, ab welchen mit Rutschungen zu rechnen ist (Tabelle nach FREHNER *et al.* 2005)

Lockergesteinsart	kritische Hangneigung (kann in speziellen Fällen auch tiefer sein)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mergelreiche Böden</li> <li>• tonreiche Böden</li> </ul>	ab 25° (47%)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittlere Bodeneigenschaften, ohne starke Vernässungsmerkmale</li> </ul>	ab 30° (58%)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• gut durchlässige Böden</li> <li>• Böden mit wenig Feinanteilen (Ton, Silt)</li> <li>• sandige, kiesige Böden</li> </ul>	ab 35° (70%)

### Spuren im Gelände

Die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zeigen keinen einheitlichen Einfluss der Geländeform auf die Rutschungsaktivität. Während in verschiedenen Gebieten insbesondere Terrassenkanten und Muldenlagen betroffen waren, ereigneten sich in anderen Gebieten deutlich mehr Rutschungen an Hängen ohne Wölbung (RICKLI 2001; RICKLI und BUCHER 2003). Oft können jedoch in der Umgebung von abgegangenen Rutschungen Anzeichen früherer Bodenbewegungen beobachtet werden. Für die Beurteilung der Rutschgefahr stellt deshalb die Geländebeobachtung ein wichtiger Faktor dar.

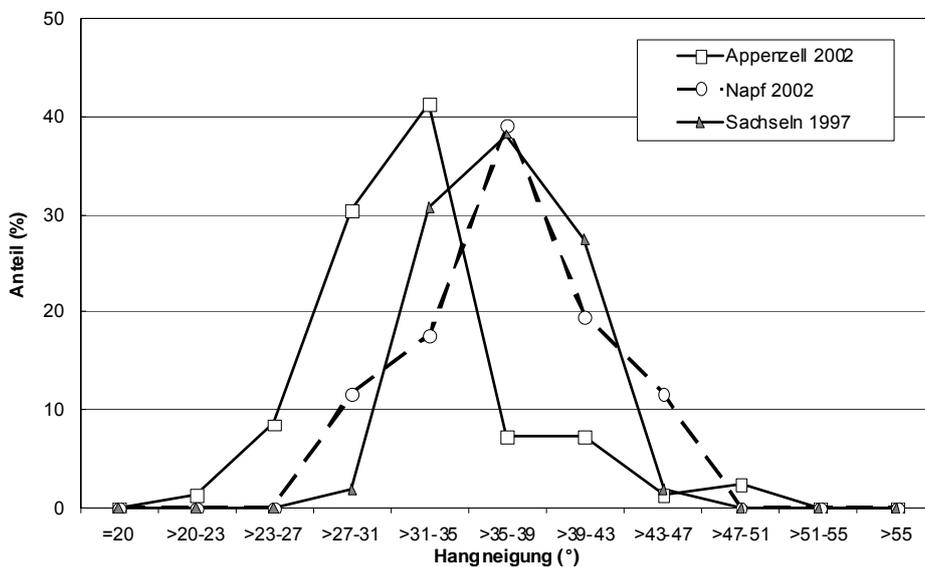


Abbildung 12 und Tabelle 9: Anteil Rutschungen pro Neigungsklasse in den Untersuchungsgebieten Sachseln, Napf und Appenzell. Die unterschiedlichen Bandbreiten erklären sich im Wesentlichen aus der Intensität des auslösenden Niederschlagsereignisses, der Geologie und den im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Hangneigungen. In Sachseln sind leicht geneigte Hänge weniger häufig als in den Gebieten Napf und Appenzell (RICKLI und BUCHER 2003).

	Napf	Appenzell	Sachseln
<b>Ereignisdatum:</b>	16.7.2002	1.8.2002	15.8.1997
<b>Niederschlagsmenge:</b>	53 mm/24h	150 mm/24h	150 mm/2h
<b>Max. Intensität:</b>	46 mm/4h	100 mm/4h	90 mm/1h
<b>Geologie:</b>	Konglomerate, Sandstein, Mergel	Sandstein, Mergel	Kalk, Mergel Sandstein
<b>Anzahl Rutschungen:</b>	51	82	280

### C-1.3.4 Wirkung des Waldes gegen oberflächennahe Rutschungen

Der Wald wirkt stabilisierend, indem er

- mit seinem Wurzelwerk den Boden armiert,
- vor Verwitterung schützt,
- durch Verdunstung und Transpiration den Boden entwässert und
- im Wurzelraum das Porenvolumen vergrößert.

Die Erfahrungen zeigen, dass oberflächennahe Rutschungen im Freiland im Allgemeinen deutlich häufiger auftreten als im Wald. Aus der Analyse des Unwetters von Sachseln ergab sich auch, dass das Risiko Rutschungen in vitalen Waldbeständen geringer war als in Beständen, deren Zustand schlechter taxiert wurde, oder gar als in den Schadenflächen, die durch Windwurf oder Borkenkäfer verursacht waren (RICKLI *et al.* 2002).

#### Die Wurzeln «armieren» den Boden

Das Wurzelwerk trägt vor allem dann zur Hangstabilität bei, wenn es die rutschanfällige Bodenschicht mit dem stabileren Untergrund verbindet (RICKLI *et al.* 2002).

- Je mächtiger die labilen Bodenhorizonte sind, umso weniger wird eine potentielle Bruchfläche durch Wurzeln überbrückt.
- Je tiefer ein Baum wurzelt, desto intensiver ist die Verbindung zwischen der labilen Schicht und dem stabileren Untergrund, vorausgesetzt die Bruchfläche bildet sich innerhalb der potentiell durchwurzelbaren Bodenhorizonte aus.

Demnach können insbesondere Baumarten wie die Tanne, der Bergahorn und andere Laubbäume, die auch bei schwierigeren Böden tief wurzeln, einen wertvollen Beitrag zur Bodenstabilität leisten. Wurzelverbindungen über die potentielle Bruchfläche hinweg sind jedoch nur möglich, wenn diese stabileren Bodenhorizonte ausreichend belüftet sind und nicht selbst aufgrund ihrer Dichte eine Durchwurzelungssperre darstellen (SCHÄFFER 2004).

Dank der stabilisierenden Wurzelwirkung sind selbst in steilen Lagen Böden gewachsen, die aufgrund der Scherfestigkeit des Bodenmaterials allein nicht hätten entstehen können (vgl. Tabelle 8). Solche Böden sind nach Windwurf besonders erosions- und rutschgefährdet (MENASHE 1998; RICKLI 2001; GERTSCH und KIENHOLZ 2004).

Die Bodenarmierung ist gegeben durch das Zusammenwirken der Grob- und Feinwurzeln. Als Drittes leisten auch die Mykorrhizapilze einen wesentlichen Beitrag zur Bildung einer stabilen Bodenmatrix.

#### Wald beeinflusst den Wasserhaushalt günstig

Je nach Bodentyp kann der darauf stockende Wald mit seinem Wurzelwerk die Speicherkapazität und die Durchlässigkeit des Bodens merklich erhöhen. Er sorgt auch durch Interzeption dafür, dass langfristig gesehen ein bedeutender Teil des Niederschlagswassers bereits an der Blattoberfläche verdunstet ohne erst den Waldboden zu erreichen. Zudem entziehen die Bäume dem Boden sehr viel Wasser durch Transpiration. Dadurch wird bei stärkeren Niederschlägen der Sättigungsgrad unter Wald weniger schnell erreicht als im Freiland. Die Rutschungsgefahr ist dadurch kleiner. Auf diese Weise kann der Wald auch hinsichtlich mittel- bis tiefgründiger Rutschungen einen beruhigenden Einfluss haben (MENASHE 1998; RICKLI *et al.* 2002).

(⇒ Der Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt des Bodens wird in Kapitel D-1.1.2, S. 115 eingehender behandelt.)

**Der positive Einfluss ist begrenzt**

Die positiven Wirkungen des Waldes haben allerdings auch ihre Grenzen; namentlich in Bezug auf die Tiefe einer möglichen Bruchfläche im Boden, die Steilheit des Geländes und die Intensität der Niederschläge. In Sachseln war zum Beispiel in über ca. 40° (84%) steilen Hängen die Anzahl oberflächennaher Rutschungen im Freiland nicht signifikant höher als im Wald (RICKLI *et al.* 2002).

**C-1.3.5 Auswirkungen von Windwurf auf Erosion und oberflächliche Rutschungen**

Je nach Flächengrösse und dem Schadenausmass kann Windwurf – oder das flächige Absterben von Bäumen wegen Käferbefalls – eine bedeutende und über Jahrzehnte andauernde erhöhte Rutschungsgefahr zur Folge haben (vgl. Tabelle 10; RICKLI *et al.* 2002).

Die nach Windwurf auftretende Oberflächenerosion hingegen ist in aller Regel nicht von grosser Bedeutung. Bodenwunden, die durch Entwurzelung der Bäume oder durch die Holzernte entstehen, wachsen innert kurzer Zeit wieder ein, womit auch die Erosion grösstenteils unterbunden wird (BURSCHEL und BINDER 1993). Hänge, die steiler als 40° (85%) sind, wachsen jedoch nur schwer wieder ein. Dort bleibt die Oberflächenerosion oft über längere Zeit hinweg bestehen (FREY *et al.* 1995).

Tabelle 10: Kritische Eigenschaften von Windwurfflächen bezüglich der Gefahr von Rutschungsprozessen (abgeleitet aus FREHNER *et al.* 2005)

Art der Rutschungen	kritische Eigenschaften der Windwurffläche	Bedeutung des Windwurfereignisses für das Gefahrenpotential
<b>flachgründig oder Oberflächenerosion</b> (Rutschhorizont bis 2 m tief)	<ul style="list-style-type: none"> <li>kritische Fläche:               <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; 6 a bei mangelnder Verjüngung</li> <li>&gt; 12 a bei gesicherter Verjüngung</li> </ul> </li> <li>kritischer Deckungsgrad* des Altbestandes:               <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 40% (d.h. Deckungsgradverlust &gt; 60%)</li> </ul> </li> </ul>	gross
<b>mittel- und tiefgründig</b> (Rutschhorizont tiefer als 2 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>kritischer Deckungsgrad* des Altbestandes:               <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 30% (d.h. Deckungsgradverlust &gt; 70%)</li> </ul> </li> </ul>	meistens gering (mittel, wenn der Wasserhaushalt im Bereich des Rutschhorizonts dadurch beeinflusst wird.

\* Durchschnittlicher Deckungsgrad der Windwurffläche inkl. nähere Umgebung (beurteilte Fläche mind. 1 ha).

**Windwurf führt zum Verlust der Bodenarmierung**

Hinsichtlich der Gefahr von Rutschungen in Hanglagen ist die Situation nach einem flächigen Windwurf vergleichbar mit derjenigen des Kahlschlages, sofern die Bäume nicht entwurzelt sondern gebrochen sind. Nach Verlust des Altbestandes ist der Zusammenhalt des Bodens durch die Wurzeln während einiger Jahrzehnte deutlich reduziert. Gemäss einer Untersuchung in Kalifornien hatte die armierende Wirkung des Wurzelwerkes eines ehemaligen Koniferenbestandes 2–3 Jahre nach der Holzernte um 50% abgenommen und war 25 Jahre danach bei Null (ZIEMER 1981). Die Summe der armierenden Wirkung der vermorschenden Wurzeln und des Wurzelwerkes der neu aufkommenden Jungbäume erreicht sein Minimum einige Jahre nach dem Kahlschlag. Eine vorhandene Vorverjüngung bewirkt, dass in den Folgejahren die Wurzelwirkung gesamthaft weniger stark abnimmt und die Zeitdauer stark eingeschränkter Wurzelwirkung verkürzt wird. Ist die Baumverjüngung nach einem Windwurf lückenhaft, dann kommt für die Hangstabilisierung insbesondere den Sträuchern eine grosse Bedeutung zu. Sie vermögen dank ihres schnellen Wachstums den Boden rascher wieder zu armieren als die jungen Bäume. Als Folge von Kahlschlägen an Steilhängen treten Rutschungen am ehesten 4–15 Jahre später auf (SIERRA LEGAL DEFENCE FUND 1997). Ein flächiger Windwurf mit grossem Anteil geworfener Bäume destabilisiert den Boden jedoch unmittelbar, da aufgeklappte bzw. zurückgeklappte Wurzelteller nichts mehr zur Bodenarmierung beitragen.

**Windwurf verändert den lokalen Wasserhaushalt**

Nach Bestandeszusammenbruch fällt auch die Interzeption und Transpiration durch den ehemaligen Bestand weg und es gelangt mehr Niederschlagswasser auf und in den Boden. Damit kann sich in kritischen Gebieten die Rutschungsgefahr erhöhen. Es ist allerdings nicht immer einfach zu beurteilen, inwiefern sich die oberirdisch durch Windwurf veränderten Bedingungen auf die tiefgründigen Verhältnisse auswirken, da die unterirdischen Wasserwege meist schwer nachzuvollziehen sind (FREHNER *et al.* 2005).

Ausgehobene Wurzelteller können das Abflussregime im Boden verändern. Besonders bei hangabwärts weisender Wurfrichtung gelangt das Oberflächenwasser in Wurzeltellermulden konzentriert in den Boden (Abbildung 13). Bei labilem Bodenmaterial sind dadurch kleine flachgründige Rutschungen unterhalb der Wurzelteller möglich (KARISCH 1996; GERTSCH und KIENHOLZ 2004).

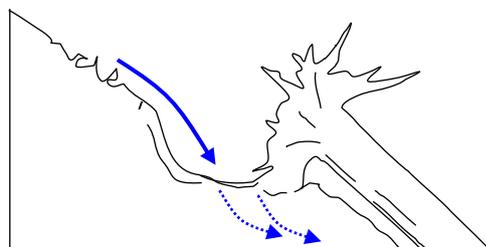


Abbildung 13: In nach oben geöffneten Wurzeltellermulden kann das Oberflächenwasser konzentriert infiltrieren und den Boden destabilisieren.

### C-1.3.6 Einfluss von Räumen und Belassen auf Erosion und Rutschungsgefahr

Inwiefern sich das Räumen bzw. Belassen von Sturmholz auf die Gefahr von Erosion und Rutschungen auswirkt, ist hauptsächlich eine Frage des Einflusses auf den Wasserabfluss in und auf dem Boden (vgl. C-1.3.5).

Als Gewicht übt liegendes Sturmholz nur einen sehr geringen Einfluss auf die Gleichgewichtsverhältnisse im Hang aus; die Belastung des Bodens ist deshalb in der Regel vernachlässigbar.

Auf mittel- bis tiefgründige Rutsch- und Gleitbewegungen hat das Vorhandensein oder Fehlen von Sturmholz keine Wirkung.

#### a) Einfluss von Räumen

**Schwer zu räumende Gemische aus Rutschmasse und Stämmen werden vermieden**

In gewissen Fällen ist es empfehlenswert, durch das Räumen von Sturmholz zu verhindern, dass liegende Stämme durch Rutschmassen mitgerissen wird und dabei ein schwer zu räumendes Gemisch aus abgelagertem Schlamm und Holz entsteht (RICKLI 2001).

Werden Bodenöffnungen hinter aufgeklappten Wurzeltellern oder liegenden, Wasser stauenden Baumstämmen zur Ursache von Rutschungen (KARISCH 1996), so wirkt sich die Holzernte positiv aus, wenn dadurch diese Eintrittspforten wieder geschlossen, bzw. die Stämme entfernt werden. In Hanglagen fallen die abgetrennten Wurzelteller jedoch selten wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück.

**Bodenverdichtung beeinträchtigt eine Neuarmerung durch Wurzeln**

Auf empfindlichen Böden kann eine unsachgemässe Waldbewirtschaftung zu erheblichen Bodenverdichtungen führen. Insbesondere bei grossflächigen Zwangsnutzungen, wie nach Windwurf oder Käferschäden, kann ein kurzfristig unsorgfältiger Maschineneinsatz die Durchwurzelung des Bodens nachhaltig beeinträchtigen. Die Folgen sind Nachteile, die den beabsichtigten Nutzen bei weitem überwiegen können – unter Umständen wird eben auch das Risiko für Rutschungen erhöht (FREHNER *et al.* 2005).

**Holzernte kann Oberflächenabfluss und Erosion fördern**

Durch die Holzernte werden die oberen Bodenhorizonte abgetragen und der Boden lokal verdichtet. Insbesondere der Bodenzug mit Seilwinden kann in Hanglagen eher negative Folgen für die Erosion haben, indem durch die Schleifspuren Bodennarben und z.T. auch neue kleine Gerinne entstehen können (GERBER *et al.* 2002; GERTSCH und KIENHOLZ 2004). Diese Nachteile können durch Einsatz von Seilkran oder Helikopter vermieden werden.

**Neue Wege verändern das Abflussregime**

Der Bau von Transportpisten und Waldstrassen hat sowohl flach- wie auch mittelgründig oft unvorhersehbare Veränderungen im Wasserabfluss zur Folge. Solche Projekte sind wo immer möglich zu vermeiden, bzw. sehr sorgfältig zu planen.

*b) Einfluss von Belassen*

<b>Liegendes Holz verkürzt die Fließstrecke</b>	Sofern das Gelände nicht sehr steil ist, kann liegendes Holz die Reichweite von Rutschungen wesentlich verkürzen. Besonders grosse Wirkung hat das Holz, wenn sein Anteil im Vergleich zur Rutschmasse hoch ist und es sich um relativ starke Dimensionen handelt.
<b>Rutschungen vermischt mit Stammholz verursachen evtl. grössere Schäden</b>	Erdmassen, die mit Stämmen durchsetzt sind, können in der Transit- und Ablagerungszone zu erheblichen Schäden führen. Zudem ist die Räumung eines Gemisches aus Erdmaterial und Holz sehr aufwendig. Gelangt durch Rutschungen oder Hangmuren Holz in ein Gerinne, so kann es dort entweder direkt am Ort oder nach Weitertransport an engen Stellen Verklausungen verursachen (vgl. C-1.4).
<b>Oberflächenerosion wird weitgehend verhindert</b>	Oberflächenerosion findet höchstens kleinflächig statt und wird durch die erhöhte Rauigkeit Holz weitgehend verhindert (GERTSCH und KIENHOLZ 2004).

## C-1.4 Verklausungen und Murgänge vermeiden

### C-1.4.1 Begriffe

- **Verklausung:** Verstopfung eines Gerinnes durch Schwemmholz, Geschiebe oder anderes Material, die einen Aufstau verursacht.
- **Murgang (Gerölllawine):** Langsam bis schnell fliessendes Gemisch von Wasser und Feststoffen mit einem hohen Feststoffanteil, das häufig in mehreren Schüben niedergeht.
- **Gerinne:** Natürlicher oder künstlicher Geländeeinschnitt, der zeitweise oder ständig fliessendes Wasser enthält. Das Gerinne umfasst die beiden Ufer und die Sohle.

(Definitionen aus FREHNER *et al.* 2005)

### C-1.4.2 Schadenpotential

Verklausungen sind häufig Ursache grosser Schäden. Der Wirkungsbereich von Wildbächen ist oft durch Aufzeichnungen früherer Schadenereignisse in Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten bekannt. Die besten Hinweise finden wir aber in den Spuren früherer Ablagerungen, sofern sich die Topographie des Ablagerungskegels und das Abflussregime seither nicht wesentlich verändert haben. Zusätzlich stehen auch Schätzformeln und Faustregeln zur Verfügung (RICKENMANN 1995). Je grösser das Gesamtvolumen eines Murgangs ist, um so grösser ist auch seine Reichweite.

Eine Analyse der Unwetter vom Sommer 1987 in der Schweiz hat ergeben, dass keiner der beobachteten Murgänge über ein Pauschalgefälle von 11° (20%) hinausreichte (RICKENMANN 1995).

### C-1.4.3 Gefahrenpotential

#### a) Voraussetzungen für Verklausungen

Durch Ufererosion, Rutschungen, Hangmuren oder als Sturzholz kann Holz, seien es ganze Stämme oder auch nur Teilstücke, in das Gerinne gelangen. Dadurch besteht die Gefahr von Stauungen durch verkeiltes Holz an Ort und Stelle oder weiter talwärts bei Verengungen, Durchlässen oder Brücken.

#### b) Voraussetzungen für Murgänge

Verkeiltes Holz im Gerinne kann zu Rückstauungen von Wasser und Material führen (Verklausungen), die plötzlich murgangartig, mit grosser Gewalt und nicht selten auch mit erheblicher Schadwirkung losbrechen und zu Tal fließen.

«Für die Bildung eines Murgangs aus dem Gerinnebett ... heraus beträgt das Mindestgefälle ca. 25 bis 30%. Bei Vorhandensein weiterer, die Murgangentstehung fördernder Faktoren (z.B. Engstellen, Wildholz) kann sich ein Murgang aber auch bei Gefällen von ca. 15 bis 25% bilden. Bei Bachgefällen unter 15% ist die Entstehung von Murgängen nicht zu erwarten» (RICKENMANN 1995).

Liegendes Holz kann durch Rutschungen, Hangmuren, Ufererosion oder Sturzholz ins Gerinne geraten und als mitgeführtes Holz Schäden verursachen oder die Schädigung allfälliger Murgänge erhöhen.

#### **C-1.4.4 Einfluss von Räumen und Belassen auf Verklausungen und Murgänge**

##### *a) Einfluss von Räumen*

**Zerkleinertes Holz  
verursacht in Gerinnen  
weniger Verklausungen**

«Vollständige Räumungen oder feine Zerstückelung des Sturmholzes zu kleinen Komponenten sind auch im Gerinnebereich von Wildbächen und Runsen wichtig. Damit werden Wirkungsketten unterbrochen, die teils bis zu Verklausungen und Murgangprozessen führen können» (GERTSCH und KIENHOLZ 2004). Die Stücklänge sollte so gewählt werden, dass das allfällige Treibholz die Engstellen im Gerinne problemlos passieren kann. Kleine Holzkomponenten können zudem auf die Bachsohle stabilisierend wirken, indem sie Stufen bilden.

##### *b) Einfluss von Belassen*

**Abgerutschte Stämme  
können in Engstellen  
Verklausungen  
verursachen**

In steilen Bacheinhängen besteht die Gefahr, dass liegendes Holz abrutscht oder durch Rutschungen ins Gerinne gelangt und dort in der Folge zu Verklausungen und evtl. auch Murgängen führt bzw. als mitgeführtes Schwemmholz Schäden verursacht.

## **C-2 Folgeschäden**

### **C-2.1 Nachbarbestände vor Borkenkäferbefall schützen**

#### **C-2.1.1 Nach dem Sturm kommt der Buchdrucker (*Ips typographus*)**

In den Wäldern Mitteleuropas tritt nach einem Windwurf oder einer Trockenperiode kaum ein Insekt mit so verheerender und grossflächiger Schadwirkung in Erscheinung wie der als «Buchdrucker» bekannte Achtzähne Fichtenborkenkäfer (*Ips typographus*) (FORSTER *et al.* 2003b). Beim Versuch, die Auswirkungen des Buchdruckers in Schranken zu halten, bringen selbst aufwendige, phytosanitäre Massnahmen nicht immer den gewünschten Erfolg, nicht zuletzt deshalb, weil diese oft nicht rasch und vollständig genug realisiert werden können. Die Erfahrungen aus den grossen Windwurfereignissen der letzten Jahrzehnte, die grossenteils wirtschaftlich kritische Lage der Forstbetriebe, wie auch die sich rasch wandelnden Ansprüche an den Wald geben Anlass zu einer differenzierteren Beurteilung der Buchdruckerbekämpfung.

Eine realistische Einschätzung der Käfersituation und der Präventions- bzw. Bekämpfungsmöglichkeiten berücksichtigt nebst den Verhältnisse einer einzelnen Windwurffläche oder eines Waldbestandes auch die weitere Umgebung und die Region mit ein (vgl. SSH, Kapitel 2.3.4). Für diese Beurteilung sind die persönliche Erfahrung und gute Kenntnisse der örtlichen bzw. regionalen Verhältnisse ebenso entscheidend wie das Fachwissen über die biologischen und ökologischen Zusammenhänge. Es bleiben aber viele massgebliche Faktoren unbekannt oder nur schwer abschätzbar. Dazu gehören beispielsweise der Zustand der verbliebenen Fichtenbestände oder der Witterungsverlauf der folgenden Monate und Jahre.

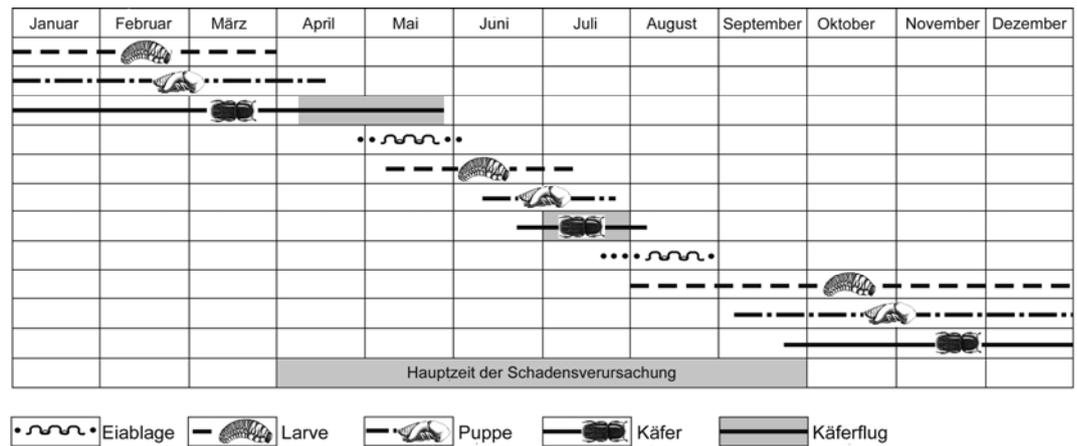
#### **C-2.1.2 Biologie des Buchdruckers**

##### **Entwicklungszyklus**

Die Entwicklungsdauer von der Brutanlage bis zum ausgereiften Jungkäfer dauert je nach Witterung und Höhenlage zwischen 6–12 Wochen (vgl. Tabelle 11). Der Zeitpunkt des Ausflugs im Frühling wird abgesehen vom Temperaturverlauf auch vom Entwicklungsstadium bestimmt, in welchem die Käfer überwintert haben (WEISSBACHER 1999).

Die optimale Temperatur für die Entwicklung der Larve unter der Rinde liegt bei 30°C. Unterhalb ca. 6–8°C wird die Entwicklung eingestellt (WERMELINGER und SEIFERT 1998).

Tabelle 11: Ungestörter Entwicklungszyklus des Buchdruckers (*Ips typographus*) mit zwei Generationen, z.B. auf 800 m ü.M. Oberhalb 1300 m ü.M. ist der Zeitplan um ca. einen Monat verschoben und eine zweite Generation bleibt in der Regel aus (Quelle: NIERHAUS-WUNDERWALD und FORSTER 2004, reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf vom 6.6.05.).



#### Flugverhalten

Die Mindesttemperatur für das Ausfliegen der Buchdrucker liegt bei 16,5 °C, die Hauptschwärmzeit zwischen 12 und 18 Uhr (WEISSBACHER 2004).

Die frisch geschlüpften Käfer bleiben zu höchstens einem Drittel am Ort. Neue Käfernester entstehen meist in einem Umkreis von 500–600 m. In einer Untersuchung von (WICHMANN und RAVN 2001) standen 90% der neu befallenen Bäume näher als 100 m vom Ausflugsort, obwohl vermutlich der grössere Teil der Population in Bestände migriert, die weiter als 500 m entfernt sind. Die Käfer vermögen aktiv Strecken von mehr als 500 m zurückzulegen, vereinzelt fliegen sie aber vermutlich mehrere Kilometer weit. Je nach Windverhältnissen können Käfer auch über mehrere Kilometer verfrachtet werden (BOTTERWEG 1982; DUELLI *et al.* 1997).

#### Antagonisten

Viele Antagonisten (Gegenspieler) schliessen ihre Entwicklung im Baum etwa einen Monat später ab als der Buchdrucker (vgl. Abbildung 14). Deshalb ist es von Vorteil, vom Käfer *verlassene* Bäume zumindest noch einige Wochen stehenzulassen (WERMELINGER *et al.* 2002b). Es ist hingegen nicht empfehlenswert zugunsten der Antagonisten auf die Aufarbeitung aktuell befallener Bäume zu verzichten (WEISSBACHER 2004). Eine Ausnahme sind

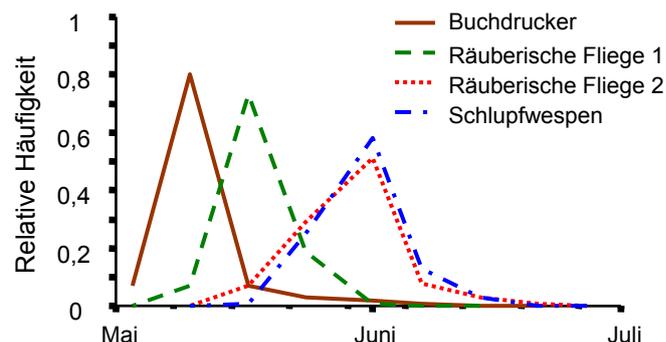


Abbildung 14: Zeitpunkt des Ausflugs nach der Entwicklung zum Adult. Die Buchdrucker-Käfer verlassen den Wirtsbaum einige Tage bis mehrere Wochen früher als deren Feinde (Abb. aus WERMELINGER *et al.* 2002b)

allenfalls Fichten mit sehr stark parasitierten Käferbruten, die sich kaum vollständig entwickeln werden. Diese sollten – v.a. in alten Käfernestern – nicht sofort entrindet oder abgeführt werden.

Die hohe Mobilität erlaubt es dem Buchdrucker, sich dem nachhinkenden Einfluss seiner Feinde immer wieder zu entziehen, da an den weiter entfernten potentiellen Befallsorten die Dichte der Antagonisten in der Regel noch klein ist.

Auch wenn die natürlichen Feinde allein kaum in der Lage sind, regional eine Buchdruckergradation zu stoppen, wären ohne sie die Käferschäden in vielen Fällen deutlich grösser (FEICHT 2004). Wenn die Witterung und das Brutangebot ungünstig werden, kann der Einfluss natürlicher Feinde für den Zusammenbruch einer Buchdruckerkalamität bedeutend werden (WEISSBACHER 2004).



Abbildung 15: Eine Schlupfwespe *Tomicobia seitneri* (Pteromalidae) legt auf einem Buchdrucker ein Ei ab. Die Larve entwickelt sich im Innern des Käfers und höhlt ihn vollständig aus. (Foto: B. Wermelinger, WSL)

### C-2.1.3 Natürliche Einflussfaktoren für die Entwicklung der Käferpopulation (Gefahrenpotential)

#### a) Flächenbezogene Einflussfaktoren

#### Fichtenanteil im Sturmholz

Der Fichtenanteil im Sturmholz ist massgebend für das Brutangebot und beeinflusst damit auch die Vermehrungsrate der Borkenkäferpopulation. Als kritisch gelten hier Windwurf- flächen mit einem Fichtenanteil von mehr als einem Drittel des Sturmholzes. Auf grossen Windwurf- flächen genügt auch ein geringerer Anteil.

#### Anteile von Wurf- und Bruchholz

Während gebrochene Stämme vor allem im ersten Jahr nach dem Sturm befallen werden, sind geworfene Fichten auch in tiefen Lagen oft erst ab dem zweiten Jahr fängisch (BECKER und SCHRÖTER 2000). Dank des noch vorhandenen Wurzelkontaktes weisen letztere oft noch bis in den dritten Sommer nach dem Sturm grüne Kronen auf, wodurch diese über längere Zeit hinweg zu einer grossen Käferpopulation beitragen können. In Windwurf- flächen werden liegende Stämme den stehenden Baumstümpfen (Stirzel) gegenüber bevorzugt befallen (WERMELINGER und DUELLI 2004).

<b>Exposition</b>	An sonnenexponierten Lagen und auf grossen Windwurfflächen (> 2 ha) trocknet das Holz relativ rasch aus und verliert somit schon bald an Attraktivität (JIRIKOWSKI und PRÖLL 2003). Auch wenn sich darin eine erste Käfergeneration entwickeln kann, wird doch nur ein relativ geringer Teil des Sturmholzes befallen (BECKER und SCHRÖTER 2000).
<b>Flächengrösse</b>	Mittel- und kleinflächige Windwürfe (< 2 ha) und Streuschäden sind oft beschattet. Das Holz bleibt länger frisch und attraktiv für die Käfer. Diese kleinen Flächen bzw. Streuschäden tragen überdurchschnittlich stark zur Massenvermehrung des Buchdruckers bei, da ein grosser Anteil der Stämme befallen wird, bevor sie genügend ausgetrocknet sind. Die rechtzeitige Räumung dieser Flächen ist deshalb eine besonders effiziente Forstschutzmassnahme (BECKER und SCHRÖTER 2000).
<b>Höhenlage</b>	Unterhalb ca. 1300 (in warmen Jahren bis 1600) m ü.M. ist die Wärmesumme vom Frühling bis zum Herbst meistens hoch genug, damit sich in der Regel zwei Generationen entwickeln können. In warmen Jahren reicht es unterhalb 600 m sogar für die Ausbildung von fast drei Generationen. Oberhalb 1300 m ist eine einzige Generation die Regel (FORSTER <i>et al.</i> 2003b).
<i>b) Regionale Einflussfaktoren</i>	
<b>Regionales Schadenausmass</b>	Je grösser das Ausmass der Sturmschäden und ihre Verbreitung in einem Gebiet oder einer Region, umso grösser ist auch der zu erwartende Folgebefall. Dies gilt allerdings nach oben nicht uneingeschränkt, beispielsweise wenn das Angebot bruttauglicher Fichten in den verbliebenen Beständen der Umgebung stark limitiert ist (BECKER und SCHRÖTER 2000; FORSTER <i>et al.</i> 2003a).
<b>Ausgangspopulation</b>	Wenn nach einem Windwurfereignis grosse Flächen bruttauglichen Materials zur Verfügung stehen, ist die Höhe der Ausgangspopulation nicht sehr wesentlich. Meist gestaltet sich der erste Populationsaufbau so oder so explosionsartig. Bei warmer Witterung können eine bis zwei Generationen durchaus genügen, um eine lokal sehr hohe Käferdichte aufzubauen. Danach ist das Sturmholz aber bald ausgetrocknet. Bei Streuschäden spielt die Ausgangspopulation eine grössere Rolle, da das Brutmaterial weiträumiger verteilt ist, länger fängisch bleibt und bei bereits angehobener Populationsgrösse vollständig befallen werden kann.
<i>c) Klimatische Einflussfaktoren</i>	
<b>Zeitpunkt des Ereignisses</b>	Je länger die Zeitspanne zwischen dem Windwurfereignis und dem nächsten Käferflug ist, umso trockener ist die Stammrinde bei deren Besiedlung. Die austrocknende Rinde wird somit für die Larvenentwicklung des Buchdruckers immer ungeeigneter. Dabei spielt die Witterung bzw. die Jahreszeit eine wesentliche Rolle. Aufgrund des Entwicklungszyklus des Buchdruckers (vgl. C-2.1.2) ist der Handlungsspielraum am grössten, wenn die Sturmschäden in die Monate August bis Oktober fallen.
<b>Witterung der Folgejahre</b>	Unter allen natürlichen Faktoren spielt die nicht voraussehbare Witterung der Folgejahre die wohl wichtigste Rolle (WEISSBACHER 1999). Trockenperioden schwächen die Restbestände und führen damit zu einer erhöhten Disposition der Bäume für Käferbefall. In

solchen Zeiten sind gemäss SCHRÖTER *et al.* (1998) Fichtenbestände auf frischen und wechselfeuchten Standorten, da die Fichte dort flachgründig wurzelt und deshalb rascher unter Trockenstress leidet. Langandauernde Wärmeperioden beschleunigen zudem die Reproduktion des Käfers. Feuchtkühle Witterung schwächt die Brut und macht sie anfälliger gegenüber Krankheiten, Räubern und Parasiten (vgl. C-2.1.2, «Antagonisten»). Eine vom Menschen nicht oder kaum beeinflusste Buchdruckergradation wird im Allgemeinen erst durch eine länger anhaltende, feuchtkühle Witterungsperiode abgebrochen. Auch nach den verheerenden Vivianschäden von 1990 stagnierte die Buchdruckerpopulation über mehrere Jahre auf gebietsweise sehr hohem Niveau. Der Zusammenbruch der Population wurde in der Schweiz erst durch die kühle Witterung des Frühlings 1996 und vor allem durch den feuchten Juni 1997 endgültig besiegelt (ENGESSER *et al.* 1998).

#### Klimaveränderung

Für Mitteleuropa wird bis Ende des 21. Jahrhunderts eine Klimaerwärmung von insgesamt 1,5–6°C erwartet (OCCC 2002). Ein Temperaturanstieg von 4°C hätte zur Folge, dass sich die Entwicklungszeit des Buchdruckers in höheren Lagen (über 1000 m ü.M.) von derzeit durchschnittlich ca. 160 Tagen auf das heutige Tieflagenniveau von 65 bis 70 Tagen verkürzt (HEIDELBAUER 2004). Zudem erwarten die Experten, dass im Zuge der Klimaerwärmung extreme Sommer mit lang anhaltenden Trockenperioden spürbar häufiger auftreten und gegen das Ende dieses Jahrhunderts jeder zweite Sommer mindestens so warm sein könnte wie im Jahr 2003 (SCHÄR *et al.* 2004).

#### C-2.1.4 Natürliche Einflussfaktoren für das Ausmass der Folgeschäden (Schadenpotential)

##### a) Höhenlage der verbliebenen Fichtenbestände in der Umgebung

In den verbliebenen Fichtenwäldern tritt der Folgebefall in tieferen Lagen meist erst ein Jahr, in höheren Lagen zwei Jahre nach dem Sturm ein (GALL *et al.* 2003; TOMICZEK 2003).

Das Schadenpotential des Buchdruckers ist in der subalpinen und vor allem in der hochmontanen Stufe besonders hoch, weil in diesen Beständen der Fichtenanteil oft fast 100% beträgt (OTT *et al.* 1997). Der Buchdrucker kann auf diesen verjüngungsschwierigen Waldstandorten innert kurzer Zeit einen Schutzwald empfindlich schwächen, worauf nicht selten kostspielige Anstrengungen unternommen werden müssen, um die geforderte Schutzwirkung des Waldes langfristig wieder aufzubauen. Deshalb gebührt insbesondere den Schutzwäldern und den benachbarten Beständen in den hochmontanen und subalpinen Lagen auch besondere Aufmerksamkeit.

##### b) Disposition der verbliebenen Fichtenbestände in der Umgebung

#### Bestandesalter

Fichten die jünger als 50 Jahre sind bzw. noch eine glatte Rinde aufweisen sind wenig gefährdet. Ab einem Alter von 70 bis 90 Jahren stellten BAIER *et al.* (1994) wie auch BECKER und SCHRÖTER (2000) ein erhöhtes Befallsrisiko fest, welches bei über 100-jährigen Bäumen nochmals deutlich höher war.

**Fichtenanteile**

Im Falle eines hohen Anteils von Laubholz oder anderen Nadelhölzern als Fichte ist einerseits die Attraktivität des Bestandes kleiner (BECKER und SCHRÖTER 2000), andererseits wird durch das Absterben der befallenen Fichten die Funktionserfüllung des betroffenen Waldes nicht so schnell in Frage gestellt. NÜSSEIN (1997) bezeichnet einen Bestand als existentiell «bedingt gefährdet» bzw. «gefährdet», wenn der Fichtenanteil höher ist als 50% bzw. 80% (Tabelle 12). Auch eine breite Alterstruktur vermindert die Gefährdung eines Bestandes. Der Buchdrucker vermag aber nicht nur Fichtenwälder abzutöten. In einzelnen Fällen zeigt er auch eine besondere Vorliebe für Bergföhrenbestände (REICH *et al.* 2004).

**Schädigungsgrad**

Meist liegt die Ursache für eine erhöhte Anfälligkeit vor allem in einer gestörten oder unzureichenden Wasserversorgung (SCHWENKE 1985), beispielsweise infolge von Wurzelverletzungen oder plötzlicher Freistellung (BECKER und SCHRÖTER 2000). Der Folgebefall in den nach einem Sturmereignis verbliebenen Fichtenbeständen beginnt darum gezielt bei den derart geschwächten Bestandegliedern (GALL *et al.* 2003).

**Exposition  
der neuen Steilränder**

Wegen Sonnenbrand und ungewohnter Trockenheit sind neu entstandene süd- bis west-exponierte Fichtensteilränder besonders gefährdet (BECKER und SCHRÖTER 2000; WERMELINGER 2004).

Tabelle 12: Befallsrisiko eines Bestandes bei einer Massenvermehrung des Buchdruckers (leicht veränderte Darstellung aus NÜSSEIN 1997)

Entwicklungsstufe der Fichten	Anteil an Laubholz (auch Tanne, Lärche, Föhre)		
	Laubholzbestand (50–100% Laubholz)	Mischbestand (20–50% Laubholz)	Fichtenbestand (unter 20% Laubholz)
Bis ca. 10–20 cm BHD	<b>ungefährdet</b>		
Ab ca. 10–20 cm BHD		<b>bedingt gefährdet</b>	<b>gefährdet</b>

«**ungefährdet**»: Auch bei anhaltender Borkenkäfervermehrung bleiben die Bestandesstrukturen weitgehend erhalten.

«**bedingt gefährdet**»: Im Extremfall ist eine teilweise Auflösung und Verlichtung möglich.

«**gefährdet**»: Der Befall kann ein flächiges Absterben zur Folge haben.

*c) Käferdichte bzw. Entfernung vom Befallsherd*

Je grösser die Käferdichte, desto kleiner muss die Befallsdisposition eines Baumes oder Bestandes sein für einen erfolgreichen Befall. Umgekehrt kann in einem geschwächten Bestand auch ein geringer Populationsdruck zu erfolgreichem Befall führen (CHRISTIANSEN und BAKKE 1988; WERMELINGER 2004).

«Aufgrund der Dispersionsverluste wird die Ausbreitungsdynamik der Befallsherde des Buchdruckers bereits gehemmt, wenn die Buchdruckerpopulation Strecken ohne befallstaugliche Fichten von > 100 m überwinden muss» (BECKER und SCHRÖTER 2000). Zur Ausflugszeit vorherrschende Luftströmungen können aber Käfer in grosser Anzahl über mehrere Kilometer verfrachten (vgl. C-2.1.2, «Flugverhalten»).

### C-2.1.5 Vorgehen und Kontrolle

- a) **Prioritär**
- b) **Rechtzeitig**
- c) **Vollständig**
- d) **Kontrolle**

Die Ausführungen der vorangehenden Kapitel machen deutlich, dass die im Fichtenwald auf Windwurf obligat folgende Buchdruckergradation nur durch ein konzeptionelles und regionales Vorgehen spürbar gedämpft werden kann. Sind prioritäres Eingreifen, Rechtzeitigkeit, Vollständigkeit und die nachfolgende Kontrolle die vier Grundpfeiler der Befallsvorbeugung, dann ist es möglich, den Folgebefall regional deutlich zu reduzieren. Aufgrund der Erfahrungen nach «Vivian» schätzen FORSTER *et al.* (2003b) das Reduktionspotential unter günstigen Bedingungen auf bis zu 50%. Die vorbeugende Sturmholzaufarbeitung muss in den Folgejahren durch eine ebenso konsequente Überwachung und Käferbekämpfung in den umgebenden Beständen abgelöst werden ist (WICHMANN und RAVN 2001; SCHROEDER und LINDELÖW 2002; FORSTER *et al.* 2003a; FORSTER *et al.* 2003b).

#### a) Vorgehen nach Dringlichkeiten

Bei regional grossen Sturmschäden muss die Sturmholzräumung gezielt dort einsetzen, wo sie für die Verhütung von Folgeschäden am effektivsten ist. Die Dringlichkeit von Forstschutzmassnahmen auf der Ebene der einzelnen Windwurffläche richtet sich vor allem nach den Eigenschaften der Fläche selbst sowie der potentiell gefährdeten Wälder in deren Einflussbereich. Der dafür relevante Radius dürfte je nach Geländeverhältnissen etwa 500 bis 1500 m, d.h. durchschnittlich etwa 1000 m, betragen (SCHRÖTER *et al.* 1998, BECKER und SCHRÖTER 2000, FORSTER *et al.* 2003b).

Tabelle 13: Räumungsdringlichkeit nach Flächengrösse

Streuschäden vor  
Flächenschäden!

Dringlichkeit	Schadenart
1	<b>Streuschäden:</b> Kleinflächen < 0,1 ha
2	Mittelgrosse Flächen 0,1–2 ha
3	Grosse Flächen > 2 ha

Die Dringlichkeiten von Forstschutzmassnahmen innerhalb eines Gebietes hängen in erster Linie von der Grösse der einzelnen Schadenflächen ab (vgl. Tabelle 13). Viele Autoren und auch die praktischen Erfahrungen nach den Stürmen «Vivian» und «Lothar» unterstreichen, **dass gerade den wenig auffälligen Streuschäden und den kleinen Schadenflächen höchste Dringlichkeit eingeräumt werden muss** (BECKER und SCHRÖTER 2000; FORSTER *et al.* 2003b; GALL *et al.* 2003; TOMICZEK 2003). Diese werden mit hoher Wahrscheinlichkeit und sehr oft auch vollständig befallen, bevor sie genügend ausgetrocknet sind. Zudem sind Streuschäden meist über ein grösseres Gebiet verteilt und gefährden dadurch eine grössere Fläche noch intakten Waldes. Weil sie häufig beschattet sind, trocknen sie relativ langsam aus und tragen dadurch auch länger zur Massenvermehrung bei als die Flächenschäden.

Befallenes Holz vor  
unbefallenem

Am wirkungsvollsten ist die Aufarbeitung und das Entrinden des befallenen Sturmholzes während der «weisse Stadien» des Käfers, d.h. vom Ei- bis zum Puppenstadiums (vgl. Tabelle 11, S. 67).

**Bruchholz vor Wurfholz  
bzw. umgekehrt**

Bei *kleineren* Ereignissen, die innerhalb ca. einer Käfergeneration zu bewältigen sind, können auch kleinflächige Prioritäten helfen, den Folgebefall zu reduzieren, beispielsweise das sofort fängische Bruchholz rasch räumen und zwischenzeitlich das kurzfristig weniger fängische Wurfholz «lebend konservieren» (JIRIKOWSKI und PRÖLL 2003).

Bei *grösseren* Ereignissen soll gerade umgekehrt vorgegangen werden: Geworfenes Holz vor Bruchholz mit dem Ziel, dass im zweiten Jahr nach dem Ereignis kein liegendes Brutmaterial mehr vorhanden ist. Das Bruchholz liegt dann zwar vielleicht noch auf der Fläche, ist aber dann mehrheitlich ausgetrocknet (FORSTER *et al.* 2003b).

**Südexposition vor  
Nordexposition  
bzw. umgekehrt**

Bei regionalen Aufarbeitungszeiträumen von mehr als einem Jahr hat gebrochenes Holz an süd- bis westexponierten Lagen eine geringere Dringlichkeit, weil es hier rasch austrocknet. Dauert die Aufarbeitung in der Region weniger als ein Jahr, dann ist die Räumung geworfenen Holzes an nord- bis ostexponierten Lagen weniger dringlich, da es auch gegen Ende der Aufarbeitungsperiode noch kaum fängisch geworden ist.

**Alte Wälder vor jüngeren**

Sind die Ressourcen für eine rasche und umfassende Sturmholzaufrüstung knapp, so steht die Aufarbeitung von Windwurfflächen mit älteren fichtenreichen Nachbarbeständen im Vordergrund. Windwurfflächen mit geringen Anteilen an über 50 Jahre alten Fichten können in der Dringlichkeitsliste zurückgestellt werden (BECKER und SCHRÖTER 2000; vgl. C-2.1.4b, S. 70).

**Evtl. kleine Flächenwürfe  
als «Fangflächen»  
einsetzen**

Kleinere und gut zugängliche Flächenwürfe können auch bewusst liegen gelassen werden, bis der Befall stattgefunden hat, um dann sofort die vom Käfer besetzten Stämme aufzuarbeiten. Dadurch kann lokal die Käfervermehrung gebremst werden (WICHMANN und RAVN 2001), natürlich vorausgesetzt, dass eine gute Überwachung und eine rasche Reaktion sichergestellt werden können.

*b) Rechtzeitige Räumung*

Am wirkungsvollsten ist die Räumung während der Entwicklungsphase der ersten Generation im Sinne des Fangbaumeffekts (GÖTHLIN *et al.* 2000). Bei regional grossen Sturmholzmengen und genügender Rindenfeuchtigkeit entwickelt sich auch die zweite Generation noch mehrheitlich im liegenden Holz. Deshalb kann in der Regel die *Zeitspanne vom Sturmereignis bis vor Ausflug der zweiten Generation* als «nützliche Frist» bezeichnet werden (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Abschätzung der «nützlichen Frist» für Räumungsmassnahmen in einem Forstschutz-Gebiet. Hier wird davon ausgegangen, dass in tiefen Lagen (collin bis obermontan) sich in der Regel zwei Buchdrucker-Generationen pro Jahr entwickeln, oberhalb (hochmontan und subalpin) nur eine Generation.

	<b>Ablauf der nützlichen Frist</b>	
<b>Zeitpunkt des Sturmes</b>	collin bis obermontan <sup>14</sup>	hochmontan und subalpin
Winter	Spätsommer	übernächster April
Sommer	folgender Juni	übernächster April

<sup>14</sup> Vgl. Definition der Höhenstufen nach Frehner

c) *Möglichst vollständige Räumung ( $\geq$  ca. 80%)*

«Saubere Wirtschaft» verspricht nach wie vor am meisten Erfolg gegen Buchdrucker-Folgebefall. Diese Praxis ist allerdings sehr ressourcenaufwendig und deshalb nach grossen Sturmereignissen heute kaum mehr flächendeckend praktikierbar (WERMELINGER 2004). In diesen Fällen hat sich eine Aufteilung der betroffenen Region in «Forstschutzgebiete» bewährt (vgl. SSH, Kapitel 2.3.4), was ein gebietsweise differenziertes Vorgehen erlaubt. Als Richtwert kann angenommen werden, dass der Effekt von Räumungsmassnahmen spürbar wird, wenn in einem Gebiet *mindestens 80% des bruttauglichen Sturmholzes* rechtzeitig entfernt bzw. entrindet werden (FAHSE und HEURICH 2003; FORSTER *et al.* 2003b). Dabei ist das Vorgehen nach Dringlichkeiten Voraussetzung (vgl. C-2.1.5a, S. 72). Rein punktuelle oder halbherzige Eingriffe bewirken in der Regel wenig (FORSTER *et al.* 2003b).

Beim Abschätzen, ob das bruttaugliche Sturmholz innert nützlicher Frist zu mindestens 80% geräumt werden kann, müssen eine ganze Reihe von Faktoren berücksichtigt werden:

- Streuschadenmenge mit Fi,
- Flächenschadenmenge mit Fi,
- Topographie, Expositionen,
- Höhenstufe(n),
- Erschliessung, Zugänglichkeit,
- Zeitpunkt des Ereignisses,
- Witterung während der Aufarbeitungsphase (Bodenschutz),
- Eigentumsverhältnisse,
- Kooperation der Waldeigentümer,
- Arbeitssicherheit,
- Personal,
- Logistik (gesamte Holzkette),
- Holzmarkt (Nachfrage, Holzpreise),
- Rentabilität (Kosten-Nutzen),
- Reservate.

d) *Kontrolle der verbliebenen Bestände*

In Beständen mit Streuwürfen ist in der Regel auch ein grosser Anteil der stehen gebliebenen Bäume durch Wurzelrisse geschwächt und darum bevorzugtes potentielles Brutmaterial für die sich in der Umgebung aufbauenden Buchdruckerpopulationen. In diesen Wäldern ist in den Folgejahren eine fachkundige und intensive Überwachung besonders wichtig (GALL *et al.* 2003).

### **C-2.1.6 Weitere forstschutzrelevante Borkenkäferarten**

Unter Umständen können lokal auch andere Borkenkäferarten durch geworfenes Nadelholz gefördert werden und Folgeschäden verursachen. Diese treten jedoch örtlich begrenzt auf und meistens in Kombination mit längeren Trockenperioden oder Schneedruck.

Borkenkäferarten, die allenfalls lokale bedeutend sein können:

- Krummzahniger Tannenborkenkäfer (*Pityokteines sp.*)
- Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*)
- Grosser Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*)
- div. Föhrenborkenkäferarten

**Weiterführende Literatur:**

Nierhaus-Wunderwald D., Forster B. 2004: Zur Biologie der Buchdruckerarten. Merkblatt für die Praxis Nr. 18. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 8 Seiten. Download-Adresse:

[http://www.wsl.ch/lm/publications/series/merkbl\\_pdf/Merkblatt\\_18\\_d\\_3A.pdf](http://www.wsl.ch/lm/publications/series/merkbl_pdf/Merkblatt_18_d_3A.pdf)

Wermelinger B. 2004: Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. Forest Ecology and Management. Band 202: S. 67–82.

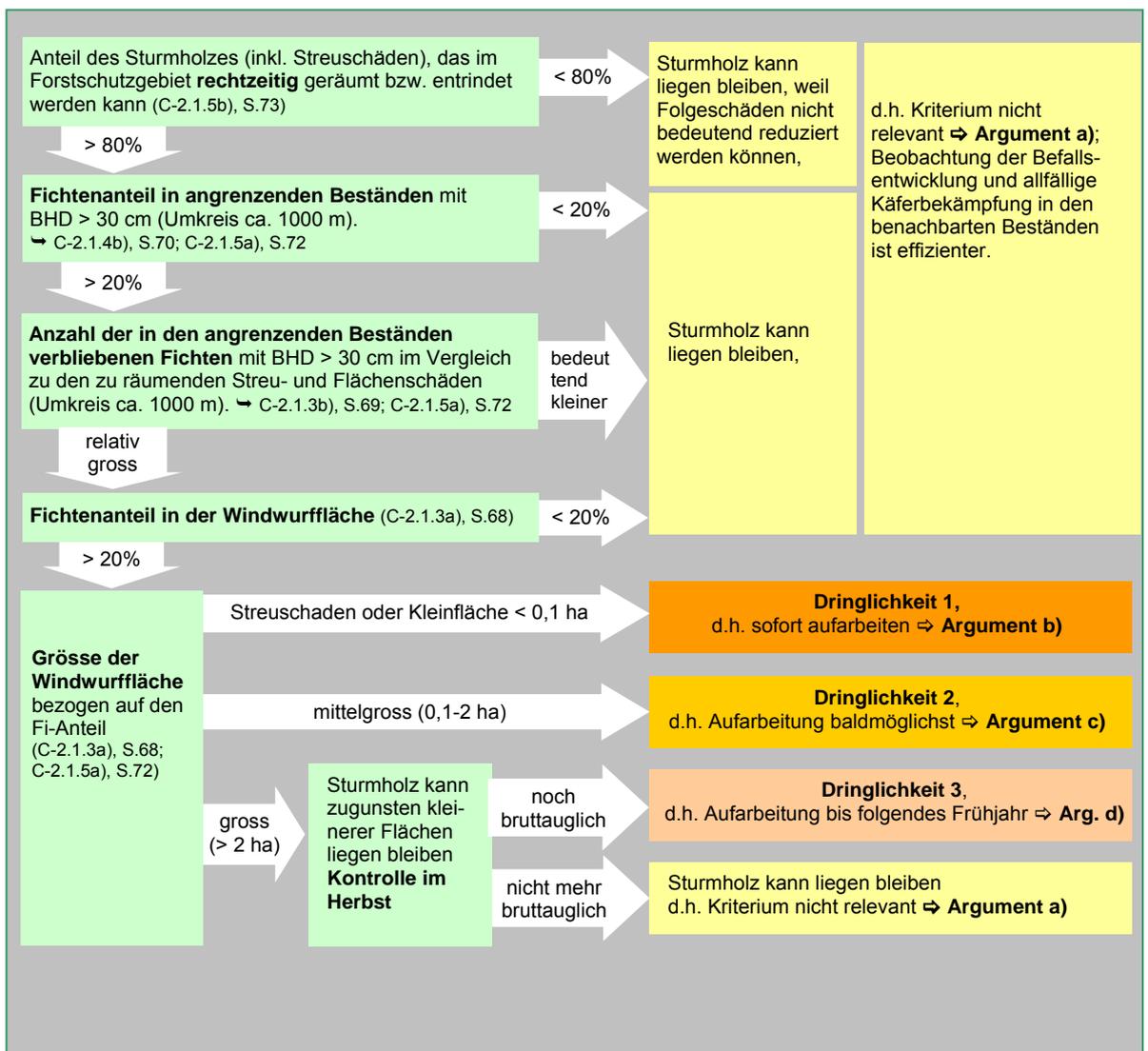


Abbildung 16: Entscheidungsbaum zur Herleitung der Aufarbeitungsreihenfolge von Sturmholz.

Argumente a-d: vgl. B-2.1, S. 22 (Grundlage: ODENTHAL-KAHABKA und PÜTTMANN 2004).

## **C-3 Arbeitssicherheit**

### **C-3.1 Sicherheit während der Sturmholzaufarbeitung gewährleisten**

Vom Sturm beeinträchtigte Wälder bergen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko, sowohl für die Forstleute bei der Sturmholzaufarbeitung als auch für Drittpersonen (Passanten, Waldbesucher). Die Sturmschadenbewältigung im grossen Stil gehört nicht zur Alltagserfahrung des Forstpersonals. Sie ist in der Regel gekoppelt mit einer hohen psychischen und physischen Belastung für die Verantwortlichen und die Ausführenden.

Trotz des hohen Druckes darf der Freiraum nicht fehlen, in welchem man sich immer wieder die nötige Übersicht verschafft und die Strategie sowie das daraus folgende Vorgehen überdenkt. Bei der Planung, Organisation und Ausführung soll die Sicherheit der Menschen, d.h. die Sicherheit von Mitarbeitenden und von unbeteiligten Dritten, an oberster Stelle stehen.

Nebst menschlichem Leid sind im Zusammenhang mit Unfällen auch die ökonomischen Folgen nicht zu unterschätzen. Zu den versicherten Kosten kommen für den Betrieb mindestens nochmals so hohe ungedeckte Kosten hinzu für Arbeitsausfall, partielle Lohnkosten, Lohnnebenkosten, Kosten für die Behebung von Sachschäden, administrative Umtriebe, usw.

**Sicherheit kommt vor  
Kosten und Holzverlust**

Die Sicherheit ist wichtiger als Kosten und Holzverlust. An diesem Grundsatz muss sich auch der Entscheid über Räumen oder Belassen von Sturmholz orientieren. Die Sicherheit beim Aufrüsten wird vor allem durch die Ausbildung und Erfahrung der Beteiligten, die zur Verfügung stehenden Arbeitsmittel (inkl. zusätzliche geeignete Greif- und Zugmittel) und die Wahl der Holzernteverfahren, d.h. durch den Mechanisierungsgrad bestimmt. Selbst bei hoher potentieller Gefährdung ist es möglich, die Arbeiten mit entsprechenden Massnahmen relativ sicher zu gestalten (vgl. SSH Kap.2.1.2), gegebenenfalls mit einem Aufwand, der die Verhältnismässigkeit übersteigt.

#### **C-3.1.1 Gefährdungsermittlung**

Die europäischen «Richtlinien über Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz 89/391/EWG» verpflichten die Arbeitgeber, die Gefährdungen, welche sich aus den betrieblichen Tätigkeiten ergeben, zu evaluieren und entsprechende Präventionsmassnahmen zu treffen. «Die komplexen Gefahren, die in vom Sturm zerstörten Wäldern vorhanden sind, und die besonderen Gefahren, die beim Aufrüsten von Sturmholz auftreten, sind triftige Gründe, nach künftigen Naturereignissen eine solche Gefährdungsermittlung vorzunehmen» (WETTMANN 2004). Ein geeignetes Hilfsmittel zur Beurteilung möglicher Gefährdungen bei den verschiedenen Teilarbeiten in der Holzernte ist der Katalog «Gefährdungen bei forstlichen Tätigkeiten – Beurteilung und Dokumentation» (ARBEITSGRUPPE FORST DEUTSCHLAND – ÖSTERREICH – SCHWEIZ 2002). Darin sind auch entsprechende Sicherheitsmassnahmen aufgezeigt.

### C-3.1.2 Wahl der Arbeitsverfahren

**Mehr Sicherheit durch hohen Mechanisierungsgrad**

Je weniger die Hand ans Holz muss, desto grösser ist die Sicherheit; mit andern Worten: mit zunehmendem Mechanisierungsgrad, wird in der Regel auch die Arbeitssicherheit erhöht (vgl. Tabelle 15). Heute ist es im befahrbaren Gelände weitgehend möglich, vom Abstocken bis zum Lagern des Sturmholzes den ganzen Prozess aus der relativ sicheren Führerkabine zu steuern (vgl. Tabelle 16). Wenn immer möglich sollte das besonders gefahrenträchtige Abstocken sowie das Entzerren durch Harvester ausgeführt werden. Allerdings sind auch hier die Risiken nicht zu unterschätzen, insbesondere wenn verschiedene Maschinenarten (Harvester, Forwarder, Rückefahrzeug, Motorsäge) gleichzeitig auf der Fläche operieren (PISCHEDDA 2004).

Ist der Einsatz von Harvestern in der Windwurffläche nicht möglich, so sollte die Arbeit in der Windwurffläche auf das Abstocken beschränkt bleiben. Für das Entasten und Ablängen des Sturmholzes ist der Aufarbeitungsplatz besser geeignet (SCHÄFFER und VON WILPERT 2004).

Tabelle 15: Beurteilung der Gefährdung bei Teilarbeiten in der *normalen* Holzernte (gemäss Software Forstgefährdungen V0.1 (vgl. ERLER und BUSCH 2004). Für die Sturmholzernte ist die Gefährdung insbesondere bei motor-manuellen Arbeiten entsprechend höher zu beurteilen.

Teilarbeit	Verfahren	Gefährdung
Fällen, Entasten, Einschneiden (Abstocken, Entzerren, Entasten, Einschneiden)	motormanuell (Motorsäge)	hoch – sehr hoch
	Harvester	niedrig – mässig
Rücken, Lagern	Pferd	mässig – hoch
	Seilschlepper	mässig – hoch
	Seilkran	mässig – hoch
	Forwarder (Tragschlepper)	niedrig – mässig

Tabelle 16: Verfahren mit der im jeweiligen Gelände besten Arbeitssicherheit (FVA Freiburg 2000)

Gelände (Hangneigung)	Abstocken	Entzerren	Entasten	Einschneiden	Rücken	Lagern
Rückegassengelände (0–30%)*	Harvester (mittel oder gross)				Forwarder	
Maschinenweggelände (30–50%)	Motorsäge	Harvester (mittel)			Forwarder	
	Abstocken	Entzerren	Rücken	Entasten	Einschneiden	Lagern
Seilkrangelände (30–50%)	Motorsäge	Seilkran		Prozessor (mittel oder gross)		Radbagger

**Gefährdung:**    niedrig – mässig    mässig – hoch    hoch – sehr hoch

\*Raubenbagger, die nicht speziell für forstliche Arbeiten konzipiert sind und nicht über einen neigbaren Oberwagen verfügen, sind auch in der Falllinie nur bis zu einer Hangneigung von max. 15% einsetzbar.

**Genügend Leistungsreserve senkt die Unfallgefahr**

Die Unfallgefahr wird zusätzlich gesenkt, wenn die Maschinen angesichts der zu verarbeitenden Dimensionen über die notwendigen Leistungsreserven verfügen. Eine Maschine, die häufig an ihrer Leistungsgrenze arbeitet, hat einen grösseren Verschleiss und setzt auch die Mitarbeiter einem erhöhten Unfallrisiko aus.

### C-3.1.3 Sicherheit von Drittpersonen während der Holzernte

Die Gefährdung unbeteiligter Personen kann durch weiträumige Absperrungen und Signalisationen weitgehend vermieden werden. Zusätzlich ist oft auch eine Information der Bevölkerung durch die Lokalmedien sinnvoll.

In Hanglagen besteht während der Holzernte die Gefahr von Steinschlag, von unkontrolliertem Abgleiten und Abrollen von Stämmen und Wurzeltellern. Bei Gefährdung von Drittpersonen sind nebst Weg- und Strassensperrungen allenfalls auch Schutzeinrichtungen unterhalb von Windwurfflächen notwendig. Sind diese Massnahmen zu aufwendig oder müssten gar Evakuationen ins Auge gefasst werden, kann dies massgeblich zum Entscheid beitragen, Sturmholz mindestens teilweise liegen zu lassen.

### C-3.1.4 Erfahrungen aus «Vivian» 1990 und «Lothar» 1999

In den ersten Wochen und Monaten nach dem Sturm war die Schadenbewältigung besonders von Hektik, Improvisation und Unprofessionalität geprägt. Die Erfahrung aus den Stürmen «Vivian» und «Lothar» zeigt, dass in dieser Anlaufzeit die Unfallhäufigkeit am höchsten war (DANGUY DES DÉSSERT *et al.* 2002; KANTONSFORSTAMT LUZERN 2002).

Die meisten Unfälle ereigneten sich im Privatwald

Der bedeutende technische Fortschritt und die Anstrengungen zur Erhöhung der Arbeitssicherheit durch Kampagnen der SUVA, Kurse, Sicherheitsvorschriften und -Kontrollen trugen wesentlich dazu bei, dass bei Forstbetrieben und Forstunternehmungen nach «Lothar» rund 30% weniger Unfälle zu verzeichnen waren als 10 Jahre zuvor bei der Sturmholzernte nach «Vivian» (WETTMANN 2002). Damals war fast jeder zweite Waldarbeiter von einem Unfall betroffen (vgl. Tabelle 17). Die Anzahl Todesfälle konnte sogar noch deutlicher reduziert werden (WETTMANN 2004). Dank diesen Anstrengungen war die Unfallhäufigkeit je m<sup>3</sup> aufgearbeitetes Holz sogar tiefer als bei Normalschlägen. Weitaus am meisten Todesfälle ereigneten sich nach «Vivian» und «Lothar» im Privatwald (Tabelle 17).

Tabelle 17: Unfälle in der Schweiz bei der Waldarbeit in den Jahren 1990 und 2000 (WETTMANN 2004)

	«Vivian» 1990			«Lothar» 1999		
	Forstbetriebe (öffentlicher Wald)	Privatwald	Total	Forstbetriebe (öffentlicher Wald)	Privatwald	Total
Holznutzung in Mio. m <sup>3</sup>	4,5	1,8	6,3	5,4	3,9	9,3
Anzahl Berufsunfälle	3836	?	?	2195	?	?
Todesfälle	14	17	31	2	14	16
Unfallhäufigkeit (Berufsunfälle/1000 Vollbeschäftigte)	440	?	?	309	?	?

Die Ursachen der 16 bekannten tödlichen Unfälle bei der Sturmholzaufarbeitung nach «Lothar» waren (WETTMANN 2004):

- von Wurzelteller begraben und erdrückt (6 Personen)
- von Stamm erdrückt (5 Personen)
- von diesen 16 Personen arbeiteten 7 Personen alleine im Sturmholz.

Die Diskrepanz zwischen der Unfallhäufigkeit im öffentlichen Wald und derjenigen im Privatwald war auch im von «Lothar» stark betroffenen Baden-Württemberg festzustellen. Dies wird vor allem auf die im Privatwald häufige Unterschätzung der Gefahren, mangelnde Erfahrung und unzureichende Maschinenunterstützung zurückgeführt (SCHÄFFER und VON WILPERT 2004).

In Frankreich ereigneten sich nach «Lothar» und Martin 23% der Unfälle im Wald beim Abstocken, 16% beim Entasten und 10% bei der Aufarbeitung «ohne nähere Angaben», d.h. insgesamt 49% im Zusammenhang mit der motormanuellen Sturmholzaufarbeitung. Im Durchschnitt waren mit der Sturmholzaufarbeitung auch die schwereren Unfälle sowie die Mehrheit der Todesfälle verbunden. 40% der Verunfallten waren weniger als ein Jahr bei der Forstunternehmung beschäftigt. Somit wirken sich neben der Professionalität auch die Vertrautheit mit der Unternehmensorganisation und die Integration im Arbeitsteam auf die Unfallhäufigkeit aus. Aber auch unter den erfahrenen Mitarbeitern, die bereits mehr als 10 Jahre in demselben Unternehmen angestellt waren, hatte die anhaltende physische Belastung und das hohe Stresspotential eine hohe Unfallzahl zur Folge (DANGUY DES DÉSSERT *et al.* 2002).

### **C-3.1.5 Broschüren, Instruktionshilfen, Hilfsmittel**

Im Falle eines Räumungsentscheides sind hilfreiche Materialien verfügbar, die nützliche Hinweise zur Berücksichtigung und Erhöhung der Arbeitssicherheit liefern:

- «*Sturmholz sicher aufrüsten*». Broschüre, 27 Seiten. Erhältlich bei der Suva (Bestell-Nr. 44070.d).
- «*Sturmholz: Lebensgefahr*». Sensibilisierungsfilm. Erhältlich bei der Suva (Bestell-Nr. V 347.d).
- *Checklisten* als Hilfsmittel für Vorgesetzte bei ihrer Kontrolltätigkeit. Erhältlich bei der Suva und im Internet unter [www.suva.ch/suvapro](http://www.suva.ch/suvapro) (deutsch, französisch und italienisch).
- «Gefährdungen bei forstlichen Tätigkeiten – Beurteilung und Dokumentation». CD. Erhältlich bei der Suva (Bestell-Nr. 99067.d).
- «*Sturmschaden-Handbuch*». Ordner (BAFU 2008).
- Webseite [www.suva.ch](http://www.suva.ch) für aktuelle und weiterführende Informationen.

Tabelle 18: Arbeitsverhältnisse und Massnahmen zur Förderung der Arbeitssicherheit

<b>Verhältnisse bei der Sturmholzaufarbeitung:</b>	
<p><b>Besondere Gefahrenquellen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geworfene, entwurzelte, abgebrochene, geknickte und hängen gebliebene Bäume oder Baumteile.</li> <li>• Nicht mehr begehbare, verbarriadierte Strassen und Wege</li> <li>• Erschwerte Zugänglichkeit und Übersicht</li> <li>• Unberechenbare Spannungen und Kräfte, sowohl beim einzelnen Baum als auch bei ineinander verkeilten Stämmen und Stöcken</li> <li>• Labile Bäume, Baumteile, Wurzelteller und Steine, die auch noch nach Tagen, Wochen oder Monaten ohne ersichtlichen Grund plötzlich umfallen, umkippen, abstürzen oder abrollen können</li> <li>• Körperliche Zwangshaltungen beim Aufrüsten des Sturmholzes</li> </ul>	<p><b>Zusätzliche Erschwernisse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grosse Hangneigung</li> <li>• Warme Temperaturen (&gt;20°C)</li> <li>• Schnee, Niederschlag</li> <li>• Ungenügende Aus- und/oder Weiterbildung,</li> <li>• Keine Erfahrung</li> <li>• Grosses Arbeitsvolumen</li> <li>• Lange Arbeitszeiten</li> <li>• Personalknappheit</li> <li>• Schlechte Abstimmung der Teilschritte in der Arbeitskette</li> </ul>
	
<b>Sicherheitsfördernde Massnahmen</b>	
Das betriebliche Sicherheitskonzept der aussergewöhnlichen Situation anpassen und konsequent umsetzen:	
<p><b>Sicherheitsziel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheit geht vor!</li> </ul> <p><b>Sicherheitsorganisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeit nehmen für eine gründliche Planung.</li> <li>• Die punkto Arbeitssicherheit günstigsten Arbeitsverfahren wählen (möglichst hoher Mechanisierungsgrad).</li> <li>• Verzicht auf besonders gefahrenträchtige Sturmholzernte.</li> </ul> <p><b>Aus- und Weiterbildung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur gut ausgebildete Mitarbeiter mit dem Aufrüsten von Sturmholz beauftragen.</li> <li>• Praktische Instruktionen bezüglich Aufrüsten von Sturmholz mit allen Mitarbeitenden vor Ort durchführen.</li> </ul> <p><b>Arbeitsbedingungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auf Mehrarbeit bzw. auf Verlängerung der Arbeitszeiten verzichten.</li> <li>• Mitarbeiter regelmässig von den Aufrüstarbeiten freistellen, andere Tätigkeiten ausführen lassen oder bewusst einen freien Tag einlegen.</li> <li>• Entlöhnung in Regie.</li> </ul>	<p><b>Zusammenarbeit mit Fremdfirmen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überbetriebliche Zusammenarbeit suchen; Mitarbeiter von anderen Forstbetrieben ausleihen</li> <li>• Unternehmen und Betriebe bevorzugen, die bereits ein Sicherheitskonzept umsetzen</li> <li>• Nachweis über Unfall- und Betriebshaftpflichtversicherung verlangen</li> <li>• Auf den Einsatz von ausgebildeten Personen beharren (minimale Grundausbildung, Erfahrung, praktische Instruktion)</li> <li>• Art und Umfang der Arbeiten sowie Zuständigkeiten (z.B. bezüglich Ansprechpartner, Sperrungen von Verkehrswegen usw.) in Werkvertrag regeln</li> </ul> <p><b>Sicherheitsinspektionen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmässig Sicherheitsinspektionen durchführen – trotz Zeitmangel. Zu Beginn der Aufrüstarbeiten gibt es einiges zu verbessern. Später besteht die Gefahr der Nachlässigkeit durch Routine</li> </ul> <p><b>Interne Kommunikation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitarbeiter vermehrt informieren (was, wo, wann, wer, wie viel, warum usw.)</li> <li>• Besprechungen im Team durchführen, auf Anliegen und Anregungen der Mitarbeitenden eingehen</li> <li>• Gefühle und Emotionen der Mitarbeitenden ansprechen, gemeinsam verarbeiten</li> </ul>

## C-4 Forstbetrieb

### C-4.1 Holzmarkt und Logistik berücksichtigen

#### C-4.1.1 Bestimmende Faktoren für die negative Preisentwicklung auf dem Holzmarkt

Im Jahr nach «Lothar» sackten die Preise «franko Waldstrasse» stark ein, bei den Nadelholzsportimenten B/C beispielsweise um bis zu 50%. Betroffen war auch das Holz aus Normalschlägen in Regionen, die von Sturmschäden verschont geblieben waren. Wesentliche Gründe für den starken Preiszerfall sind beschrieben (vgl. BÄRTSCHI *et al.* 2003; BAUR *et al.* 2003; ODENTHAL-KAHABKA und PÜTTMANN 2004, S. 194):

**Grosse Transportdistanzen und hohe Transportkosten drücken die Holzerlöse**

Typisches Merkmal eines Holzmarktes, der von überregionalen Sturmschäden bestimmt wird, ist der ungewohnt hohe Anteil des Fernabsatzes und des Exports. In solchen Käufermärkten müssen die Transportkosten weitgehend vom Verkäufer getragen werden; der erzielte Holzerlös errechnet sich daher aus einem «Franko-Werk-Preis» minus Transportkosten. Mangelnde Konkurrenz, Gewichtslimiten und die LSVA sorgen dafür, dass die Transportkosten auf Strasse und Schiene in der Schweiz verglichen mit Deutschland etwa doppelt so hoch sind. Da der grösste Teil des Lothar-Sturmholzes über deutlich weitere Strecken transportiert wurde als zu Normalzeiten, fielen die Transportkosten in der Gesamtbilanz besonders stark ins Gewicht.

**Prozessabläufe sind häufig schlecht koordiniert**

Holzaufrüstung, Abtransport und Holzverarbeitung bzw. Lagerung müssen aufeinander abgestimmt sein. Der Abtransport des aufgearbeiteten Sturmholzes konnte oft nicht Schritt halten mit der hohen Leistung der modernen Vollernter. Auch der Mangel an LKWs oder Bahnwagen war eine häufige Ursache für die Engpässe beim Abtransport. In diesen Fällen musste das Holz an der Waldstrasse oder auf dem Verladeplatz zwischengelagert werden, was zusätzliche Kosten verursachte.

**Lange Zwischenlagerung führt zu Qualitätsverlust**

Die Zwischenlagerung des aufgearbeiteten Rundholzes bis zu dessen Abtransport bzw. Verlad dauerte oft länger als erwartet und bedeutete besonders während des Sommers eine z.T. erhebliche qualitative Entwertung.

**Ökonomisches Denken kommt oft zu kurz**

Der Preiszerfall wurde auch durch die Vernachlässigung wirtschaftlicher Überlegungen seitens der Waldeigentümer gefördert. Für viele Waldeigentümer waren andere als wirtschaftliche Gründe massgebend für den Entscheid, das Sturmholz zu räumen. Die Holzkäufer waren dadurch in einer starken Position. Gewisse Holzabnehmer im Ausland deklassierten das eingehende Sturmholz bei der Werksvermessung systematisch und beschnitten dadurch die Holzerlöse.

Die nach «Lothar» in manchen Kantonen praktizierte Subventionierung pro m<sup>3</sup> aufgearbeitetes Holz, wirkte sich auf den Holzpreis eindeutig negativ aus. Dank der Subventionen waren die Waldbesitzer eher bereit, ihr Holz zu entsprechend tieferen Preisen abzusetzen. Von diesen öffentlichen Geldern profitierten daher vor allem die Holzverarbeiter.

**Grosse Holzangebote  
überschütten den Markt**

Die Strategie, mit Sofortverkäufen den sinkenden Preisen zuvorzukommen, machte sich für einige Waldbesitzer bezahlt. Die unschöne Seite dieser Taktik war die Beschleunigung des Preiszerfalls. Wer nicht gleich nach dem Sturm mit dem Aufrüsten beginnen konnte oder sich aus Solidaritätsgründen vorerst zurückhielt, hatte das Nachsehen.

**Abnahmeverträge für  
grosse Menge waren nur  
dank starker Preis-  
rücknahme möglich**

Bis zu einem gewissen Grad können Preiseinbussen wettgemacht werden durch die konzentriert anfallende Sturmholzmenge, so dass dennoch ein positiver Ertrag erzielt werden kann. Der Preiseinbruch nach «Lothar» war aber dennoch für viele Schweizer Waldbesitzer zu gross, um in den schwarzen Zahlen zu bleiben.

#### **C-4.1.2 Marktentlastende und Holzpreisstützende Massnahmen**

In ihrer Analyse über die ökonomischen Auswirkungen des Sturmereignisses «Lothar» bezeichnen BAUR *et al.* (2003) deshalb den Holzpreis als «die Schlüsselgrösse» für die negativen ökonomischen Auswirkungen von Stürmen auf die Waldwirtschaft. Dies unterstreicht die grosse Bedeutung von marktentlastenden Massnahmen im Anschluss an ein Sturmereignis.

Von Seiten der Waldwirtschaft haben die Bemühungen, den Holzpreis zu stützen, nur dann Aussicht auf Erfolg, wenn alle Akteure auf allen Ebenen ihren Aufgaben gemäss das gleiche Ziel gemeinsam verfolgen. Auf der Ebene des betroffenen Waldeigentümers werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:

**Gute Planung der  
Prozessabläufe**

Die Prozesskette gut vorausplanen und die Aufarbeitungsgeschwindigkeit möglichst reibungslos auf den Abtransport abstimmen. Die Aufarbeitung jedes Stammes, dessen rechtzeitiger Abtransport nicht gesichert ist, muss unterbleiben. Die Prozesskette wird wesentlich besser geplant, wenn das Holz durch den Käufer aufgearbeitet wird. Daher sind Stockverkäufe immer auch in Erwägung zu ziehen. Es ist sinnvoller das Holz ab Stock zu verkaufen, als Unternehmer mit schnellen Vollerntern nur für die Aufarbeitung einzustellen. Selbst durch schnelle Stockverkäufe wird der Markt nicht mit wilden Holzangeboten überschwemmt.

**Betriebsübergreifende  
Koordination**

Betriebsübergreifende Steuerung des Aufarbeitungsfortschritts, der Sortimentsbildung, der Vermarktung und der Holzlagerung organisieren bzw. akzeptieren. Auf diese Weise kann dem Preisdruck besser begegnet und auch besser auf die Käuferbedürfnisse eingegangen werden.

**Professionalität**

Gut eingespielte und angemessen ausgerüstete Equipen einsetzen. Dies erleichtert die Organisation und die gegenseitige Abstimmung der Arbeitsabläufe.

**Marktentlastung durch  
Holzlagerung**

Qualitätserhaltende Holzlagerung für hochwertige Sortimente organisieren. Die Holzlagerung dient dazu, die Zeit der angespannten Holzmarktlage zu überbrücken. Im grossen Stil angewandt, kann sie auch stabilisierend auf den Holzpreis wirken. Die Nasslagerung ist allerdings sehr kostenaufwendig. Der zu einem späteren Zeitpunkt eventuell bessere Verkaufspreis muss die Lagerkosten mindestens aufwiegen.

<b>Keine unnötige Hast</b>	Sturmholzaufarbeitung auf längere Zeitdauer ausdehnen. In nord- und ostexponierten Lagen bleibt das Nadelholz bis in die zweite Vegetationsperiode hinein qualitativ einwandfrei. Die Lebendkonservierung ist in nord- und ostexponierten Lagen über ca. 900 m ü.M. ein Poker in der Aufarbeitungsplanung, jedoch kein vollwertiges Konservierungsverfahren (Odenthal-Kahabka und Püttmann 2004).
<b>Minderwertige Sortimente liegenlassen</b>	Verzicht auf die Aufarbeitung minderwertiger Sortimente und schlechter Qualitäten. Das Belassen minderwertiger Sortimente ist meist ökonomischer und entlastet sowohl den Holzmarkt als auch das Forstpersonal. Umgekehrt lösen qualitativ überdurchschnittliche Sortimente auch in Krisenzeiten gute Preise.
<b>Ökonomisch denken</b>	Ökonomische Überlegungen stärker gewichten. Wenn keine öffentlichen Interessen, wie z.B. Schutz vor Naturgefahren oder Schutz intakter Wälder mit besonderen Vorrangfunktionen, die Handlungsfreiheit des Waldbesitzers wesentlich einschränken, kann dieser sich stärker auf betriebswirtschaftliche Überlegungen ausrichten. In diesem Fall wird vor allem der Holzerntekostenfreie Erlös bestimmen, ob das Sturmholz geräumt oder liegengelassen werden soll (Baur <i>et al.</i> 2003).

## C-4.2 Gute Voraussetzungen für Folgebestand schaffen

### C-4.2.1 Begriffe

- **Verjüngung:** Kollektiv junger Bäume auf einer Fläche.
- **Ansamung<sup>15</sup>:** Verjüngung von 0 bis 3 Jahren.
- **Anwuchs<sup>15</sup>:** Verjüngung älter als 3 Jahre aber nicht höher als die Krautschicht (25–75 cm Höhe).
- **Aufwuchs<sup>15</sup>:** Verjüngung, die der Krautschicht entwachsen ist, aber die übliche Schneedecke noch nicht deutlich überragt.

### C-4.2.2 Charakteristische Eigenschaften von Windwurfflächen

Mit zunehmender Grösse der Windwurffläche nimmt der Einfluss des umgebenden Bestandes auf die Wiederbewaldung ab. Mikroklima und Waldentwicklung sind nicht mehr wie im Wald, sondern von für Windwurfflächen typischen Bedingungen überlagert:

- ausgeprägte Tag- und Nacht-Temperaturextreme
- häufiger Frostwechsel in den oberen Bodenschichten,
- hohes Licht- und Wärmeangebot,
- ungebremste Luftbewegungen in Bodennähe,
- mehr Niederschläge am Boden
- rasche Mineralisation der Humusaufgabe,
- üppige Entwicklung lichtbedürftiger Konkurrenzvegetation,
- mangelnder Samenanflug auf grossen Flächen.

### C-4.2.3 Einfluss von Räumen und Belassen auf die Rahmenbedingungen der Wiederbewaldung

#### a) Mykorrhiza

**Unvorsichtige Räumung kann auch die Mykorrhizafloren gefährden**

Bleibt eine Windwurffläche während längerer Zeit ohne Baumnachwuchs, so verschwinden auch die Mykorrhizapilze mehr und mehr, was sich auf die Naturverjüngung negativ auswirken kann (REXER *et al.* 1998). Trotzdem gibt es einige wenige Mykorrhiza-Pilzarten, die offenbar längere Zeit ohne lebenden Baumpartner im Boden überleben und selbst zehn Jahre nach dem Sturm noch fähig sind, neu aufwachsende Sämlinge vollständig zu mykorrhizieren (EGLI *et al.* 2002).

Die Sturmholzernte kann auch bei den Mykorrhizapilzen zu einem Artenschwund führen, wenn dadurch auch die Vorverjüngung stark beeinträchtigt wird.

<sup>15</sup> Definitionen für Ansamung, Anwuchs und Aufwuchs gemäss (OTT *et al.* 1997)

### b) Kleinstandorte

**Räumung homogenisiert die Standortverhältnisse**

Durch Entwurzelung von Bäumen wird bei einem Windwurf viel Mineralboden freigelegt. Wurzelteller und Wurzeltellermulden bieten für Sämlinge vieler Baumarten günstige Ansaunungsmöglichkeiten. Diese Kleinstandorte sind auf belassenen Flächen häufig, weil die Wurzelteller nicht zurückklappen können. Da in den Wurzeltellermulden praktisch keine Samenbank oder Rhizome vorhanden sind, wachsen diese Standorte langsamer ein als der umgebende Waldboden. Die aufgeklappten Wurzelteller bleiben zudem lange Zeit als erhöhte Kleinstandorte erhalten (ULANOVA 2000). Die Räumung bewirkt eine Homogenisierung der Kleinstandorts- und damit auch der Vegetationsverhältnisse. Kleinstandorte mit offenem Mineralboden entstehen aber auch durch Bodenschürfungen bei der Räumung. Allerdings neigen geräumte südexponierte Windwurfflächen mit gut entwickelten, feinkörnigen Böden und noch schwachem Bewuchs zur Austrocknung bis in Tiefen von 35 cm (WOHLGEMUTH *et al.* 1995).

**Bodenstörungen durch die Räumung begünstigen die Keimung von Baumsamen**

**Belassenes Sturmholz wirkt ausgleichend auf das Mikroklima**

Die ungehinderte, direkte Sonneneinstrahlung führt vor allem auf vegetationsarmen Standorten geräumter Windwurfflächen zu starker Erwärmung und damit auch zu niedriger relativer Feuchtigkeit in den bodennahen Luftschichten, wodurch bis zu 100% der Ansaunung vernichtet werden kann. Wird das Mikroklima nicht durch häufige Winde, wie z.B. Berg- und Talwinde, wesentlich mitbeeinflusst, so wirkt sich das Räumen des Sturmholzes besonders auf vegetationsarmen Standorten ungünstig auf den Tagesverlauf der bodennahen Lufttemperatur aus. Das auf geräumten im Vergleich zu belassenen Windwurfflächen kontinentalere Mikroklima macht sich im Frühling und im Herbst durch häufigere Nachtfroste bemerkbar (BOGENRIEDER *et al.* 1998).

Wegen der Wärmeabstrahlung durch die liegenden Stämme apert belassene Windwurfflächen in höheren Lagen einige Tage früher aus als geräumte (FREY und THEE 2002).

### c) Schneepilze

Schneeschemmel und andere Schneepilze sind vor allem ein Problem für junge Fichten der hochmontanen und subalpinen Höhenstufe. Insbesondere in Muldenlagen mit später Ausaperung und in hochstaudenreichen Fichtenwäldern sind sie die wirkungsvollsten Keimlings- und Sämlingskiller. Dort ist eine ausreichende, natürliche Verjüngung nur bei Vorhandensein von genügend Moderholz gesichert (OTT *et al.* 1997).

Belassene Flächen bieten langfristig mehr erhöhte Kleinstandorte mit früher Ausaperung und somit geringerer Gefährdung durch Schneeschemmel.

### d) Gefährdung der Verjüngung durch Stammbewegungen

**Das Sturmholz kann in Hanglagen die Verjüngung mechanisch beeinträchtigen**

In steileren Lagen bewegen sich die liegenden Stämme aufgrund des Setzungsvorgangs und innert 10 Jahren um durchschnittlich 1–2 m talwärts (FREY und THEE 2002). Lokal wird das Sturmholz auch durch Schneebebewegungen über mehrere Meter zusammengeschoben. Dadurch kann die Verjüngung, die sich talseits in der Nähe liegender Stämme befindet, in ihrer Qualität und Standfestigkeit beeinträchtigt werden.

Schneegleiten ist auf belassenen und geräumten Flächen reduziert

e) *Gefährdung der Verjüngung durch Schneebewegungen*

Die Aufwuchsphase ist die kritische Zeit, in der die Elastizität der Stämmchen mit zunehmender Entwicklung abnimmt (FREHNER *et al.* 2005). Das liegende Holz kann in Hanglagen, wenn auch in reduziertem Mass, selbst in fortgeschrittenem Zersetzungsgrad noch zur Reduktion oder Verhinderung von Schneebewegungen beitragen. Besonders wirksam gegen **Schneegleiten** ist eine Lage der Stämme schräg zur Falllinie. In sehr steilen Lagen sollten diese aber gut verankert sein. Während das ebenfalls problematische **Schneekriechen** in allen Expositionen auftritt, gefährdet das Schneegleiten den Jungwald vor allem in stark besonnten Steilhängen.

**Sturmflächen** sind sowohl im belassenen als auch im geräumten Zustand wenig gefährdet, weil das liegende Holz, Strünke und Wurzelteller die Oberflächenrauigkeit stark erhöhen (FREY und THEE 2002; NOACK *et al.* 2004). Das Schneegleiten wird dadurch wesentlich reduziert. Im montanen Bereich mag dieser Schutz genügen und bis zur Funktionserfüllung durch den aufkommenden Jungwald anhalten, in ungünstigen Fällen, besonders subalpin, jedoch nicht.

#### C-4.2.4 Einfluss von Räumen und Belassen auf die Wiederbewaldung

a) *Vorverjüngung*

Auch wenn in einigen Fällen rasch wachsende Pionierbaumarten die Wiederbewaldung beherrschen, spielt nach Windwurf die mehrheitlich aus Schlussbaumarten bestehende Vorverjüngung bei der Entwicklung des Folgebestandes meistens eine Schlüsselrolle (PETERSON 2000; ANGST und REICH 2004). Der Höhenvorsprung vorverjüngter Jungbäume gegenüber einer nach Windwurf rasch überhand nehmenden Konkurrenzvegetation kann für den weiteren Verlauf der Wiederbewaldung entscheidend sein. Je grösser die Wuchshöhe der Vorverjüngung, desto geringer sind die Einflüsse der verdämmenden Arten auf die Dichte und Qualität der Verjüngung (NOBIS und BÜRGI 2004). Deshalb ist ein guter Vorrat an Vorverjüngung auf Standorten mit potentiell starker Vegetationskonkurrenz besonders wichtig (SCHÖNENBERGER 2002; WOHLGEMUTH *et al.* 2002). Dies betrifft insbesondere nährstoffreiche Buchenwälder und in höheren Lagen die hochstaudenreichen Fichtenwälder.

Unpflegliche Holzernte beeinträchtigt die Vorverjüngung

Die Sturmholzaufarbeitung kann die Qualität und Vitalität der bereits etablierten jungen Bäume wesentlich beeinträchtigen und diese für die folgende Wiederbewaldung unbrauchbar machen. Bei pfleglicher Ausführung der Sturmholzernte ist es jedoch möglich, die vorhandenen Verjüngungsvorräte weitgehend zu erhalten. Es lohnt sich, der Erhaltung des Nachwuchses höhere Bedeutung einzuräumen als der Intensität und Geschwindigkeit der Aufarbeitung (PALMER *et al.* 2000).

Belassenes Sturholz dunkelt einen Teil der Vorverjüngung aus

Lässt man die geworfenen Bäume liegen, so bleiben deren Kronen oft noch über mehrere Jahre hinweg grün (NOBIS und WOHLGEMUTH 2004). Oft wird dadurch ein beträchtlicher Flächenanteil zugedeckt. Die darunter verborgenen Jungbäume erleiden dadurch starke

Stammverformungen oder gehen infolge Lichtmangels ein. Eine rechtzeitige und schonende Sturmholzräumung könnte dies zum Teil verhindern.

*b) Ansammlungspotential*

Auf grossen Windwurfflächen wird das Samenangebot rasch zum Minimumfaktor für die Wiederbewaldung. Verbliebene Samenbäume auf der Fläche sollten deshalb möglichst geschont werden, auch wenn deren Qualität für eine allfällige Wertholzproduktion nicht genügen sollte und sie oft inner weniger Jahre absterben (KOCH und BRANG 2005). Zu beachten ist, dass sich die meisten Windwurfflächen innert weniger Jahre nach dem Ereignis vergrössern; die Bestandesränder weichen weiter zurück, die Distanz zu Samenbäumen nimmt zu.

Für die meisten Baumarten liegen die Reichweiten, in welchen sie die Zusammensetzung der Verjüngung massgeblich mitbestimmen können, unter 100 m (vgl. Abbildung 17). Selbst die Birke samt sich bei Entfernungen von über 100 m nur noch vereinzelt an (SUCHOCKAS 2002). Aufgrund von Abbildung 17 ist der Einflussbereich der Fichten erheblich grösser als bei den meisten Laubbaumarten. Bei Weiden hingegen scheint die Distanz zu Samenbäumen nicht begrenzend zu sein (STANKIEWITZ 2004).

Liegt die Windwurffläche im Einflussbereich samentragender Birken oder anderer Pionierbaumarten, dann stellt sich insbesondere nach einer Räumung oft ein mehr oder weniger dichter Pionierwald ein.

Eine befriedigende Neuansamung der Schlussbaumarten Fichte und Tanne beschränkt sich hauptsächlich auf eine etwa 75 m breite Randzone entlang des Bestandesrandes (KENK *et al.* 1991).

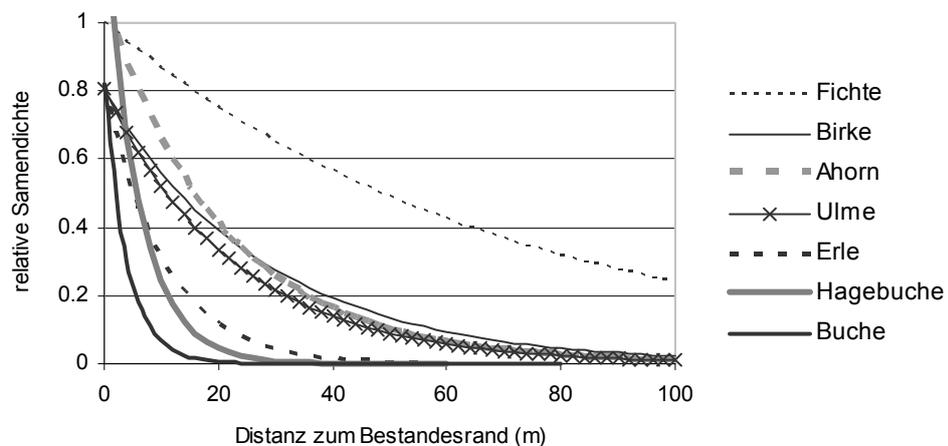


Abbildung 17: Samenangebot in Abhängigkeit von der Distanz zum Bestandesrand (Quellen für Laubholz: (KARLSSON 2002); für Fichte: (LÄSSIG *et al.* 1995))

### c) Nachverjüngung und Vegetationskonkurrenz

Im Gegensatz zur Vorverjüngung, in welcher vor allem die Schlussbaumarten des Vorbestandes vertreten sind, wird die sich in den ersten Jahren nach dem Sturm einstellende Nachverjüngung in der Regel vorwiegend durch Pionierbaumarten bestimmt (KOCH und BRANG 2005). Die Zeit für eine erfolgreiche Nachverjüngung auf Windwurfflächen ist meist kurz und durch das Aufkommen der Konkurrenzvegetation begrenzt. Vielerorts werden die Windwurfflächen innert 2–3 Jahre (3–10 Jahre in höheren Lagen) von einer dichten Vegetationsdecke aus konkurrenzstarken Arten überzogen. Hat sich einmal eine Vegetationsdecke etabliert, so findet man darunter kaum mehr neue Sämlinge (PETERSON und PICKETT 1995; WOHLGEMUTH *et al.* 2002; DARBELLAY 2003). Deshalb entscheidet im Falle einer unzureichenden Vorverjüngung der Ansamerungserfolg innerhalb dieses kurzen Zeitfensters massgeblich darüber, ob die natürliche Wiederbewaldung rasch oder verzögert verlaufen wird.

Oft war die Konkurrenzvegetation bereits im Vorbestand zumindest ansatzweise vorhanden. Zusammen mit den liegenden Baumkronen, die den Boden oft völlig abdunkeln, sorgt sie dafür, dass die Nachverjüngung auf belassenen Windwurfflächen eher lückig aufkommt. Im Gegensatz dazu ist auf geräumten Flächen eine gleichförmige Wiederbewaldung häufiger, da durch die Sturmholzernte viele Bodenwunden entstehen und oft auch die vom Sturmholz überdeckte Vorverjüngung freigelegt wird.

#### **Vegetationskonkurrenz in tiefen Lagen**

Himbeere, Adlerfarn und vor allem die Artengruppe der Brombeeren sind bedeutende Konkurrenten der Verjüngung auf den Windwurfflächen des Mittellandes. Sie können die Dichte und Artenzusammensetzung der sich nach dem Sturm einstellenden Waldverjüngung wesentlich beeinflussen. Die Brombeerteppiche wirken sich besonders negativ auf die Keim- bzw. Anwuchschancen der Baumverjüngung aus (ANGST und REICH 2004; NOBIS und BÜRGI 2004).

Auf vielen Lothar-Windwurfflächen des Schweizer Mittellandes – mehrheitlich Buchenwaldstandorte – war die Kolonialisierung durch die Konkurrenzvegetation bereits in der dritten Vegetationsperiode nach «Lothar» praktisch abgeschlossen. Häufig waren Brombeeren mit bis zu 80% Deckungsgrad aspektbestimmend, ergänzt durch Himbeere oder Adlerfarn. Während sich die Vegetation auf belassenen Windwurfflächen bereits von Beginn weg praktisch ungehindert rasch ausbreiten konnte, lief dieser Prozess auf geräumten Flächen wegen der Sturmholzernte meist mit einem Jahr Verzögerung ab (ANGST und REICH 2004; NOBIS und BÜRGI 2004; KOCH und BRANG 2005).

#### **Vegetationskonkurrenz in höheren Lagen**

Hochmontan und subalpin konzentriert sich die Nadelbaum-Verjüngung bei üppigem Bewuchs mit Hochstauden oder Reitgras hauptsächlich auf die erhöhten Kleinstandorte (DARBELLAY und MÉTRAL 2004; KUPFERSCHMID und BUGMANN 2005). Dort ist in der Regel das Mikroklima trockener und die Schlagflora eher schwach ausgebildet. Feuchte, i.d.R. konkave Standorte mit Hochstauden, Farn, Pestwurz oder auch dichte Himbeerhorste sind dagegen klar verjüngungsungünstig. Die Vogelbeere kann sich auch im Reitgras und unter dem Schmalblättrigen Weidenröschen fortgesetzt erfolgreich ansamen (DARBELLAY und MÉTRAL 2004). Allgemein scheint die Verjüngung von Laubbäumen im Unterschied zu Nadelbäumen auch in höheren Lagen weniger von speziell verjüngungsgünstigen Kleinstandorten abhängig zu sein (MENGIN 2004).

Nach Windwurf ist das günstigste Zeitfenster für die Etablierung der Ansamung oft auf die ersten 3–5 Jahre beschränkt, während sich die Frist auf Reitgras- und Heidelbeerstandorten über 5–10 Jahre erstrecken kann (OTT *et al.* 1997; MENGIN 2004).

#### Vegetationskonkurrenz in den Zentralalpen

In den Lärchenwäldern der kontinental geprägten Zentralalpen ist die Wiederbewaldung in der Regel unproblematisch (OTT *et al.* 1997). Hier nimmt die Begleitvegetation (v.a. Gräser und Himbeere) nicht so rasch überhand und ihr Konkurrenzdruck auf die Ansamung ist meistens nicht so ausgeprägt. In höheren Lagen im Wallis zählte MENGIN (2004) selbst in der 5. Vegetationsperiode nach «Lothar» noch genügend vegetationsfreie Stellen, auf denen sich Lärche, Fichte, Vogelbeere etc. in grösserer Zahl etablieren konnten. Hingegen waren 10 Jahre nach «Vivian» die verjüngungsgünstigen Standorte zumindest für die Lärche weitgehend verschwunden (DARBELLAY und MÉTRAL 2004). Später können sich unter dem Schirm von Pionierbäumen (z.B. Birke oder Lärche) trotz etablierter Vegetationskonkurrenz günstige Kleinstandorte bilden, die beispielsweise der Fichte oder der Tanne eine erfolgreiche Ansamung ermöglichen (MENGIN 2004).

#### C-4.2.5 Ergänzungspflanzungen auf geräumten und belassenen Windwurfflächen

##### Beurteilungskatalog der Naturverjüngung:

- Ist die Anzahl und Verteilung der Jungbäume genügend?
- Kann in den kommenden Jahren aufgrund der Samenbäume, der Kleinstandorte und der Vegetationsentwicklung noch mit bedeutender Ansamung gerechnet werden?
- Etabliert sich ein schützender Vorwald?
- Ist die Baumartenzusammensetzung standortsgemäss?
- Ermöglicht die Baumartenzusammensetzung das Erreichen der waldbaulichen Ziele?
- Lassen die Samenbäume auf eine gute Qualität und Provenienz der in der Naturverjüngung vertretenen Zielbaumarten schliessen?

Vor Ergänzungspflanzungen sollte eine Windwurffläche eingehend begangen und das natürliche Verjüngungspotential beurteilt werden (vgl. Kasten).

Im Erholungs- und Naturwald kann eine anfangs spärliche aber standortsgemässe Verjüngung durchaus genügen. Im Wirtschaftswald hingegen kann insbesondere auf grossen Flächen (grösser als etwa 3 ha) und bei ungenügender Verjüngung eine Ergänzungspflanzung aus wirtschaftlichen Gründen angebracht sein, beispielsweise durch eine kostengünstige Trupppflanzung mit Trupps im Endabstand (GOCKEL *et al.* 2001; KOCH und BRANG 2005).

Auch im Schutzwald kann eine genügend rasche Wiederbewaldung oft nur mit Ergänzungspflanzungen garantiert werden. In höheren Lagen erhält man dadurch gegenüber der natürlichen Wiederbewaldung einen Vorsprung von mindestens 10 Jahren (SCHÖNENBERGER 2002).

Die künstliche Verjüngung ist mit den entsprechenden Einschränkungen und einem höheren Aufwand auch auf belassenen Flächen möglich (SCHWITTER 1996). Auf Vivianflächen im Gebirgswald haben Zeitmessungen der Försterschule Maienfeld folgende Pflanzzeiten ergeben (R. Schwitter, mündl.):

- In belassener Windwurffläche: 21 Pfl./Std. (Messumfang 4'150 Pflanzen)
- In geräumter Windwurffläche: 31 Pfl./Std. (Messumfang 1'800 Pflanzen)

**Ergänzungspflanzungen auf belassenen Flächen ist möglich aber aufwendig**

Durch Pflanzungen zwischen den liegenden Stämmen lässt sich im Schutzwald die befristete Schutzwirkung des liegenden Holzes maximal ausnützen. Ergänzungspflanzungen in belassenen Windwurfflächen sind möglichst bald nach dem Sturmereignis auszuführen, weil mit zunehmender Ausbreitung der Konkurrenzvegetation die Fortbewegung im Verhau immer schwieriger wird und auch für die gepflanzten Jungbäume ein Vorsprung gegenüber der übrigen Vegetation von Vorteil ist.

#### **C-4.2.6 Pflege und Bewirtschaftung auf geräumten und belassenen Windwurfflächen**

##### **Biologische Rationalisierung**

(SCHÜTZ 1996)

1. *Naturautomation:*

Was die Natur für uns erledigt, wird ihr möglichst überlassen. Minimale lenkende Eingriffe werden nur da vorgenommen, wo die Naturabläufe gegen unsere Ziele arbeiten.

2. *Konzentrationsprinzip:*

Die angestrebte Produktion und die dafür erforderlichen Massnahmen konzentrieren sich auf eine minimale Anzahl von Bäumen.

Jungwuchs- und Dickungspflege sind in der Regel kostenintensive Eingriffe ohne nennenswerte Erträge. Diese Kosten können durch minimale Eingriffe und angepasste Produktionsziele tief gehalten werden.

Am wenigsten bzw. keine Pflege braucht es in Wäldern mit den Vorrangfunktionen Erholung, Naturwald und Energiewald. Aber auch in Wäldern mit Wertholzproduktion ist es unter Umständen möglich, ohne erhöhtes Risiko und ohne Erlös-Einbussen ganz auf die kostenintensive Pflege zu verzichten. In den ersten Entwicklungsstufen kann die «Läuterung» oder «Erdünnerung» ganz der natürlichen Mortalität und Selbstausdünnung überlassen werden. Voraussetzung dafür ist eine genügend dichte Verjüngung, entsprechend dem Wuchsverhalten der jeweiligen Baumart. Unter dieser Bedingung finden sich auch in nicht gepflegten Beständen nach 20 bis 60 Jahren (vgl. Tabelle 19) gepflegten qualitativ gute Wertholz-Kandidaten in genügender Anzahl und Verteilung, die in der Folge begünstigt

werden können (vgl. WEIHS *et al.* 1999; AMMANN 2005b; AMMANN 2005d; AMMANN 2005c; AMMANN 2005a).

**Unter günstigen Bedingungen ersetzt die Naturautomation die Pflege der ersten Jahrzehnte**

Aufgrund der Untersuchungen von Ammann, die sich v.a. auf Mittellandverhältnisse unterhalb 900 m ü.M. beziehen, ist also auch auf belassenen Windwurfflächen mit ausreichender Verjüngung eine spätere Wertholzproduktion nicht auszuschliessen. Bis zum Ersteingriff ist unter dem Stangenholz die Konkurrenzvegetation verschwunden und das Sturmholz hat sich soweit gesetzt, dass die Fläche wieder einigermaßen begehbar sein wird (vgl. Abbildung 18 und Tabelle 20). Solange auf belassenen Windwurfflächen das liegende Holz nicht genügend zerfallen und abgebaut ist, sind Fortbewegung und waldbauliche Arbeiten in der Fläche sehr mühsam und die Unfallgefahr hoch.

**Arbeiten im Verhau sind mühsam und gefahrenträchtig**

Tabelle 19: Ersteingriff im Produktionswald unter Einbezug der biologischen Rationalisierung, gemäss AMMANN (2005b; 2005c).

Baumart	Produktionsziel	Oberhöhe beim Ersteingriff	Alter beim Ersteingriff *
Fichte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zieldurchmesser 60 cm</li> <li>• 200 bis 250 Z-Bäume je ha</li> <li>• Umtriebszeit ca. 100 bis 120 Jahre</li> </ul>	15 m	ca. 25 Jahre (Altersangabe für gute Bonität)
Buche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zieldurchmesser 60 bis 70 cm</li> <li>• 100 bis 120 Z-Bäume je ha</li> <li>• Umtriebszeit ca. 100 bis 120 Jahre</li> </ul>	17 bis 32 m (bei Bonität 20 bzw. 28)	40 bis 60 Jahre
Ahorn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zieldurchmesser 60 cm</li> <li>• 80 bis 100 Z-Bäume je ha</li> <li>• Umtriebszeit 80 bis 100 Jahre</li> </ul>	15 m (evtl. 20 m)	ca. 20 Jahre (evtl. 30 Jahre)
Esche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zieldurchmesser 50 bis 60 cm</li> <li>• 60 bis 100 Z-Bäume je ha</li> <li>• Umtriebszeit ca. 80 Jahre</li> </ul>	15 m	15–20 Jahre

\* In Mischbeständen kann sich je nach Baumartenzusammensetzung und Bestockungsziel bereits zu einem früheren Zeitpunkt eine punktuelle Mischungsregulierung aufdrängen (AMMANN 2005a).

Tabelle 20: Ungefähre Zersetzungsdauer liegender Bäume, die vom Sturm geworfen worden sind. Die vorherrschende Temperatur, Feuchtigkeit und biologische Bodenaktivität bestimmen die Geschwindigkeit des Holzabbaus wesentlich. Geworfene Laubbäume mit noch starkem Wurzelkontakt können noch über mehrere Jahrzehnte hinweg weiterleben (vgl. Abbildung 18).

Baumart	durchschnittliche Zersetzungsdauer	Bemerkungen	Quellen
Fichte	55–150 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bis zur vollständigen Auflösung.</li> <li>• im borealen Nadelwald – kann auch für Gebirgswald gelten.</li> <li>• liegendes Totholz.</li> <li>• Durchmesser von mehr als 25 cm.</li> </ul>	(HYTTEBORN und PACKHAM 1987; STORAUNET und ROLSTAD 2002)
Fichte, Tanne, Föhre, Lärche	> 50 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bis zur vollständigen Auflösung.</li> <li>• stärkere Durchmesser.</li> <li>• Zersetzungsdauer: Tanne &lt; Fichte &lt; Föhre &lt; Lärche</li> </ul>	(KORPEL' 1995; YATSKOV <i>et al.</i> 2003)
Buche, Ahorn, Esche, Linde	30 Jahre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei gutem Bodenkontakt stark zersetzt (vgl. Abbildung 18).</li> <li>• ursprünglich ca. 40–50 cm dickes Sturmholz.</li> <li>• stellt für die Durchforstung kein wesentliches Hindernis mehr dar.</li> </ul>	(KORPEL' 1995; RUNE 2002; MÜLLER-USING und BARTSCH 2003)
Eiche	länger als Fichte		(AMMER 1991)



Abbildung 18: Ca. 30-jähriger Folgebstand aus Birke, Ahorn und Buche auf einer belassenen Windwurffläche bei Almindingen auf der dänischen Insel Bornholm. Die liegenden Buchen (BHD ca. 40–50 cm) wurden im Oktober 1967 im Alter von 89 Jahren vom Sturm geworfen. In den ebenen Partien (links) sind die meisten Stämme weitgehend zersetzt, während in den Hanglagen (rechts) viele liegende Buchen noch leben. (Foto: F. Rune, Danish Forest and Landscape Research Institute, Oktober 1999)

### C-4.2.7 Moderholzverjüngung

#### a) Unentbehrlicher Verjüngungsstandort vieler Fichtenwälder

In den Nadelwäldern der hochmontanen und subalpinen Stufe ist das Moderholz nützlich, ja wegen der grossen Vegetationskonkurrenz vielerorts sogar unerlässlich für die erfolgreiche natürliche Waldverjüngung (OTT *et al.* 1997; vgl. Tabelle 21). Die Fichte gilt als Hauptnutznießerin dieses Keimsubstrats; gelegentlich wachsen darauf auch andere Baumarten, z.B. Tanne, Lärche, Vogelbeere, Birke etc.

#### Vorteile des Kleinstandorts Moderholz (MAI 1997):

- Ausgeglichener Wasserhaushalt, d.h. keine Staunässe und sehr verzögerte Austrocknung.
- Ausgeglichene Temperaturverhältnisse und im Vergleich zur Umgebung höhere Temperaturen ohne die Gefahr der Überhitzung.
- Bessere Lichtverhältnisse dank erhöhter Lage gegenüber der Konkurrenzvegetation.
- Kleinere Gefahr der Überdeckung durch Konkurrenzvegetation.
- Verlängerte Vegetationszeit dank relativ früher Ausaperung.
- Schutz vor Schneebewegungen.
- Weniger Pilzschädlinge (z.B. Schwarzer Schneeschimmel).

In Ritzen und in Moospolstern sind auf dem Totholz bereits in den ersten Jahren Baumkeimlinge zu finden. Diesem frühen Erfolg folgt allerdings innerhalb der ersten 10 Lebensjahre eine Ausfallrate von bis zu 80% (HILLGARTER 1971; MARTIN 2003). Bis sich auf einem mindestens 25 cm dicken Stamm eine Verjüngung einstellen kann, die auch langfristig überlebt, muss dieser bereits während mindestens 15–30 Jahren am Boden gelegen haben (MAI 1998; MARTIN 2003). Massgebend für die Zersetzungsgeschwindigkeit sind nebst der Holzart vor allem der direkte Bodenkontakt und die Bodenfeuchte. Vom Fall des Baumes bis zur vollständigen Auflösung des Moderholzes dauert es im Gebirgsnadelwald 70–150 Jahre (BROWN *et al.* 1998; STORAUNET und ROLSTAD 2002).

Die Fichte weist in Mitteleuropa etwa alle 3–5 Jahre ein gutes Samenjahr auf. Mit zunehmender Höhenlage und damit einhergehender Wärmeabnahme verlängert sich dieser Zeitraum (SCHMIDT-VOGT 1991). Deshalb sind die langsame Zersetzung des Totholzes und der dadurch über lange Zeit hinweg verfügbare ansamungsgünstige Kleinstandort im Gebirgswald ein grosser Vorteil (OTT *et al.* 1997).

*b) Bedeutung von Moderholz auf Windwurfflächen*

Durch die Sturmholzzräumung wird in montanen und subalpinen Fichtenwäldern ein möglicherweise wichtiges zukünftiges Verjüngungssubstrat entfernt. Diesem Nachteil kann durch eine Teilräumung entgegengewirkt werden. Die zukünftige Bedeutung der Moderholzverjüngung auf offenen Sturmschadenflächen ist allerdings mangels Erfahrung schwierig zu beurteilen. Zwar wirkt sich in der Aufwuchsphase das direkte Sonnenlicht positiv auf das Wachstum der Bäume aus, der Keimerfolg nimmt aber mit zunehmender täglicher Sonneneinstrahlung eher ab (FREHNER 2002). Dies dürfte im Wesentlichen damit zusammenhängen, dass sonnenexponiertes Moderholz relativ rasch austrocknet. Als zukünftiges Keimsubstrat wird das Sturmholz wahrscheinlich hauptsächlich bei Einzelwürfen und kleineren Windwurfklüften, sowie in Hochstaudenfluren grössere Bedeutung erhalten. Dort ist die Beschattung stärker als auf schwächer bewachsenen Freiflächen.

Tabelle 21: Waldstandortstypen, in welchen das Moderholzes für die Fichtenverjüngung wichtig ist (vgl. FREHNER *et al.* 2005)

<b>Waldstandortstypen</b>	<b>Bedeutung von Moderholz</b>
Buchenwälder der untermontanen Stufe	unbedeutend
Fichtendominierte Wälder der hochmontanen und subalpinen Stufe:	unerlässlich
57V Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere	
57C Alpenlattich-Fichtenwald mit Wollreitgras	
57S Alpenlattich-Fichtenwald mit Torfmoos	
60 Typischer Hochstauden-Fichtenwald	
60A Hochstauden-Fichtenwald mit Alpenwaldfarn	
60E Hochstauden-Fichtenwald mit Schachtelhalm	
47* Alpenrosen-Lärchen-Tannenwald	
46 Typischer Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald	
46M Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald auf Podsol	
46* Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald mit Torfmoos	
49 Typischer Schachtelhalm-Tannen-Fichtenwald	
49* Schachtelhalm-Tannen-Fichtenwald mit Rostsegge	
50 Typischer Hochstauden-Tannen-Fichtenwald	
50P Hochstauden-Tannen-Fichtenwald mit Pestwurz	
48 Blockschutt-Tannen-Fichtenwald	
56 Moorrand-Fichtenwald	
57BI Alpenlattich-Fichtenwald, Blockausbildung	
Alle andern Standortstypen mit Fichte oder Tanne	nützlich

#### **C-4.2.8 Moderate Schlagräumung**

Nach der Sturmholzaufarbeitung kann auf eine Schlagräumung, d.h. das Zusammentragen von nach der Holzernte zurückgebliebenem Stammholz, Ästen und Rinde, aus Waldschutzgründen vielerorts problemlos verzichtet werden (FORSTER *et al.* 1998). Gegebenenfalls ist eine massvolle Schlagräumung wegen der Arbeitssicherheit, künftiger Pflanz- und Pflegearbeiten oder aus phytosanitären Gründen angebracht. Wird der Schlagabraum zugunsten der Bestandesbegründung geräumt, so kann sich dies auf die verjüngungsgünstigen Pflanzstellen beschränken.

Wenn nach der Holzernte ganze Baumkronen zurückbleiben, so können einige Befreiungsschnitte im Feinst-Bereich den Wert der darunter liegenden Verjüngung erhalten (PICHERY und BRUCIAMACCHIE 2002).

Aus Gründen des Bodenschutzes ist eine flächendeckende Schlagräumung problematisch, wenn das Astmaterial maschinell zusammengestossen und dadurch die Fläche intensiv befahren wird (vgl. C-4.3).

### C-4.3 Bodenfruchtbarkeit erhalten

#### C-4.3.1 Bodenschutz ist kein Luxus

Das Bundesrecht schreibt vor, dass der Boden durch physikalische Belastung nicht nachhaltig beeinträchtigt werden darf, und unterstellt die Umsetzung des physikalischen Bodenschutzes im Wald der Verantwortung der Kantone (Art.33 Abs.1 USG, Art.28 Lit.d WaV). Im Waldprogramm Schweiz ist der Schutz der Waldböden eines der fünf prioritären Ziele von «grosser nationaler Bedeutung mit hohem Handlungsbedarf» (PROJEKTLEITUNG WAP-CH, BHP-BRUGGER & PARTNER 2004).

Mit den technischen Fortschritten, die in neuerer Zeit bei den Holzerntemaschinen erzielt worden sind, hat auch die Bedeutung des Bodenschutzes zugenommen. Dies wurde nach «Lothar» besonders deutlich. Bei der weitgehend maschinell ausgeführten Sturmholzaufarbeitung wurde die Verdichtungsempfindlichkeit vieler Böden leider häufig zu wenig beachtet (WSL und BUWAL 2001; SCHENK 2003; SCHÄFFER und VON WILPERT 2004).

Der Boden ist die Produktionsgrundlage und damit auch das Grundkapital der Waldwirtschaft. Eine nachhaltige Bewirtschaftung ist nur möglich, wenn die Bodenfruchtbarkeit erhalten bleibt. Ist der Boden einmal verdichtet, so können selbst kostspielige Anstrengungen den ursprünglichen Zustand nicht wieder herstellen (MORTIER 2001).

#### C-4.3.2 Eigenschaften verdichtungsempfindlicher Böden

Ein Grossteil der Schweizer Waldböden ist verdichtungsempfindlich.

Die Verdichtungsempfindlichkeit eines Waldbodens wird im wesentlichen bestimmt durch die Feuchtigkeit, Körnung und bereits vorhandene Verdichtungen:

##### Bodenfeuchte

«Das Bodenwasser beeinflusst den Zusammenhalt zwischen den Bodenteilchen. In der Regel gilt: Je trockener ein Boden desto grösser sind die Kräfte, welche die Bodenteile zusammenhalten. Trockene Böden sind demnach grundsätzlich weniger verdichtungsempfindlich als feuchte» (LÜSCHER 2005).

##### Körnung / Textur

«Die Körnung der Bodenteilchen bestimmt die Anzahl der Kontaktpunkte zwischen den einzelnen Teilchen und damit die Stabilität gegenüber einer mechanischen Belastung» (LÜSCHER 2005).

Tabelle 22: Verdichtungsempfindlichkeit im feuchten Zustand in Abhängigkeit von Bodenstruktur und -textur.

Verdichtungsempfindlichkeit	Körnung/Textur
gering	reine Substrate, z.B. reine Sande; Skelettanteil > 50%
hoch	Mischsubstrate, insb. sandige und schluffige Böden Skelettanteil < 50%; Tongehalt 8–45% <sup>16</sup>

##### Vorverdichtung

«Bereits verdichtete Böden sind weniger verformbar. Dies ist auch der Grund dafür, dass die intensivste Verformung immer bei der ersten Überfahrt auftritt» (LÜSCHER 2005).

<sup>16</sup> Richtwertangaben aus (BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2005)

### C-4.3.3 Auswirkungen der Bodenverdichtung

**Die erste Überfahrt kann die gravierendste sein**

Bei ungünstigen Verhältnissen oder empfindlichen Böden werden bereits durch die erste Überfahrt 80% der möglichen Verdichtung verursacht (GODEFROID und KOEDAM 2004). Davon ist nicht nur der Oberboden betroffen. Hohe Gewichte und dynamische Belastungsspitzen beim Maschineneinsatz bewirken auch in grösseren Tiefen Verdichtungserscheinungen (LÜSCHER 2005). «Selbst unter kaum erkennbaren Radspuren sind Verdichtungen des Bodens und gestörte Infiltrationsverhältnisse zu erwarten.» (ZÜRRER 2005)

#### a) Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften

- Eingeschränkte Porenvolumina und Porenkontinuität (LÜSCHER 2005).
- Verringerte Transport- und Speicherleistung des Bodens für Wasser und Luft (LÜSCHER 2005).
- Sauerstoffmangel und Staunässe (HILDEBRAND *et al.* 2000; WALTHERT *et al.* 2004).

#### b) Auswirkungen auf die Bodenfauna, Baumbestand und Bodenvegetation:

**Unbedachter Maschineneinsatz verdichtet den Boden und gefährdet dessen Fruchtbarkeit**

- Biologische Aktivität wird beeinträchtigt, z.B. weniger horizontal und vertikal bohrende Regenwürmer (FLÜCKIGER und BRAUN 2005).
- Mechanische Schäden an Wurzeln durch Befahrung.
- Durchwurzelbarkeit wird im gesamten Wurzelraum eingeschränkt bis verunmöglicht; verdichtete Böden weisen wenig Feinwurzeln auf (HILDEBRAND *et al.* 2000; WALTHERT *et al.* 2004)
- Wurzel- und Pflanzenwachstum ist reduziert (ENTRY *et al.* 2002). Oft ist oberirdisch kein reduziertes Wachstum zu erkennen. Die Einschränkungen im Wurzelwachstum machen sich aber später häufig durch geringere Standfestigkeit, d.h. höhere Windwurfgefährdung bemerkbar.
- Pflanzen bilden oft kleinere Blattfläche und können dadurch weniger Photosynthese betreiben (GODEFROID und KOEDAM 2004).
- Zunahme von Verdichtungs- und Nässezeiger in der Schlagflora, z.B. Binsen, Hängesegge und diverse Ruderalarten.

#### C-4.3.4 Empfehlungen zur Vermeidung verdichteter Böden

Feuchte Böden  
nicht befahren

Befahrung auf  
Rückegassen  
beschränken

Bodenschutz  
vertraglich regeln

- Besondere Vorsicht auf besonders empfindlichen Böden.
- **In feuchtem Zustand sind praktisch alle Böden verdichtungsempfindlich.** Besonders empfindlich sind die Böden im Winter in tieferen Lagen (bis ca. 900 m ü.M.), weil dann die Bodenfeuchtigkeit i.d.R. andauernd erhöht ist (Ausbleiben der Transpiration) und in tiefen Lagen die Böden nur noch selten festgefrieren.
- Bodenschäden auf Rückegassen beschränken, wobei auch dort die Belastungen möglichst tief gehalten werden sollten. Auch die **Rückegassen sollen Teil der Produktionsfläche bleiben** und nicht zu «inoffiziellen Waldstrassen» verdichtet werden.
- Flächiges Befahren unbedingt vermeiden, da die intensivste Verformung immer bei der ersten Überfahrt auftritt (LÜSCHER 2005).
- Rückegassen klar bezeichnen; falls die Feinerschliessung noch nicht eingerichtet ist, sollten die Abstände nach Möglichkeit mindestens 20 m betragen (PALMER *et al.* 2000). Mit kombinierten Verfahren (Harvestereinsatz in der Kranzone und manuelles Abstocken unterstützt durch Seilschlepper im Zwischenblock) ist es möglich Rückegassen-Abstände von bis zu 40 m einzuhalten (FVA FREIBURG 2000).
- Bodenschutzmassnahmen explizit und verpflichtend in die Verträge mit Forstunternehmern einbeziehen (FVA FREIBURG 2000)

«Ein Mehraufwand für die Aufarbeitung oder Mindererlös für «Zwangssortimente» ist aus Gründen der Bodenschonung gerechtfertigt» (FVA FREIBURG 2000).

Eingehendere Empfehlungen und Entscheidungshilfen für die praktische Umsetzung des Bodenschutzes bei der Räumung sind im Sturmschadenhandbuch zu finden (vgl. SSH Kap. 2.5.3).

#### C-4.3.5 Natürliche Verdichtungsprozesse im Boden nach Windwurf

Nach Windwurf führen Verlagerungsprozesse von Feinpartikeln im Hohlraumssystem des durchwurzelbaren Bodens zu Verschlämmungen (vorwiegend bei Parabraunerden). Je weiter die Bodenentwicklung vorangeschritten ist, umso eher besteht im gefügelabilen Bereich – beispielsweise bei Verletzungen an der Bodenoberfläche oder auf Stellen ohne geschlossene Vegetationsdecke – die Gefahr, dass vor allem die Feinporen verstopfen und dadurch die Wasserdurchlässigkeit beeinträchtigt wird. Wenn zusätzlich mangels Durchwurzelung oder während der Vegetationsruhe die Transpiration ausbleibt, ist die Durchlüftung des Bodens je nach Witterungsverlauf stark eingeschränkt. In solchen Phasen ist vor allem auch im Unterboden der erhöhte Wassergehalt bei Holzerntemassnahmen zu beachten bzw. nicht zu unterschätzen (P. Lüscher, schriftl.).

## C-4.4 Einfluss des Schalenwildes lenken

### C-4.4.1 Bedeutung von Windwurf für den Lebensraum

Windwürfe bewirken oft eine Bereicherung des Lebensraumes

Eine «Störung» im Waldgefüge durch Sturmwürfe bedeutet aus wildbiologischer Sicht häufig eine Aufwertung des Lebensraumes. Gerade in sturmschadenanfälligen, gleichförmigen Wäldern, wo der Lichtmangel am Waldboden kaum ein Kraut wachsen lässt, führt ein Windwurf zu einer willkommenen Öffnung des dichten Kronendaches. Licht und Wärme verwandeln den bisher eher kahlen Waldboden in einen dichten, grünen Teppich aus Pionier- und später auch ausdauernden Pflanzen. Es entsteht ein attraktives und reichhaltiges Nahrungsangebot für die drei vorwiegend profitierenden Schalenwildarten Reh, Rothirsch und Gämse, ferner für den Feldhasen sowie für viele licht- und wärmeliebende Tierarten, insbesondere Vögel und Insekten.

Die Bedeutung einer Windwurffläche als Bereicherung des Lebensraumes hängt stark von ihrer Grösse und dem bereits regional vorhandenen Strukturierungsgrad von Landschaft und Wäldern ab. Gerade das mosaikartige Nebeneinander von Waldbestand, Gebüsch, «Störungsflächen», Kultur- und Weideland kommt den Nahrungs- und Schutzbedürfnissen des Schalenwildes besonders entgegen.

### C-4.4.2 Reaktion von Schalenwildpopulationen auf grossflächige Windwürfe

Die Beobachtungen und Untersuchungsergebnisse über die Auswirkungen grosser Windwürfe auf das Schalenwild sind nicht einheitlich. Die nachfolgend dargestellten Fallbeispiele zeigen, dass nebst den Auswirkungen eines Windwurfereignisses auch verschiedene schwer zu fassende und ortsspezifische Faktoren die Reaktion des Schalenwildes wesentlich mitbestimmen dürften. Darum können die aus einem Untersuchungsgebiet gezogenen Schlüsse nicht ohne weiteres auf andere Gebiete übertragen werden.

#### a) Direkte Auswirkungen eines extremen Sturmereignisses auf die Schalenwildpopulationen

Es wurde verschiedentlich angenommen, dass während des Sturmes viele Wildtiere von umstürzenden Bäumen erschlagen und dadurch die Populationen kurzfristig reduziert würden. Zudem könne der durch das Sturmereignis verursachte Stress im folgenden Frühjahr zu einer erhöhten Anzahl von Fehlgeburten führen (DROUINEAU *et al.* 2000). Tatsächlich bewirkte in Florida der Orkan Andrew 1992 beim Weisswedelhirsch (*Odocoileus virginianus seminolus*) einen erheblichen Geburtenausfall. Die während des extrem starken Sturms tragenden Weibchen dieser mit dem Reh vergleichbaren Schalenwildart brachten in der Folge 67% weniger Jungtiere zur Welt als in anderen Jahren (LABISKY *et al.* 1999). Von fallenden Bäumen erschlagene Tiere fand man hingegen keine.

Auch in der Schweiz wurde nach «Lothar» unter dem geworfenen Sturmholz nur ein einziges erschlagenes Reh gefunden. In Frankreich, das mit 140 Mio. m<sup>3</sup> Sturmholz am stärksten betroffenen war, wurde kein solcher Fall bekannt.

Im Gegensatz zu den amerikanischen Beobachtungen, hatte der Orkan «Lothar» die Rehe wahrscheinlich nicht so stark gestresst, dass daraus eine erhöhte Anzahl Fehlgeburten resultiert hätte. Jedenfalls stellten GAILLARD *et al.* (2003) bei zwei lokalen Rehpopulationen von bekannter Grösse keine Veränderungen fest, die auf eine reduzierte Geburtenrate nach «Lothar» hätten schliessen lassen, vielleicht weil der Embryo im Dezember noch kaum entwickelt ist. Diverse Autoren rechnen vielmehr damit, dass das nach Windwurf erhöhte Nahrungsangebot sowie die schwierigere Jagd eher ein Anwachsen der örtlichen Reh-Populationen zur Folge habe (DROUINEAU *et al.* 2000; GAILLARD *et al.* 2003; RÜEGG 2003a).

*b) Langfristige Veränderungen in Schalenwildpopulationen*

**Reh:** Wie stark sich das Äsungsangebot verändert und dadurch das Verhalten des Schalenwilds beeinflusst wird, hängt wesentlich von der Situation vor dem Sturmereignis ab. War beispielsweise die Brombeere – welche vielerorts die Hauptnahrung des Rehs bildet – bereits im Vorbestand stark vertreten, so dürfte das nach Windwurf noch üppigere Nahrungsangebot für das Reh und dessen Vermehrungsrate kaum relevant sein (MOSER *et al.* 2004). Eingehende populationswissenschaftliche Untersuchungen gibt es hierzu nicht.

In einer französischen Studie verkleinerten sich nach «Lothar» die Reviere von sechs telemetrisch überwachten Rehen um mehr als 50% (WIDMER *et al.* 2004). Der plötzlich in Fülle zugängliche Efeu war vermutlich der Hauptgrund für einen kurzfristigen Anstieg der Qualität des Lebensraumes. Die Tiere hielten sich im ersten Jahr nach dem Sturm hauptsächlich im Bereich der Windwurfflächen auf. Im Gegensatz dazu ergab eine ähnliche Untersuchung beim Weisswedelhirsch in Florida keine Änderungen der Reviergrössen vor und nach dem Windwurfereignis (LABISKY *et al.* 1999).

Nachdem der Orkan «Vivian» 1990 im Jagdrevier «Grabs-West» (SG) grössere Windwürfe verursacht hatte, stiegen dort die Rehabschüsse und die jährlich geschätzten Bestandeszahlen in den darauf folgenden 10 Jahren markant an (RÜEGG 2003a). Ähnliche Erfahrungen sind auch aus anderen von «Vivian» und «Lothar» sowie dem verheerenden Föhnsturm aus dem Jahr 1982 im St.Galler Rheintal betroffenen Jagdrevieren bekannt. Die Erfahrungen aus dem Rheintal zeigen, dass der Kulminationspunkt nach etwa 10 bis 15 Jahren erreicht ist. Anschliessend haben die geschätzten Bestandeszahlen und Abschüsse wieder abgenommen.

**Gämse:** Eine rückblickende Analyse der Entwicklung der Gämse-Bestände im Wild-Banngebiet Kärpf (GL) liess keinen Zusammenhang mit den im Jahr 1990 entstandenen Vivianschäden erkennen (RÜEGG 2003b).

**Hirsch:** Der Aktionsradius einer Rothirschpopulation ist zu gross, um durch ein Windwurfereignis wesentlich beeinflusst zu werden.

### C-4.4.3 Nutzung von Windwurfflächen und angrenzendem Wald durch das Schalenwild

#### a) Äsung in geräumten und belassenen Windwurfflächen

In einem stark von Windwurf geprägten Aargauer Waldgebiet zählte BÜHLER (2002) im Wald und in geräumten Windwurfflächen die Reh-Kothaufen. Nimmt man deren Häufigkeit als Mass der Aufenthaltsdauer des Rehs, so hielt sich das Reh im dritten Sommer nach «Lothar» in beiden Habitatstypen etwa gleich häufig auf.

Die Qualität der Umgebung beeinflusst die Nutzung belassener und geräumter Flächen

Eine Studie in zwei Waldgebieten des Mittellandes ergab, dass das Reh den Bestand und die geräumte Windwurffläche etwa gleich stark zur Nahrungsaufnahme nutzte (MOSEER *et al.* 2004). Auf den belassenen Windwurfflächen jedoch waren erheblich weniger Äsungsspuren auszumachen, obwohl dort das Nahrungsangebot etwa gleich gut war, wie in den geräumten Flächen und im angrenzenden Bestand.

Die oben beschriebene Bevorzugung geräumter Windwurfflächen gegenüber belassenen war auch das Fazit einer Untersuchung in der höher gelegenen WSL-Versuchsfläche bei Schwanden (GL) acht Jahre nach «Vivian» (LÜTHI 1998). Dies wurde anhand von Kot- und Verbissspuren von Reh, Gämse und Rothirsch festgestellt. Die bevorzugte Nutzung der geräumten Flächen könnte dort aber nebst der besseren Zugänglichkeit auch mit dem reicheren Nahrungsangebot jener Flächen erklärt werden.

Im Sturmholz-Verhau findet man oft stark begangene Wildwechsel, welche auf eine gewisse Kanalisierung der Tierbewegungen hinweisen (LÜTHI 1998). Häufig sind die geräumten Windwurfflächen stärker mit Wildwechseln durchsetzt als belassene Flächen. Vermutlich hält sich der Hirsch von allen drei Schalenwildarten am ehesten an vorgegebene Wechsel innerhalb belassener Windwurfflächen.

#### b) Deckung in geräumten und belassenen Windwurfflächen

Kurz nach «Lothar» wurden bei standardisierten Beobachtungsgängen im Kanton Aargau mehr **Rehe** im Wald gesichtet als auf den benachbarten geräumten Windwurfflächen. ZINGGELER *et al.* (2002) nehmen daher an, dass sich das Reh eher im umliegenden Wald aufhält und die Sturmflächen erst dann wieder voll nutzen werde, wenn diese genügend Deckung bieten. Vielerorts im Mittelland waren jedoch die Windwurfflächen innerhalb der ersten zwei Jahre bereits so stark eingewachsen, dass sie das Deckungsbedürfnis des der Rehe wieder voll abdecken konnten.

Je weniger Deckungsmöglichkeiten ein Gebiet aufweist, umso mehr sucht das Wild den Schutz in den zunehmend einwachsenden Windwurfflächen. Am besten ist die Deckung zweifellos in belassenen Windwurfflächen. Solche Unterschiede nehmen aber oft bereits in den ersten Jahren stark ab, weil insbesondere in Tiefen Lagen auch die geräumten Flächen rasch einwachsen. Die Sicht auf 20 m war beispielsweise in einer belassenen und einer geräumten Windwurffläche sowie einem unterholzreichen Altbestand eines Aargauer Buchenwaldes bereits während der dritten Vegetationsperiode durchschnittlich etwa gleich. Bei einer kurzen Sichtdistanz von 5 m bot die belassene Windwurffläche aber weiterhin die beste Deckung (BÜHLER 2002).

Je häufiger die Störungen um so wichtiger bedeutender die Deckung belassener Windwurfflächen

Im Erholungswald wurde beobachtet, dass in der ersten Zeit nach einem Windwurfereignis ein Nutzungskonflikt zwischen Mensch und Schalenwild entstehen kann. Solange ein grosser Teil der geworfenen Bestände noch nicht geräumt war, konzentrierten sich die Spaziergänger, Biker, OL-Läufer, Reiter etc. auf die vom Sturm verschonten Gebiete. Dadurch nahm die Störungsintensität in diesen vom Sturm verschonten Waldgebieten mindestens vorübergehend zu und die Bewegungsfreiheit des Wildes wurde zusätzlich eingeschränkt (SCHENK 2003). Befindet sich eine ungeräumte Windwurffläche in einem stark begangenen Wald, so kann man oft beobachten, dass sich das Wild gerne im Sturmholzverhau aufhält und sich da offenbar recht sicher fühlt, schliesslich ist es eher unwahrscheinlich, dass Menschen sich freiwillig in solche Flächen hineinverirren.

Von allen drei Schalenwildarten meidet der **Hirsch** die Begegnung mit Menschen am stärksten. Er ist daher stark auf Deckung angewiesen. Bietet die belassene Windwurffläche in einem sonst eher deckungsarmen Gebiet ausreichend Sichtschutz, so lässt sich der Hirsch kaum durch den Sturmholzverhau abhalten, in einer belassenen Windwurffläche den nötigen Schutz und die Ruhe zu finden.

#### c) Fazit

Eine einfache Regel für die bevorzugte Nutzung eines der drei Habitats – Bestand, belassene und geräumte Windwurffläche – scheint es nicht zu geben. Die Präferenz eines bestimmten Habitatstyps wird vermutlich durch eine Kombination folgender Faktoren beeinflusst:

- Intensität der Waldnutzung durch Erholungssuchende.
- Unterschiede im Deckungsangebot zwischen den Habitats,
- Unterschiede im Nahrungsangebot zwischen den Habitats,
- Schalenwildart,
- Sturmholzvolumen,
- saisonales Nahrungsangebot,
- Schneebedeckung,
- Erfahrungen und Lerneffekte der Tiere vor Ort.

#### C-4.4.4 Kann belassenes Sturmholz Jungbäume vor Verbiss schützen?

Im Verhau ist der Verbiss i.d.R. nicht flächendeckend

Bei üppiger natürlicher Verjüngung ist die Wiederbewaldung mit standortgemässen Baumarten selbst bei relativ hohem Wildverbiss selten ein Problem. Unterschiedliche Verbissbelastungen im Zusammenhang mit dem Räumungsgrad von Windwurfflächen sind übers Ganze gesehen meist nicht eindeutig feststellbar. Tendenziell findet man in belassenen Windwurfflächen lokal grössere Unterschiede in der Verbissintensität als in geräumten. Für kleinere Teilgebiete kann der Verbiss reduziert sein, wenn diese bei vergleichbarem Äsungsangebot wesentlich schwerer zugänglich sind als die übrige Fläche. So findet man fast in jeder belassenen Windwurffläche Stellen, wo Jungbäume ohne jegliche Verbisspuren aufwachsen können (JEHL 1995; MENGIN 2004).

Ein buchstäblicher «Zauneffekt» des Sturmholzes für das **Reh** ist kaum feststellbar. Dennoch konnte auf einigen Windwurfflächen festgestellt werden, dass das Reh eine belassene

Windwurffläche nicht flächendeckend zur Nahrungsaufnahme nutzt (ANGST und REICH 2004). Der Verbiss konzentriert sich eher auf «leichter» zugängliche Partien. Insbesondere scheint es das dichte Astgeflecht liegender Laubbaum-Kronen zu umgehen. In einem stark unter Verbissdruck leidenden Laubwaldgebiet Frankreichs beispielsweise, verglichen PICHERY und BRUCIAMACCHIE (2002) auf einer Lotharfläche zwei unterschiedlich stark geräumte Teilflächen. Eine etwa 10x10 m grosse Fläche war relativ dicht belegt mit zerkleinertem Kronenmaterial, während deren Umgebung praktisch kein Restholz mehr aufwies. Während die jungen Ahornbäume in der Umgebung nach vielleicht einem Jahr zu 100% verbissen waren, blieben innerhalb der Astholzfläche alle vom Reh verschont. Möglicherweise könnte sich diese Erfahrung auch an anderen Orten wiederholen.

Aus Deutschland wird berichtet, dass sich seit den Stürmen «Vivian» und «Wiebke» von 1990 in einer belassenen Windwurffläche ein Jungwald mit Eichen, Kirschen und anderen verbissgefährdeten Baumarten praktisch verbissfrei entwickeln konnte, während das **Rotwild** in der Umgebung die jungen Bäume kurzhielt (EBERT 2000). Aufgrund der Aussagen in Kapitel C-4.4.3b (S. 100) muss eine Allgemeingültigkeit dieser Beobachtung bezweifelt werden; auch diesbezüglich gibt es zu wenig Erfahrung.

Vor der **Gämse** scheint das liegende Holz dem Jungwald praktisch keinen Schutz zu bieten. Zu diesem Schluss kamen KUPFERSCHMID und BUGMANN (2005) in ihrer Untersuchung im Totholzbestand am Gandberg (vgl. Abbildung 10, S. 49).

#### **C-4.4.5 Belassen und Räumen aus der Sicht der Jäger**

Belassene Flächen erschweren die Jagd (SCHENK 2003). Sie bieten dem Wild effizienten Schutz vor dem Jäger. Drückjagden durch belassene Flächen hindurch sind praktisch unmöglich. Je grösser eine belassene Windwurffläche ist, umso schwieriger ist es auch, ein Tier aus der Fläche herauszujagen. Die Schwerpunktbejagung eignet sich für Windwurfflächen am besten. Da aber die Einsicht in die Fläche selbst von Hochsitzen aus eingeschränkt ist, sollten an strategisch günstigen Orten Freihalteflächen oder Schussschneisen eingerichtet und unterhalten werden.

Unterschiede zwischen geräumten und ungeräumten Windwurfflächen machen sich für die Jagd besonders in den ersten Jahren bemerkbar. Spätestens in der Dickungsstufe wird die Jagd in Windwurfflächen ohne Freihalteflächen generell sehr aufwändig.

Ein spezielles Problem für die Jagd sind hoch wachsende Brombeerarten oder auch Adlerfarn, welche dem Reh optimalen Sichtschutz bieten. Unter dem Deckel solcher Vegetationsschichten kann sich das Reh auch in verjüngungsarmen, geräumten Windwurfflächen gut verkriechen und praktisch hindernisfrei fortbewegen, ohne von aussen gesehen zu werden.

## C-5 Umwelt

### C-5.1 Artenschutz, Artenvielfalt und natürliche Entwicklung fördern

#### C-5.1.1 Artenschutz durch Vermeidung von Störungen

##### **Das Auerhuhn – Paradebeispiel störungsempfindlicher Wildtiere**

Der Bestand des Auerhuhns ist vielerorts stark gefährdet. Nebst natürlich bedingten Lebensraum-Veränderungen hat nicht zuletzt das immer dichter gewordene Erschliessungsnetz der Wälder in den nördlichen Voralpen und im Jura zum starken Rückgang beigetragen (MOLLET *et al.* 2003).

##### **Schonzeiten:**

Beim Auerhuhn dauert die besonders empfindliche Balz-, Brut- und Aufzuchtzeit von Februar bis Ende Juli

##### **Beindet sich die Windwurffläche in einem vom Auerhuhn besiedelten Gebiet?**

Bei Unsicherheiten können folgende Stellen Auskunft geben:

- Schweizerische Vogelwarte,  
6204 Sempach, Tel. 041 462 97 00
- Wildhüter,  
kantonales Jagd- oder Naturschutzamt, Kantonsforstamt

##### **Literatur:**

MOLLET, P.; MARTI, C. 2001: *Auerhuhn und Waldbewirtschaftung*. Vollzug Umwelt. BUWAL, Bern. 21 S.

Störungsempfindliche Arten gibt es praktisch in jedem Wald. Für viele Tierarten ist der Wald der letzte Lebensraum, in welchem sie sich von menschlichen Störeinflüssen noch einigermaßen fern halten können, sofern es sich dabei nicht um einen ausgesprochenen Erholungswald handelt. Forstwirtschaftliche Tätigkeiten, beispielsweise die Sturmholzaufarbeitung, bedeuten für den betroffenen Lebensraum zumindest eine vorübergehende Beunruhigung. Als Reaktion konzentrieren sich störungsempfindliche Wildtiere in ruhigeren Zonen und kehren eventuell später wieder zurück. Finden temporäre forstliche Eingriffe während einer Zeit statt, in welcher gewisse Tierarten besonders empfindlich reagieren, kann dies auch die Bestandesabnahme einer Art zur Folge haben.

##### *a) Besonders störungsempfindliche Arten*

- Rauhfusshühner (Auer-, Birk- und Haselhuhn)
- Waldschnepfe
- Baumrarder
- Biber
- ...

##### *b) Möglichkeiten störungsempfindliche Arten zu schonen*

##### **Schonzeiten beachten**

Keine forstlichen Eingriffe während der Schonzeiten, d.h. während der Winterruhe, Balz-, Setz-, Brut- und Aufzuchtzeit.

##### **Neuerschliessungen vermeiden**

Verzicht auf Neu- oder Ausbau von Erschliessungen. Sind Ergänzungen der Erschliessung notwendig, so ist mit geeigneten Massnahmen (Absperrung, Information etc.) eine zusätzliche Beunruhigung durch die Erholungsnutzung zu unterbinden. Neue Erschliessungen oder deren Ausbau machen Waldgebiete auch für andere Waldnutzer leichter zugänglich mit nachteiligen Folgen für besonders störungsempfindliche Tierarten. In bisher abgeschiedenen Waldteilen und -gebieten sind solche Auswirkungen besonders gravierend.

##### **Rückzugsorte fördern**

Belassen strategisch wichtiger Windwurfflächen. Belassene Windwurfflächen können über längere Zeit eine Oase der Ruhe bieten, da sie kaum von Menschen begangen werden.

### C-5.1.2 Bedeutung von Windwurfflächen für die Artenvielfalt

**Belassene und geräumte Windwurfflächen tragen zur Erhöhung der Artenvielfalt bei**

Windwurfflächen sind generell artenreicher als der Wald – unabhängig vom Räumungsgrad. Nach Windwurf ist am Boden plötzlich deutlich mehr Licht und Wärme verfügbar. Damit ist in den Folgejahren in der Flora wie auch in der Fauna ein deutlicher – aber vorübergehender – Anstieg der Arten- und Individuenzahlen verbunden. In dieser ersten Phase erwiesen sich belassene Windwurfflächen im Vergleich zu den geräumten als reichere Lebensräume.

Die höchste Biodiversität wird mit einem engen Nebeneinander von belassenen und geräumten Windwurfflächen erreicht.

**Bedeutung für die Flora**

Während die Waldarten nach dem Wegfall des Altbestandes zurückgehen und sich am ehesten noch in belassenen Windwurfflächen halten können, nehmen lichtbedürftige Pflanzenarten das Terrain ein. Der Reichtum an Pflanzenarten erreicht in tieferen Lagen sein Maximum zwei bis vier Jahre nach dem Sturmereignis. Je stärker sich die Vegetationsdecke schliesst und konkurrenzstarke Arten, wie Brombeere, Himbeere oder Adlerfarn dominieren, desto mehr geht die Zahl der Pflanzenarten wieder zurück. Vor allem auf den geräumten Windwurfflächen stellen sich vorübergehend viele Ruderalarten und Lichtzeiger aus dem umgebenden Freiland ein. Hinsichtlich der Vegetation sind geräumte Flächen daher in der Regel artenreicher. Aus Sicht des Artenschutzes im Wald hat diese erhöhte Artenvielfalt geräumter Flächen jedoch meist keinen höheren Wert, da seltene Waldarten kaum gefördert werden (KOMPA 2004; NOBIS und WOHLGEMUTH 2004). Die grösste Vielfalt an Wald- und waldfremden Arten stellt sich ein, wenn geräumte und ungeräumte Flächen nebeneinander vorhanden sind.

**Bedeutung für die Insekten**

In den ersten Jahren nach «Vivian» und «Lothar» wurden auf Windwurfflächen 1,5 bis 3-mal so viele Insekten nachgewiesen wie im Waldesinneren. Diese Artenvielfalt nahm auf den Vivianflächen im Laufe der bisher 10-jährigen Untersuchung sogar noch zu. Sowohl im Gebirgswald wie auch im Mittelland unterscheiden sich die geräumten Windwurfflächen in der Anzahl Insektenarten nicht wesentlich von den belassenen. Auf den belassenen Flächen sind die totholzbewohnenden Arten stark vertreten, während die geräumten vor allem für wärmeliebende und blütenbesuchende Insekten interessanter waren. Die grösste Artenvielfalt wird deshalb durch ein enges Nebeneinander von belassenen und geräumten Flächen erreicht (DUELLI *et al.* 2002; WERMELINGER *et al.* 2002a; WERMELINGER und DUELLI 2004).

**Bedeutung für die Vögel**

Zehnjährige Beobachtungen auf Schwyzer Windwurfflächen haben gezeigt, dass manche Vogelarten, z.B. Zaunkönig, Heckenbraunelle, Rotkehlchen, Zilpzalp und Weidenmeise, schon in der ersten Brutsaison wesentlich häufiger sind als vor dem Schadenereignis. Viele Vögel profitieren von den Grobstrukturen, dem Totholzreichtum, dem offenen Milieu und von den als Singwarten stehen gebliebenen Überhältern. Der Lebensraumcharakter ungeräumter Windwurfflächen entspricht auch den Lebensraumansprüchen von seltenen waldbewohnenden Arten wie dem Auerhuhn und der Waldschnepfe. Auch für das Haselhuhn sind solche Flächen attraktiv. Sein Bestand nahm nach «Vivian» im Sturmschadengebiet bei Schwanden (GL) deutlich zu. Je langsamer die Wiederbewaldung vor sich geht, um so wichtiger können liegen gelassene Stämme für Schutz und Fortpflanzung von Vögeln und

anderen Tierarten sein. Dank der Deckung durch das belassene Sturmholz kann beispielsweise das Haselhuhn die Windwurffläche auch als Winteräsnungsplatz nutzen. Sobald der Jungwuchs Mannshöhe erreicht, beginnen sich die Unterschiede zwischen belassenen und geräumten Flächen rasch zu verwischen (U.N. Glutz von Blotzheim schriftl. und BERGMANN *et al.* 1996).

Mit dem Aufkommen des Jungwaldes nehmen vor allem Mönchs- und Gartengrasmücken als Brutvögel rasch zu. Nach zehn Jahren kann der Jungwald bereits so dicht sein, dass der Bestand dieser Arten stark abnimmt, dafür aber eigentliche Waldvogelarten, z.B. Singdrossel und Gimpel, zahlenmässig zulegen. Auch die breite Palette der Gastvogelarten – rastende Zugvögel oder Nahrungsgäste – wird schon in diesem Zeitraum wesentlich enger.

Das Stehenlassen von Überhältern und das spätere Mitnehmen stärkerer Bäume aus der Vorverjüngung oder raschwüchsiger Vorwaldarten, z.B. Mehlbeere, Vogelbeere, Birken und Salweide, fördert auch die Intensität der Nutzung der auf der Windwurffläche zurückgebliebenen Baumstrünke durch Spechte. Im Jungwald gehören Vorwaldarten zu den wichtigsten Nahrungslieferanten der Vögel. Zu frühes und zu radikales Herauspflegen senkt die Biodiversität entscheidend und zwingt z.B. das Haselhuhn, den mit dem Schadenereignis gewonnenen neuen Lebensraum schon nach kurzer Zeit wieder zu räumen (GLUTZ VON BLOTZHEIM 1996; GLUTZ VON BLOTZHEIM 2001)

**Bedeutung  
für die Kleinsäuger**

Unabhängig vom Räumungsgrad bieten Windwurfflächen den verschiedenen Mäusearten und Bilchen (Schläfer) ideale Lebensbedingungen. Dementsprechend steigt deren Dichte nach einem Windwurf in der Regel stark an. Vor allem die Rötelmaus, die Waldmaus und die Gelbhalsmaus bringen es zu ansehnlichen Populationen (WERMELINGER und DUELLI 2004). Zu Beginn scheinen belassene Windwurfflächen für Mäuse attraktiver zu sein als geräumte. So fing GERLACH (1996) zwei Jahre nach «Vivian» zwischen dem belassenen Sturmholz deutlich schwerere Tiere und auch mehr trächtige Weibchen als auf den geräumten Flächen. Vier Jahre nach dem Sturm waren diese Unterschiede nicht mehr feststellbar. Bezüglich Individuendichte und Artenspektrum wurden keine Zusammenhänge mit der Behandlungsvariante gefunden.

Wie bei anderen Tiergruppen nimmt auch die Artenvielfalt der Kleinsäuger mit fortschreitender Bestandesentwicklung wieder ab (WILHELM und FUNKE 1998).

### C-5.1.3 Lebensraum Totholz

#### Totholzreichtum und Totholzqualität machen belassene Windwurf-flächen exklusiv

Das vor allem auf belassenen Windwurfflächen reichlich vorhandene Totholz in unterschiedlichem Zersetzungszustand auf und über dem Boden und die aufgeklappten Wurzelteller bieten einen reich strukturierten Lebensraum mit vielen Nischen und Kleinlebensräumen, die für eine nachhaltig erhöhte Artenvielfalt sorgen. Noch entscheidender für die Artenvielfalt als die Menge ist jedoch die Qualität des Totholzes (Tabelle 23).

#### Bedeutung für Vögel und Säugetiere

Totholz und aufgeklappte Wurzelteller bieten Unterschlupf, Schlaf-, Nahrungs-, Brut- und Aufzuchtssplatz für zahlreiche Vogelarten und Säugetiere. Von besonderer Bedeutung sind die Bruthöhlen, die von verschiedensten Spechtarten bevorzugt in stehendem Totholz angelegt werden oder als Astlöcher selber entstehen. Diese Höhlen werden auch oft und gerne von Arten genutzt, die selber keine Höhlen zimmern können. Dazu gehören Schläfer und verschiedene Fledermausarten sowie Eulen, Meisen und Fliegenschnäpper (SCHIEGG PASINELLI und SUTER 2002).

Auf geräumten Windwurfflächen sind zusammengetragene Asthaufen «ökologische Nischen für Insekten, Vögel und Kleintiere. Von April bis Ende Juni (Mitte Juli) sollte auf das Umlagern von Stammholz und Ästen ganz verzichtet werden. Besonders auf jungen, im Frühjahr mehr oder weniger kahlen Windwurfflächen bieten Grobstrukturen (einschliesslich Asthaufen) bevorzugte Neststandorte für mehrere Vogelarten. Die Nester können schon bei geringfügigen Veränderungen beschädigt oder von den Brutvögeln aufgegeben werden» (U.N. Glutz v. Blotzheim schriftl.).

#### Bedeutung für Reptilien

Solange die Vegetation und die neu aufkommenden Gehölze genügend direktes Sonnenlicht und Wärme auf den Boden durchlassen, sind Windwurfflächen auch für Reptilien attraktiv. Von der Sonne aufgewärmte liegende Stämme sind beliebte Ruheplätze von Eidechsen und Schlangen (Abbildung 19). Ebenso entscheidend für das Vorkommen von Reptilien auf Windwurfflächen sind Exposition, Strukturen, Lichtverhältnisse usw.

#### Bedeutung für Insekten

Von den über 8'000 Käferarten Mitteleuropas sind mehr als 1'300 während ihrer Entwicklung in irgendeiner Form auf Holz angewiesen (MÖLLER 1994). In den ersten Jahren profitieren vor allem die Käfer und deren Feinde von dem frisch abgestorbenen Holz. Käfer und Holzwespen hinterlassen Hohlräume im Holz und unter der Rinde, die in den folgenden Jahren von Seidenbienen (Colletidae), Pillen- und Lehmwespen (Eumenidae), Weg- und Grabwespen (Pompilidae/Sphecidae) und weiteren Hohlraum-siedlern belegt werden. Mit zunehmendem Zersetzungsgrad wird das Totholz hauptsächlich von Springschwänzen (Collembola), Fliegen und Mücken bewohnt.



Abbildung 19: Schwarze Kreuzotter («Höllener») in der Windwurffläche bei Schwanden (GL).  
Foto: U. Wasem, WSL.

**Bedeutung  
für Pilze**

Bereits in den ersten Jahren nach dem Sturm beteiligt sich ein breites Artenspektrum an der Zersetzung des Sturmholzes, wovon ein grosser Teil kaum je durch Fruchtkörper in Erscheinung tritt (HONOLD und OBERWINKLER 1998). Mit zunehmendem Abbaugrad wird – vor allem an Totholz ohne Bodenkontakt – auch der Anteil von seltenen Pilzarten höher.

Tabelle 23:  
Ökologische Bedeutung des Totholzes aufgrund seiner Eigenschaften (SCHMIDT 1999; BOUGET und DUELLI 2004)

Starkes Totholz ist spezieller als schwaches	⇒	Viele dünne Stämme ersetzen keine dicken! Starkes Totholz ist wertvoller, weil es in der Regel weniger davon hat.
Stehendes Totholz für viele Insektenarten attraktiver als liegendes	⇒	Ein wesentlicher Teil der holzbewohnenden Insekten sind wärmeliebend. Unter den seltenen Arten betrifft dies sogar mehr als die Hälfte.
Besonntes Totholz ist für den Artenschutz wichtiger als beschattetes	⇒	
Laubtotholz ist beherbergt mehr Tierarten als Nadeltotholz	⇒	Artenzahlen von Holzbewohnern: <ul style="list-style-type: none"><li>• Eiche etwa 850</li><li>• Buche etwa 650</li><li>• Nadelbäume etwa 500</li></ul>

**C-5.1.4 Massnahmen zur Förderung der allgemeinen Artenvielfalt**

- Stehen gebliebene Einzelbäume und Baumgruppen stehen lassen
- Abgestorbene Bäume stehen lassen; hoch gebrochene Fichtenstrünke haben einen geringen Wert für den Buchdrucker (*Ips typographus*).
- Ausreichend starkes Totholz liegen lassen
- Harmlose Erosionsstellen tolerieren
- Soweit möglich auf natürliche Waldverjüngung setzen
- Lücken in der Waldverjüngung zulassen
- Standortgemässe Baumartenmischung fördern.
- Seltene und ökologisch wertvolle Baumarten fördern bzw. einbringen (z.B. Tanne, Eiche)
- Reinbestände vermeiden
- Grossflächige Zäune vermeiden; Einzelschutz oder Kleinzäune vorziehen

Diese allgemeinen Empfehlungen haben nicht eine möglichst hohe Artenzahl zum Ziel, sondern eine grosse Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten, die natürlicherweise Teil dieses Lebensraumes sind.

#### **C-5.1.5 Förderung der natürlichen Entwicklung (Prozessschutz)**

- In unserem stark zivilisationsgeprägten Land ist die «freie» Naturentwicklung an und für sich ein Wert.
- Der Wert eines der Natur überlassenen Waldstücks ist zudem umso grösser, je grösser die Gewähr ist, dass es von den Tier- und Pflanzenarten, die darauf angewiesen sind, auch erreichbar ist, z.B. als Trittstein in einem regionalen Biotopverbundnetz eingliedert ist.
- Die Beobachtung der freien Naturentwicklung gibt uns wichtige Hinweise für eine naturnahe und nachhaltige Nutzung unseres Lebensraumes.
- Windwurfflächen in der Nachbarschaft eines Naturwaldes bieten die Gelegenheit, diesen zu erweitern bzw. zu arrondieren

#### **C-5.1.6 Literaturempfehlung**

Schiegg Pasinelli K., Suter W. 2002: Lebensraum Totholz. Merkblatt für die Praxis Nr. 33.  
2. Auflage. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).  
6 Seiten.

## C-6 Gesellschaft

### C-6.1 Attraktivität für Erholung und Naturerlebnis fördern

#### C-6.1.1 Die Bedeutung des Waldes als Erholungsraum

Hauptbedürfnisse des Waldbesuchers:

- spazieren,
- wandern,
- Sport treiben und
- sich erholen.

Tabelle 24: Waldnutzung durch die Schweizer Bevölkerung in den Sommermonaten gemäss einer Erhebung von WILD-ECK *et al.* (2003)

Waldnutzung in den Sommermonaten	Anteil von 967 Befragten
fast täglich	16,9%
ein-/zweimal pro Woche	45,3%
ein-/zweimal pro Monat	25,0%
Seltener als einmal pro Monat	8,8%
nie	4,0%

Noch nie war der Wald als Erholungsraum so wichtig wie heute. Seine Erholungsfunktion wird in Zukunft noch an Bedeutung gewinnen. Verschiedene Studien sagen für die kommenden Jahre eine «Renaissance» des Wanderns voraus (SUDA 2003).

#### C-6.1.2 Auswirkungen von Windwurfereignissen auf die Erholungssuchenden

##### a) Kurz- bis mittelfristige Einschränkung der Bewegungsfreiheit

**Vordringliches Anliegen ist die Freilegung der Wege**

Nebst direkten Schäden an Skilift- und Seilbahnanlagen und mancherorts auch einem unmittelbaren Rückgang an Gästen aufgrund der Sturmschäden war nach den Stürmen «Vivian» und «Lothar» das Spazier- und Wanderwegnetz z.T. über mehrere Monate hinaus erheblich eingeschränkt. In der ersten Phase werden solche Beeinträchtigungen und damit verbundene wirtschaftliche Einbussen in Kauf genommen. Es ist aber das vordringlichste Anliegen der Waldbesucher und des Tourismus, dass das ursprüngliche Angebot (Wegnetz, OL-Gelände etc.) nach Möglichkeit innert nützlicher Frist, z.B. noch vor der Wandersaison, wiederhergestellt und gesichert oder dann ein vergleichbarer Ersatz gefunden wird (SCHENK 2003). Es ist allerdings denkbar, dass dieses vordringliche Anliegen durch fachkundige Aufklärung über den Sturm und seine Folgen relativiert werden kann.

Das Wegnetz kann vielerorts auch wiederhergestellt werden, ohne die ganze Windwurffläche räumen zu müssen. Werden nur die Wege frei gesägt, so bleibt in steilen Lagen allerdings ein Restrisiko vorhanden, das im Auge behalten werden muss.

**Räumung kommt im Erholungswald dem Wunsch der freien Zugänglichkeit entgegen**

Windwurfflächen – ob geräumt oder belassen – sind als Jungwuchsflächen in der Regel schwer durchdringbar und werden deshalb während dieser Entwicklungsphase von OL-Läufern eher gemieden. Dennoch wünschen die OL-Vertreter eine weitgehende Räumung der Flächen und auch den Verzicht auf Einzäunungen (SCHENK 2003).

*b) Lärmbelästigung und Wegsperrungen während der Sturmholzaufarbeitung*

Zuweilen wird bei den Erholungssuchenden auch das Verständnis für die Holzernte arg strapaziert, wenn der holzerntebedingte Flug- und Maschinenlärm ausgerechnet in die kurze Zeit ihrer Ferien fällt. Zudem werden durch die Holzernte oft auch Wanderwege beschädigt oder gesperrt. Diese und andere aus der Räumung des Windwurfholzes resultierenden, vorübergehenden Nachteile werden aber von den Tourismusverantwortlichen gerne in Kauf genommen, weil danach die Landschaft wieder «sauber» und «gepflegt» erscheint.

### **C-6.1.3 Auswirkungen des veränderten Landschaftsbildes**

**Der Betrachter nimmt vor allem die nahen Windwurfflächen wahr**

Je stärker Waldschäden das Landschaftsbild prägen, um so weniger attraktiv wirkt es auf den Betrachter. Laut einer im Jahre 2001 durchgeführten Umfrage empfinden 57% der Schweizer Bevölkerung Windwurfflächen als störend (vgl. Tabelle 25, S. 111). Ähnliches stellten auch amerikanische Studien sowohl bei Einheimischen wie auch bei Touristen fest (SHEPPARD und PICARD 2005). Dabei fallen vor allem die Landschaftsveränderungen ins Gewicht, die sich im Blickfeld bis zu einer Distanz von etwa 5 km abspielen. Weiter entfernte Landschaftselemente verlieren sich im Hintergrund, der eher von Bergen und Tälern oder von weiten Ebenen bestimmt wird. Im «Mittelgrund», d.h. auf einer Sichtdistanz von etwa 0,5–5 km, fallen die Windwurfflächen zwar auf, aber es wird kaum wahrgenommen, ob das Sturmholz noch liegt oder geräumt worden ist. Das Belassen oder Räumen einer Windwurffläche ist also für den Erholungs- und Naturerlebnissuchenden hauptsächlich in einem Umkreis von maximal 500 m von Belang.

In einer eintönigen, sanften Landschaft werden landschaftliche Veränderungen im Mittel- und Vordergrund und damit auch die Beschaffenheit von Windwurfflächen deutlich stärker wahrgenommen als beispielsweise in einer beeindruckenden, wilden Bergwelt (SHEPPARD und PICARD 2005).

**Windwurfflächen beeinträchtigen die Attraktivität wenig**

Trotz teilweise beträchtlicher Veränderungen im Landschaftsbild war nach «Vivian» und «Lothar» in den betroffenen Erholungsgebieten der Schweiz wenig von einem allfälligen Attraktivitätsverlust zu spüren (SCHENK 2003). Dieses Ergebnis könnte auch damit zusammenhängen, dass der grösste Teil der Windwurfflächen rasch geräumt wurde. Jedenfalls zeigen die Studien aus Amerika auch, dass der Landschaftsbetrachter behandelte Störungsflächen den belassenen vorzieht (SHEPPARD und PICARD 2005).

Im ersten und evtl. auch noch im zweiten Jahr nach einem grossen Sturmereignis wird in den Hauptschadengebieten das Gästespektrum manchmal sogar noch erweitert durch «Touristen», die sich speziell für die Auswirkungen des Sturmes auf die Wälder und für deren weitere Entwicklung interessieren (SCHENK 2003).

### C-6.1.4 Liegenlassen oder Räumen aus der Sicht der Bevölkerung (Ergebnisse einer Umfrage)

Anhand einer repräsentativen Umfrage wurde im Jahr 2001 die Meinung der Schweizer Bevölkerung über das Räumen und Belassen von Windwurfflächen erfragt (WILD-ECK 2003; WILD-ECK *et al.* 2004). Im Folgenden sind daraus einige wichtige Ergebnisse herausgegriffen.

«Lieber handeln als nichts tun»

Wer Windwurfflächen räumt, handelt grundsätzlich im Sinne der Bevölkerungsmehrheit, obwohl Wildnis generell gewünscht wird. Nach dem Sturm «Lothar» vertraute die Bevölkerung auf die Kompetenz des Forstdienstes. Sie zeigte sich mehrheitlich zufrieden mit der Sturmschadenbewältigung im Wald. Die breite Bevölkerung ist nach wie vor der Ansicht, dass auch das Sturmholz generell genutzt werden sollte (vgl. Tabelle 25). Es war bei der Umfrage auch nicht feststellbar, dass sich etwa regelmässige Waldbesucher besonders häufig für oder gegen das Räumen des Sturmholzes aussprechen würden. Gemäss WILD-ECK *et al.* (2004) diese beruhen diese Umfrageresultate «auf ...

- der tief liegenden Ablehnung einer Ressourcenverschwendung,
- einer bestimmten Ordnungsvorstellung,
- einer mehrheitlich positiven Bewertung des Rohstoffes Holz,
- der ... Vorstellung, die Natur oder die Artenvielfalt sei durch «Lothar» gefährdet, genauso wie
- der Mensch könne bzw. müsse der Natur helfen, indem er sie pflegt».

Tabelle 25: Akzeptanz von Windwurfflächen und Wildnis. Umfrage von 2001 (WILD-ECK 2003)

Frage (Bemerkungen)	Antworten mit Anteil Nennungen				
		in jedem Fall		kommt drauf an oder nein	
Soll das Sturmholz weggeräumt werden?	Ganze Schweiz	63%		37%	
	Romandie	73,5%		26,5%	
	Deutschschweiz	61%		39%	
	Stadt	63,5%		36,5%	
	Land	64%		36%	
Sollen auf Windwurfflächen neue Bäume gepflanzt werden?		ja/eher ja 83%		n/e.n. 10%	? 7%
(Die Antworten machen v.a. den allgemeinen Wunsch deutlich, dass auf den Windwurfflächen neuer Wald entsteht.)					
Stören Windwurfflächen das Landschaftsbild?		ja/eher ja 57%		nein/eher nein 34%	? 9%
(Ohne Unterscheidung zwischen geräumten und belassenen Flächen)					
Sollte es in der Schweiz mehr Wildnisgebiete geben?		ja/eher ja 52%		nein/eher nein 34%	? 14%

? = «weder noch» oder «weiss nicht»

**Das ökologische Verständnis ist in der Regel mangelhaft**

**Belassene Windwurf-  
flächen geben Anlass zum  
Nachdenken und zu  
Diskussionen**

Die Umfrage zeigte auch auf, dass über einfache ökologische Zusammenhänge vielfach Unkenntnis oder gar falsche Vorstellungen vorherrschen. Viele Leute sind mit der Vorstellung überfordert, dass man auf der einen Windwurffläche das Sturmholz liegen lassen kann, während es auf der andern Fläche geräumt wird. Es ist deshalb eine wichtige Aufgabe der Fachleute in der Praxis und der Wissenschaft, der Bevölkerung den Wald zu erklären. Der Mangel an ökologischem Verständnis wurde in der Umfrage unter anderem bei folgenden Punkten deutlich:

- 50% sehen in den Sturmschäden eine Bedrohung der Artenvielfalt von Pflanzen und Tiere.
- Die Mehrheit der Bevölkerung versteht das Räumen des Sturmholzes auch als Artenschutz.
- Über 80% der Befragten wünschten, dass die Windwurfflächen wieder bepflanzt werden, wobei es nur einer Minderheit bewusst sein dürfte, dass sich der Wald auch natürlich verjüngen kann.

**Der soziale Druck ist nicht zu unterschätzen**

Dem Förster stehen die Menschen in der eigenen Umgebung in der Regel näher als die breite Bevölkerung. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass die Meinung der Lokalbevölkerung regional sehr unterschiedlich sein kann. Der Druck von dieser Seite auf den Förster ist nicht zu unterschätzen und spielt zuweilen bei der Entscheidungsfindung eine gewichtigere Rolle als sachliche Überlegungen.

Auf dem Weg zu politisch heiklen Entscheidungen ist deshalb die direkte zwischenmenschliche Kommunikation wichtiger und zielführender als Hochglanzbroschüren und Hinweistafeln (WASEM und BAUER 2005). Wird die Bevölkerung in den Entscheidungsprozess einbezogen, so fällt es den Menschen auch leichter, allenfalls auch Entscheidungen zu akzeptieren, die gegen ihre Überzeugung sind.

### **C-6.1.5 Naturerlebnis und Umweltbildung**

**Windwurfflächen belassen verpflichtet zur Information**

Vor allem, wenn eine Windwurffläche entgegen den Erwartungen der Waldnutzer nicht geräumt wird, braucht es Information. Mit entsprechender Information kann dem Erholungssuchenden das Gefühl der Unsicherheit wenigstens zum Teil genommen werden. Ebenso kann die Information die oft vorhandene skeptische Einstellung gegenüber ungeräumten Flächen objektivieren, so dass vielleicht auch diese als Bereicherung empfunden werden und eine positive Erholungswirkung ausüben.

**Belassene Windwurf-  
flächen und  
Öffentlichkeitsarbeit  
können das Naturerlebnis  
bereichern**

Grundsätzlich will die Mehrheit der Bevölkerung die natürliche Entwicklung zulassen und befürwortet auch die Bildung neuer Waldreservate, solange man nicht durch Zutrittsverbote ganz davon ausgeschlossen wird. Die meisten Leute möchten, dass solche Gebiete durch ein Wegesystem zugänglich sind. Informations- und Hinweistafeln – beispielsweise über die Vegetation oder über die Gründe für das Liegenlassen des Sturmholzes auf einer Windwurffläche – entsprechen einem echten Bedürfnis des Waldbesuchers (BAUER und HUNZIKER 2004). Darin liegt ein Potential, das sich im Kontakt mit der Bevölkerung und den Touristen nutzen lässt (SCHENK 2003).

Das Vielfaltserlebnis ist ein wichtiges Element für Menschen, denen nebst der Bewegung auch das Naturerlebnis ein Bestandteil der Erholung ist. Benachbarte Flächenpaare, bestehend aus einer belassenen und einer geräumten Variante inkl. Begehungswege können zu einem attraktiven Anschauungsobjekt werden. So entstehen Gelegenheiten, natürliche Prozesse zu beobachten und mitzuerleben und vielleicht daraus auch die Aufgabe des Försters besser zu verstehen.



# D Nicht berücksichtigte Kriterien

## D-1 Hochwasser vermeiden

### D-1.1 Begriffe

- **Hochwasser:** Wasserstand oder Abfluss, der deutlich über dem langjährigen Mittelwert liegt (FREHNER *et al.* 2005).

#### D-1.1.1 Voraussetzungen für Hochwasser

<b>Starke Niederschläge</b>	Hauptursache für Hochwasserereignisse sind ausserordentliche Niederschlagsmengen. Bei kleinen Einzugsgebieten (< 100 km <sup>2</sup> ) entstehen Hochwasser meist infolge heftiger Sommergewitter, beispielsweise Sachseln 1997 oder Gantrisch 1990). Extreme Hochwasserereignisse in Flüssen mit grossem Einzugsgebiet (> 300 km <sup>2</sup> ) hingegen sind mit weit verbreiteten und während Tagen bis Wochen anhaltenden Niederschlägen verbunden. (PETRASCHECK 2003).
<b>Relativ hohe Schneefallgrenze</b>	In höheren Lagen wird der Wasserabfluss von der Niederschlagsform mitbestimmt. Eine tiefe Schneefallgrenze bewirkt bei intensiven Niederschlägen eine vorübergehend höhere Speicherung des Wassers und damit eine Dämpfung der Hochwasserspitzen.
<b>Geringe Wasserspeicherkapazität</b>	Sofern ihre Sättigung nicht schon erreicht ist, können tiefgründige Böden (z.B. Braunerde, Braunerde-Gley, Gesteinsboden) mit hoher Speicherkapazität bedeutende Niederschlagsmengen aufnehmen und dadurch wesentlich zur Milderung von Hochwasserereignissen beitragen. Demgegenüber wird das Wasser von flachgründigen oder durchlässigen Böden praktisch ohne Zwischenspeicherung zu den Gerinnen weitergeleitet. Untersuchungen im Berner Oberland stellten beispielsweise in Gleyböden eine maximale Speicherkapazität von 21 l/m <sup>2</sup> fest (DOBMANN 2002).
<b>Weitere Faktoren</b>	Ein Hochwasserereignis wird noch durch eine Reihe weiterer Faktoren verschärft bzw. abgemildert: <ul style="list-style-type: none"><li>• Vegetation (vgl. D-1.1.2)</li><li>• Schneedecke</li><li>• Topographie</li><li>• Gewässerbett</li><li>• Versiegelung des Bodens (Strassen, Gebäude)</li><li>• Seen etc.</li></ul>

#### D-1.1.2 Wirkung des Waldes gegen Hochwasser

Keine andere Vegetationsform verdunstet mittels Interzeption und Evapotranspiration übers Jahr gesehen so viel Wasser wie der Wald (BURCH *et al.* 1996). Unabhängig vom Standort ist der jährliche Abfluss aus einem Waldgebiet deutlich geringer als beispielsweise aus Wiesland. Während eines Sommers werden im Fichtenwald etwa 40% und im Buchenwald etwa 20% des Niederschlags bereits durch das Kronendach aufgefangen und wieder

verdunstet (Interzeption). 45–65% der jährlichen Niederschlagsmenge wird durch Transpiration der Bäume und durch Evaporation wieder an die Atmosphäre abgegeben (FLURY 2003). Diese Eigenschaften des Waldes senken *übers Jahr gesehen* die Abflussbilanz im Vergleich zu Landwirtschaftsflächen beträchtlich.

**Die Speicherkapazität des Bodens ist wichtiger als die Waldwirkung**

Einzelne Starkniederschläge können jedoch auch den Wald als Wasserspeicher mehr oder weniger schnell zum Überfließen bringen. Deshalb kann der Wald solche Hochwassersituationen nur bedingt entschärfen (BURCH *et al.* 1996). Die regulierende Wirkung des Waldes auf das Abflussregime bei Hochwasserereignissen hängt von dessen Einfluss auf die Speicherkapazität des Bodens ab. Bei Böden mit ohnehin sehr hohem Speichervermögen ist die Waldwirkung gering, da diese Böden auch ohne Waldvegetation grosse Wassermengen zurückhalten können. Auf Böden mit geringer Speicherkapazität (z.B. Gleyböden) oder mit bereits hoher Wassersättigung kann der Wald bei Starkniederschlägen eine Hochwasserspitze nicht wesentlich dämpfen. Am grössten ist die Waldwirkung bei mittlerer bis guter Speicherkapazität, wo tief und intensiv wurzelnde Baumarten durch absterbende und nachstossende Wurzeln den Wurzelraum und damit die Wasseraufnahmefähigkeit mittelfristig nach unten zu erweitern vermag (HEGG und BADOUX 2003; BADOUX *et al.* 2004; WITZIG *et al.* 2004).

Dank der höheren Interzeption während des Winters sammelt sich im Waldgebiet weniger Schnee an, was während der Schmelzperioden geringere Abflussmengen zur Folge hat (BURCH *et al.* 1996).

### **D-1.1.3 Auswirkungen von Windwurf auf das Wasserregime im Einzugsgebiet**

Veränderungen sind nach Windwurf nur da zu erwarten, wo der Wald einen bedeutenden Einfluss auf die Speicherkapazität des Bodens hat (vgl. D-1.1.2).

**Kurzfristig reduzierter Wasserentzug und evtl. erhöhter Sättigungsgrad**

Nach flächigem Windwurf fehlen die Bäume, die bisher dem Boden durch Verdunstung bedeutende Wassermengen entzogen haben. Dadurch behält der Boden einen relativ hohen Sättigungsgrad und kommt somit bei Starkniederschlägen schneller zum «Überlaufen». Dies betrifft vor allem Böden der Kategorien «flach- bis mittelgründig, normal durchlässig» und «mittel- bis tiefgründig, gehemmt durchlässig» (vgl. Tabelle 26). Meist stellt sich aber innerhalb von 1 bis 3 Jahren eine Schlagvegetation ein, welche je nach Dichte und Vegetationstyp Verdunstungsraten aufweist, die mit einem Baumbestand vergleichbar sind, z.B. dichter Farn- oder Brombeerbewuchs.

**Mehr Schmelzwasser**

Aus einer Windwurffläche ist in Schmelzperioden gegenüber dem Vorbestand mit erhöhten Abflussmengen zu rechnen. In Verbindung mit Starkniederschlägen kann dies zu höheren Hochwasserspitzen führen.

Abbildung 20: Bandbreite der Speicherwirkung bei Starkniederschlägen (schematisch). Die Balken stehen für die Bandbreite verschiedener Waldstandorte: Der untere Balkenrand bezeichnet jeweils die Speicherwirkung bei schlechtestem Waldzustand, der obere Rand die Wirkung bei einem ideal aufgebauten Waldbestand. (Abbildung aus (BADOUX *et al.* 2004) leicht verändert). Die Bodenklassen A-D sind in Tabelle 26 beschrieben.

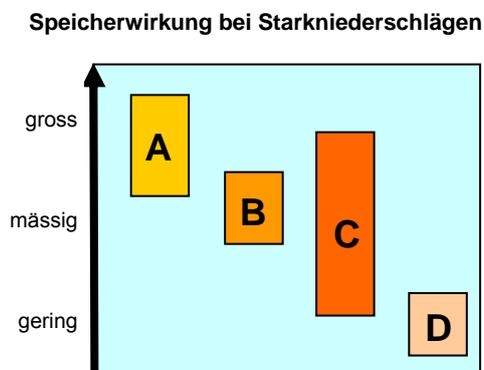


Tabelle 26: Einfluss von Bodeneigenschaften, Waldzustand und Windwurf auf Abflussspitzen bei Hochwasserereignissen (vgl. BADOUX *et al.* 2004; FREHNER *et al.* 2005)

Standort (vgl. Abbildung 20)	Bodeneigenschaften (Geologie, Bodentyp)	Wasseraufnahmevermögen bei Starkniederschlägen	Veränderung des Wasseraufnahmevermögens nach Windwurf
A	tiefgründig, normal durchlässig ( <i>Braunerde</i> ).	<b>gross</b> , bei jedem Waldzustand. (Dank des grossen Speichervermögens kommt der Boden auch bei Starkniederschlägen kaum in den Zustand des «Überlaufens»)	⇒ <b>gering</b>
B	flach- bis mittelgründig, normal durchlässig.	<b>mässig</b> , bei jedem Waldzustand.	⇒ <b>Kurzfristig möglich</b> wegen erhöhter Vorsättigung bei Starkniederschlägen, gleicht sich mittel- bis langfristig wieder aus (Schlagvegetation).
C	mittel- bis tiefgründig, gehemmt durchlässig.	<b>gross</b> , bei gutem Waldzustand; <b>gering</b> , bei schlechtem Waldzustand. (Ein Waldbestand mit guter Baumartensmischung kann mit seinen Wurzeln den Wasserspeicherraum massgeblich in die Tiefe erweitern. Dies gilt in höheren (subalpinen) Lagen bzw. auf feuchten Eschenstandorten, wo die Baumartenswahl praktisch auf Fichte bzw. Esche reduziert ist, nur beschränkt.)	⇒ wegen erhöhter Vorsättigung bei Starkniederschlägen <b>Kurzfristig möglich</b> , gleicht sich mittel- bis langfristig wieder aus (Schlagvegetation). Für den Erhalt bzw. die Erweiterung einer langfristig hohen Wasseraufnahmefähigkeit ist die Baumartenzusammensetzung des Folgebstandes bedeutend.
D	stark vernässt, sehr flachgründig oder übermässig durchlässig ( <i>Flyschböden, Gleyböden</i> ).	<b>gering</b> , bei jedem Waldzustand.	⇒ <b>sehr gering</b>

#### **D-1.1.4 Einfluss von Räumen und Belassen auf Hochwasser**

**Der Einfluss des Windwurfereignisses ist grösser als Räumen oder Belassen**

Sofern aufgrund der Bodenverhältnisse mittelfristig mit Veränderungen im Abflussregime zu rechnen ist, sind die durch den Windwurf verursachten Änderungen deutlich grösser als die mögliche Beeinflussung durch das nachfolgende Räumen oder Liegenlassen von Sturmholz. Allenfalls können Bodenverdichtungen durch unangepasste Holzernteverfahren zu örtlich erhöhtem Oberflächenabfluss führen. Dies dürfte jedoch die Abflussmenge eines Wildbaches nur in Einzelfällen wesentlich bestimmen. Meist fallen die lokalen hydrologischen Veränderungen auf einer einzelnen Windwurffläche gegenüber einem viel grösseren Einzugsgebiet kaum ins Gewicht.

Darum wird das Vermeiden von Hochwasser nicht als wesentliches Kriterium für Räumen oder Belassen betrachtet.

## **D-2 Waldbrand verhüten**

### **D-2.1.1 Waldbrandland Schweiz?**

**Weitaus am meisten Waldbrände in den wenig sturmgefährdeten Kastanienwäldern**

Die Notwendigkeit, besondere Massnahmen zur Reduktion des Waldbrandrisikos zu ergreifen, beschränkt sich auf Gebiete mit häufiger Waldbrandgefahr. Im Unterschied zu mediterranen Gebieten oder den Föhrenwäldern Nordamerikas finden sich in Mitteleuropa keine wirklich feuergeprägten Ökosysteme (GOSSOW und FRANK 2003). In der Schweiz befinden sich die brandgefährdeten Wälder vor allem in semiariden Gebieten mit häufigen lang andauernden Trockenperioden, d.h. auf der Alpensüdseite und in Teilen des Wallis und Graubündens. Nebst den Tessiner Kastanienwäldern, in welchen weitaus am meisten Waldbrände auftreten, sind die in Tabelle 28 aufgeführten Waldgesellschaften besonders brandgefährdet. Waldtypen, die auf periodische Feuer angewiesen wären, gibt es in der Schweiz nicht (CONEDERA *et al.* 1997).

Aufgrund der durch den Menschen verursachten Klimaveränderungen ist es jedoch nicht auszuschliessen, dass Waldbrände in Zukunft auch in unseren Breiten häufiger auftreten könnten.

### **D-2.1.2 Brandursachen und -risiko**

**Der Mensch ist der grösste Risikofaktor**

In der Schweiz werden Waldbrände in der Regel durch den Menschen verursacht. Auffallend ist in diesem Zusammenhang, dass auf der Alpensüdseite der Wald an Wochenenden häufiger brennt als an Werktagen (REBETEZ 2000). Waldbrand kann auch bei der Holzaufarbeitung ausgelöst werden. Unvorsichtigkeiten bei der Waldarbeit nehmen in der Ursachen-Liste für Waldbrand eine bedeutende Stellung ein (GOSSOW und FRANK 2003).

In den Jahren 1980–2003 konnte man weniger als 10% aller Waldbrände mit Gewissheit auf natürliche Ursachen, d.h. Blitzschlag, zurückführen (Tabelle 27). Auf der Alpensüdseite werden in den Sommermonaten sogar rund 1/3 aller Waldbrände durch Blitzschlag entfacht

(CONEDERA 2003). Blitze können vor allem dann Waldbrände auslösen, wenn sie nicht von Niederschlägen begleitet sind.

Verschiedene Beobachtungen in den vergangenen Jahren und Modellrechnungen der Klimatologen nähren die Vermutung, dass solche Ereignisse im Zuge der Klimaerwärmung zunehmen könnten. Die lange Dürreperiode im Sommer 2003 hatte in Mitteleuropa einige Waldbrände zur Folge, die zumeist durch Blitze oder unvorsichtige Waldarbeit ausgelöst wurden (GOSSOW und FRANK 2003). Während jenes Jahrhundertssommers herrschte auch auf der ganzen Alpennordseite über längere Zeit hinweg eine akute Waldbrandgefahr.

Tabelle 27: Auslösende Waldbrand-Ursachen in der Schweiz in den Jahren 1980–2003 (Quelle: BAFU, Abt. Wald)

<b>Ursache</b>		<b>Häufigkeit (%)</b>
Naturereignisse	Blitzschlag	8,5
Mensch	Fahrlässigkeit	29,6
	Eisenbahn und elektrische Leitungen	3,6
	Militär (sehr selten geworden)	3,9
	Andere (z.B. Brandstiftung, Autos)	27,2
Unbekannt	-	27,2

Unter dem Begriff «Fahrlässigkeit» können folgende Tatbestände subsummiert werden:

- Picknick-Feuer (häufig),
- Weggeworfene Zigaretten, Zündhölzer (sehr häufig),
- Feuerwerk (1. August, häufig),
- Land- und Forstwirtschaftliche Arbeiten.

Besondere Risikofaktoren:

- Häufige Anwesenheit von Menschen und Maschinen (Erholungssuchende, Passanten, angrenzende Bewirtschafter, Waldarbeiter).
- Häufig trockene Witterung bzw. trockene Winde (Föhn),
- Trockene Nadelwaldstandorte mit langsamem Abbau von Astmaterial (vgl. Tabelle 28),
- Häufige «trockene» Blitzen,
- Hoher Nadelholzanteil im Sturmholz,
- Belassenes Sturmholz in den ersten zwei bis drei Jahren nach dem Sturmereignis. In der Schweiz sind allerdings nur wenige Fälle bekannt, wo das Sturmholz in Brand geriet.

### **D-2.1.3 Folgen eines Sturmholzbrandes**

- Wertverlust des Sturmholzes,
- Versiegelung des Bodens und dadurch erhöhter Oberflächenabfluss,
- Erhöhte Gefahr von Erosion, Erdrutschen, Steinschlag und Lawinen,
- Vernichtung der Lebensräume von Pflanzen und Tieren,
- Schwarzer Fleck in der Landschaft.

### D-2.1.4 Einfluss von Räumen und Belassen auf die Waldbrandgefahr

Die Intensität und Dauer eines Feuers wird wesentlich von der Menge des liegenden Holzes bestimmt, was sich seinerseits auf die Gefährdung benachbarter Objekte, z.B. Wälder oder Gebäude auswirkt. Bei reichlicher Nahrung kann sich das schwer zu löschende Flächenfeuer zu einem Bodenfeuer ausweiten, wodurch oft die gesamte Streu- und Humusschicht verzehrt wird. Solche Bodenbrände können auch nach dem Erlöschen über Tage und Wochen hinweg weiterschwelen und das Feuer immer wieder neu entfachen. Die Folge sind freigelegte Steine im Oberboden und vermehrter Steinschlag in steilen Lagen (CONEDERA *et al.* 1997; KÄTHNER 1999).

Nach einem Windwurf liegt sehr viel Brennmaterial relativ dicht beieinander. Bleibt dieses Holz liegen, so ist es vor allem in den ersten zwei bis drei Jahren in angetrocknetem Zustand wegen des hohen Anteils an Nadeln und Reisig relativ leicht entzündlich.

Bei der heute üblichen Restholzmenge ist die Brandgefahr auch nach der Räumung nicht gebannt. Auch auf geräumten Windwurfflächen ist es vereinzelt zu kleineren Bränden gekommen. In Steillagen, wo die abgetrennten Wurzelteller nicht wieder in ihre Mulde zurückgeklappt sind, können sich diese durch das Feuer von ihrer Verankerung lösen und als feurige Fackeln talwärts rollen (GOSSOW und FRANK 2003).

**Das Risiko kann mit relativ einfachen flankierenden Massnahmen reduziert werden**

Die meisten Waldbrände sind auf menschliche Unachtsamkeit zurückzuführen. In der Regel genügt es, das Brandgut im näheren Bereich von Wegen und Strassen oder besonders brandgefährdeter Waldtypen und Objekte präventiv zu reduzieren, insbesondere wenn durch einen Waldbrand die Schutzfunktion in Frage gestellt wäre (CONEDERA *et al.* 1997). **Deshalb erscheint die Verhütung von Waldbrand in der Checkliste nicht als Beurteilungskriterium sondern nur als «flankierende Massnahme».**

Tabelle 28:

Besonders brandgefährdete Nadelwaldstandorte (Namen und Nummern der Standortstypen nach OTT *et al.* 1997)

Standortstyp	Nr.	Standortstyp	Nr.
Zwergbuchs-Fichtenwald	53	Erika-Föhrenwald	65
Erika-Fichtenwald	53*	Hauhechel-Föhrenwald	65*
Schneesimsen-Fichtenwald	55*	Erika-Bergföhrenwald	67
Preiselbeer-Fichtenwald mit Laserkraut	58L	Besenheide-Föhrenwald	68
Steinmispel-Arvenwald	59C	Preiselbeer-Föhrenwald	68*
Lärchen-Arvenwald mit Laserkraut	59L	Steinrosen-Bergföhrenwald	69
Buntreitgras-Fichtenwald	60*	Alpenrosen-Bergföhrenwald	70

## D-3 Grundwasserqualität erhalten

### D-3.1 Änderungen im Stickstoffkreislauf durch Windwurf oder Käferbefall

**Nach Windwurf kann der Nitratgehalt im Sickerwasser vorübergehend deutlich zunehmen**

Nach dem Wegfall der Baumschicht sind Licht und Wärme am Boden plötzlich im Überfluss verfügbar. Die erhöhten Temperaturen im Oberboden regen die Bodenaktivität an. Das organische Material, das sich unter dem Kronendach des Altbestandes angesammelt hat, wird nun rasch abgebaut und mineralisiert. Diese Stoffumsetzungen führen nebst der Versauerung des Bodens auch zu einem oft beträchtlichen Anstieg der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Da bei vergleichbaren Standortverhältnissen unter Laubbäumen mehr Stickstoff im Humus des Mineralbodens gespeichert wird als unter Nadelbäumen, ist in laubholzreichen Beständen nach Sturmwurf auch mit einem entsprechend höheren Nitratgehalt im Sickerwasser zu rechnen. In 13 Sturmflächen Bayerns erhoben MELLERT *et al.* (1996) die Nitratwerte im Sickerwasser und stellten bei der Hälfte der Flächen Konzentrationen zwischen 50 und über 150 mg/l fest. Dies übersteigt den Richtwert für Trinkwasser in der Schweiz, der bei 25 mg/l angesetzt ist; der Toleranzwert liegt bei 40 mg/l (BUWAL 2002).

Im Einflussbereich von Störungsflächen halten sich die Stickstoffkonzentrationen des Quell- und Bachwassers jedoch meist in tolerierbaren Grenzen, weil einerseits das Nitrat im Unterboden zum Teil durch die Mikroorganismen wieder aus dem Sickerwasser aufgenommen wird und andererseits auf dem Weg zur Quelle in der Regel eine Vermischung mit Grundwasser anderer Herkunft stattfindet. Nachdem im Bayerischen Wald wegen Käferbefalls Fichtenwälder grossflächig abstarben, erhöhte sich die Nitratkonzentration im Bachwasser auf maximal 23 mg/l (ROTHER *et al.* 1998; NÜSSLEIN *et al.* 2000).

Die nach Windwurf allgemein erhöhten Nitratkonzentrationen beschränken sich auf die ersten 2 bis 5 Jahre und gehen mit der Erschöpfung des leicht abbaubaren Humus und mit dem Aufkommen der Schlagvegetation wieder zurück. Die Vegetation nimmt den überschüssigen Stickstoff auf und hält ihn im Kreislauf. Während der Vegetationsperiode kann eine dichte Vegetationsdecke den Nitrataustrag sogar deutlich unter den Wert des Vorbestandes senken, sofern dies nicht durch flächiges Ausmähen oder Mulchen verhindert wird. Um den Stickstoff jedoch langfristig wieder im System zu binden, braucht es verholzende Pflanzen, d.h. einen neuen Wald (MELLERT *et al.* 1996; ROTHER *et al.* 1998; NÜSSLEIN *et al.* 2000; WETT 2003).

### D-3.2 «Stickstoffquelle» Totholz

**Der Beitrag des Totholzes am Stickstoffaustrag ist relativ gering**

Der Überschuss an Stickstoff ist in erster Linie eine Folge des Windwurfs. Gegenüber den sturmbedingten Veränderungen ist der Einfluss durch das Liegenlassen oder Räumen des Sturmholzes bescheiden.

Die an der Holzersetzung beteiligten Mikroorganismen benötigen externen Stickstoff, denn sie aus der Luft entnehmen. Der durch das Regenwasser aus dem Totholz ausgewaschene Stickstoff befindet sich eher in organischer Form und beeinträchtigt deshalb das

Trinkwasser kaum. Bei unseren mehrheitlich nährstoffreichen Böden fällt dies mengenmäßig ohnehin kaum ins Gewicht (GRIER 1978; HARMON *et al.* 1998; LAIHO und PRESCOTT 2004).

#### **Weiterführende Literatur:**

Hegg C., Jeisy M., Waldner P. 2004: Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 60 Seiten

### **D-4 Vorzeitiger Abtrieb**

Der durch den Sturm verursachte Verlust wertvoller Zuwachsjahre ist ein Tatbestand, welcher unabhängig vom Entscheid für Belassen oder Räumen eingetroffen ist. Der vorzeitige Abtrieb beeinflusst den Massnahmenentscheid nicht.

### **D-5 Räumung zu späterem Zeitpunkt**

Eine Räumung zu späterem Zeitpunkt fällt dann in Betracht, wenn das liegende Holz instabil und dadurch zu einer Bedrohung für Menschen und erhebliche Sachwerte wird. Die Frage der Stabilität und Gefahr muss gestellt werden, bevor das Holz infolge von Setzungenbewegungen usw. zur Gefahr wird. Eventuell wird das Risiko einer späteren defizitären Räumung bewusst in Kauf genommen, wenn die momentane Beurteilung der Situation erwarten lässt, dass das Liegenlassen des Sturmholzes mindestens für absehbare Zeit einen genügenden Schutz bieten kann und somit die kostengünstigste Variante darstellt oder wenn dadurch Kapazitäten für dringendere Aufgaben freigesetzt werden können.

### **D-6 Erhaltung von Fachwissen und Arbeitsplätzen in der Region**

Die Bewältigung eines Sturmereignisses beschränkt sich auf eine relativ kurze Zeitspanne. Es werden dadurch höchstens vorübergehend neue Arbeitsplätze geschaffen. Forstunternehmungen, die von dem überdurchschnittlich hohen Auftragsvolumen profitieren, können dadurch evtl. nachfolgende «Durststrecken» besser durchstehen. Dies birgt jedoch auch die Gefahr der Erhaltung überdimensionierter Strukturen auf Kosten der Öffentlichkeit. Wenn die üblichen Kapazitäten (Forstdienst und Unternehmungen) für die Sturmholzaufarbeitung nicht ausreichen, werden vorübergehend mehr oder weniger gut qualifizierte Arbeitskräfte aus dem Ausland rekrutiert. Das wird auch in Zukunft so sein. Der örtliche Forstdienst

muss nicht so dimensioniert sein, dass er ohne Hilfe von aussen auch grosse Katastrophen selbst bewältigen kann.

Der Wert von gut ausgebildetem Forstpersonal und eines funktionstüchtigen Forstdienstes muss von den politischen Stellen nachhaltig anerkannt werden, nicht nur während der Schadensbewältigung.

### **D-7 Bedeutung der Sturmholznutzung für die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses**

In der Aufgabe, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu senken, kann der Rohstoff Holz als erneuerbare Ressource im Bereich der Wärmeenergie und der Baustoffe einen wertvollen Beitrag leisten. Der Brennstoff Holz ist CO<sub>2</sub>-neutral, weil bei dessen Verwendung anstelle von fossilen Brennstoffen nur so viel CO<sub>2</sub> in die Luft geht, wie durch die Holzverrottung ohnehin freigesetzt würde.

Bei Verwendung von Holz anstelle energieaufwendiger Baustoffe, wie Beton oder Stahl, wird «graue Energie» gespart und zusätzlich Kohlenstoff über längere Zeit in den Bauwerken gebunden. Das Sturmholz kann jedoch nur dann etwas zur CO<sub>2</sub>-Reduktion beitragen, wenn die Kapazitäten vorhanden sind, um die zusätzliche Holzmenge sinnvoll zu verwenden. Die Förderung des Rohstoffes Holz ist ein Dauerauftrag, der, solange die fossilen Energieträger weit unter ihrem Wert gehandelt werden, viel Kleinarbeit und vor allem geduldige, politische Überzeugungsarbeit erfordert. Die Diskussion über eine vermehrte Verwendung von Holz als Beitrag zur Reduzierung unserer CO<sub>2</sub>-Emissionen muss deshalb auf einer anderen Ebene geführt werden als vor einer Sturmschadenfläche.

# Dank

Wie schon die erste Ausgabe der Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald war auch deren Überarbeitung ohne die Zusammenarbeit mit vielen Fachleuten aus der Wissenschaft und Praxis nicht denkbar. Ihnen allen sei für Ihre unkomplizierte und konstruktive Mitwirkung ganz herzlich gedankt. Oft erforderte das Ringen um eine Darstellung der Entscheidungskriterien, die dem aktuellen Kenntnis- und Erfahrungsstand entspricht, Ausdauer und die Bereitschaft zu Kompromissen.

Wir danken auch den Vertretern aus den Kantonen und Institutionen, die durch ihre konstruktive Stellungnahme zum Vernehmlassungsentwurf vom März 2005 zur Verbesserung dieser Wegleitung beigetragen haben.

Ein besonderer Dank geht an die Mitglieder der Begleitgruppe und an die folgenden Personen:

Martin Ammann (WSL)	Marcel Hunziker (WSL)
Peter Ammann (Forsting. ETH, Kollbrunn)	Fredy Lienhard (Förster, ETH Lehrwald)
Hans Bärtschi (Forsting. ETH, Lausanne)	Tor Lundström (WSL)
Nicole Bauer (WSL)	Peter Lüscher (WSL)
Kurt Bollmann (WSL)	Stefan Margret (WSL)
Peter Brang (WSL)	Heinz Nigg (WildARK)
Markus Brunner (VSFU)	Fredy Nipkow (Silviva)
Anton Bürgi (WSL)	Michael Nobis (WSL)
Marco Conedera (WSL)	Christian Rickli (WSL)
Peter Duelli (WSL)	Anna Roschewitz (WSL)
Beat Forster (WSL)	Dani Rüegg (Forsting. Kaltbrunn)
Rolf Gall (WSL)	Beat Wermelinger (WSL)
Hans Gerber (WVS)	Othmar Wettmann (SUVA)
Werner Gerber (WSL)	Pius Wiss (VSFU)
Roland Graf (WSL)	Stephan Wild-Eck (ETH)
Frank Hagedorn (WSL)	Thomas Wohlgemuth (WSL)
Christoph Hegg (WSL)	Rudolf Zuber (Forsting. ETH, Chur)
Karin Hindenlang (WSL)	Martin Zürrer (myx GmbH)

# Literatur

- ALBRECHT L. 1991: Die Bedeutung des toten Holzes im Wald. Forstwiss. Cent.bl. 110 (2): 106–113.
- AMMANN P. 2005a: Baumartenmischung und Anwendungsbereich. Biologische Rationalisierung, Teil 4. Wald und Holz. 85 (4): 35–37.
- AMMANN P. 2005b: Biologische Rationalisierung bei Esche, Bergahorn und Buche. Biologische Rationalisierung, Teil 3. Wald und Holz. 85 (3): 29–33.
- AMMANN P. 2005c: Biologische Rationalisierung bei Fichte. Biologische Rationalisierung, Teil 2. Wald und Holz. 85 (2): 47–51.
- AMMANN P. 2005d: Biologische Rationalisierung. Teil 1: Einleitung und ökonomische Grundlagen. Wald und Holz. 85 (1): 42–45.
- AMMER U. 1991: Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzforstung für die forstliche Praxis. Forstwiss. Cent.bl. 110: 149–157.
- AMT FÜR WALD UND LANDSCHAFT OBWALDEN 2004: Bewältigung der Sturmschäden vom 26. Dezember 1999. Schlussbericht. Sarnen. 26 S.
- ANGST C., REICH T. 2004: Dauerbeobachtung der Waldverjüngung auf Lothar-Windwurfflächen. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (Hrsg.) 2004: Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 53–64. Veröffentlicht im Internet, 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- ARBEITSGRUPPE FORST (DEUTSCHLAND – ÖSTERREICH – SCHWEIZ) 2002: Gefährdungen bei forstlichen Tätigkeiten. Beurteilung und Dokumentation. InforMedia Verlag, Tharandt. 96 S. inkl. CD-Rom.
- ARNOLD M. 2003: Synthesebericht Rundholzlagerung – Erfahrungen nach dem Orkan «Lothar» (1999). EMPA, Abt. Holz / BUWAL, Eidg. Forstdirektion. 200 S.
- BACHOFEN H., BÜRGI A., COMMARMOT B., ERNI V., FRUTIG F., LEMM R., OSWALD K., THEES O., WASEM U., ZINGG A. 2000: Waldmanagement nach «Lothar» – Anregungen zum weiteren Vorgehen. Inf.bl. Forsch.bereich Wald 2: 2–5.
- BADOUX A., WITZIG J., GERMANN P., LÜSCHER P., WEINGARTNER R., HEGG C. 2004: Einfluss auf den Wasserhaushalt. In: HEGG C., THORMANN J.-J., BÖLL A. et al. (Hrsg.) 2004: Lothar und Wildbäche. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 69–74.
- BAIER P., KIKUTA S., LICK H. 1994: Heranziehung von Baummerkmalen zur Abschätzung der Befallsdisposition der Fichte für rindenbrütende Borkenkäfer. 1994: Forstliche Schriftenreihe der Universität für Bodenkultur, Wien. 7: 191–207.
- BÄRTSCHI H., ZELTNER S., RÄSS M., GAUTSCHI H.-P. 2003: LOTHAR Holzpreise und Holzvermarktung. Umwelt-Materialien Nr. 160. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 84 S. Veröffentlicht im Internet: <http://www.umwelt-schweiz.ch> > Publikationen, Code UM-160-D.
- BAUER N., HUNZIKER M. 2004: Wahrnehmung von Waldwildnis in der Schweiz. Wald und Holz. 84 (12): 38–40.
- BAUR P., BERNATH K., HOLTHAUSEN N., ROSCHEWITZ A. 2003: LOTHAR Ökonomische Auswirkungen. Wald- und Gesamtwirtschaft. Umwelt-Materialien Nr. 157. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 192 S. Veröffentlicht im Internet: <http://www.umwelt-schweiz.ch> > Publikationen, Code UM-157-D.
- BECKER T., SCHRÖTER H. 2000: Ausbreitung von rindenbrütenden Borkenkäfern nach Sturmschäden. AFZ-Der Wald. 55 (6): 280–282.
- BENZ G., ZUBER M. 1997: Die wichtigsten Forstinsekten der Schweiz und des angrenzenden Auslandes. Hochschulverlag vdf, Zürich. 121 S.
- BERGMANN H.-H., KLAUS S., MÜLLER F., SWENSON J. E., WIESNER J. 1996: Die Haselhühner: Bonasa bonasia und Bonasa sewerzowi: Haselhuhn und Chinahaselhuhn. 4. überarbeitete Auflage. Die neue Brehm-Bücherei, Band 77. Westarp Wissenschaften, Magdeburg. 278 S.
- BOGENRIEDER A., SCHMID J., SCHRÖPP G. 1998: Das Mikroklima und seine Auswirkung auf den Wasserhaushalt von Test-Pflanzen. In: FISCHER, A. (Hrsg.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 113–129.
- BÖLL A. 1997: Wildbach- und Hangverbau. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmensdorf. 123 S.
- BOTTERWEG P. F. 1982: Dispersal and flight behaviour of the spruce bark beetle Ips typographus in relation to sex, size and fat content. Z. Angew. Entomol. 94: 466–489.
- BOUGET C., DUELLI P. 2004: The effects of windthrow on forest insect communities: a literature review. Biol. Conserv. 118 (3): 281–299.
- BRANDL H., BRANDT C. 1994: Betriebswirtschaftliche Analyse der Sturmschäden. In: RIPBERGER M., PÜTTMANN W. (Hrsg.) 1994: Dokumentation der Sturmschäden 1990. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart. 75: 146–161.
- BROSI P. 1991: Sturmschäden 1990. Nutzungsregulierung. Bündnerwald. 44 (3): 57–62.

- BROWN P. M., SHEPPERD W. D., MATA S. A., MCCLAIN D. L. 1998: Longevity of windthrown logs in a subalpine forest of central Colorado. *Can. J. For. Res.* 28: 932–936.
- BÜHLER K. 2002: Die Nutzung verschiedener Habitatstypen durch das Reh (*Capreolus capreolus*) in einem vom Orkan «Lothar» betroffenen Wald. Diplomarbeit. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 41 S. Nicht publiziert.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (Hrsg.) 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage, Hannover. 438.
- BURCH H., FORSTER F., SCHLEPPI P. 1996: Zum Einfluss des Waldes auf die Hydrologie der Flysch-Einzugsgebiete des Alptals. *Schweiz. Z. Forstwes.* 147 (12): 925–938.
- BURSCHEL P., BINDER F. 1993: Bodenvegetation-Verjüngung-Waldschäden. *AFZ* (5): 216.
- BUWAL: Waldschaden-Handbuch. 3. überarbeitete Auflage. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. In Vorbereitung.
- BUWAL 1993: Waldschaden-Handbuch. 2. überarbeitete Auflage. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Ringordner.
- BUWAL (Hrsg.) 2002: Umwelt Schweiz 2002 – Politik und Perspektiven. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 356 S.
- BUWAL 2004: Lothar Rechenschaftsbericht. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 34 S.
- BUWAL, SLF 1990: Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Bern/Davos. 76 S. Ergänzt 2000.
- CHRISTIANSEN E., BAKKE A. 1988. In: BERRYMAN, A. A. (Hrsg.) 1988: Dynamics of Forest Insect Populations. Plenum Press, New York and London: 480–503.
- CONEDERA M. 2003: Incendi di boschi in Canton Ticino: dallo studio pionieristico di Ceschi alla situazione attuale. *Boll. soc. tic. sci. nat.* 91 (1/2): 135–144.
- CONEDERA M., MARXER P., MORETTI M., TINNER W. 1997: Waldbrandforschung an der FNP Sottostazione Sud delle Alpi. *Schweiz. Wald.* (12): 18–20.
- COPPIN N. J., RICHARDS I. G. (Hrsg.) 1990: Use of vegetation in civil engineering. Construction Industry Research and Information Association CIRIA. Butterworths, London. 292.
- DANGUY DES DÉSSERT D., BIGOT M., CACOT E., STOQUERT G., COLLET F., ESTÈVE L. 2002: Exploitation des chablis: attention danger! *Rev. for. fr. Numéro spécial* 2002: 69–88.
- DARBELLAY T. 2003: Etude de la dynamique de la végétation et du rajeunissement sur une surface de chablis. *Uvrier.* 13 S.
- DARBELLAY T., METRAL R. 2004: Le rajeunissement des forêts après la tempête Vivian – L'exemple valaisan de Pro Noyet. *La Forêt.* 57 (11): 12–15.
- DOBMAN J. 2002: Untersuchung der Abflussbildungsprozesse mittels Beregnungsversuchen im Baachli und Fulwasser, Spissibach, Leissigen. Eine Einschätzung zur Beurteilung von Reaktionsweisen von Wildbacheinzugsgebieten. Diplomarbeit. Geographisches Institut der Universität Bern
- DORREN L. K. A., BERGER F., LE HIR C., MERMIN E., TARDIF P. 2005: Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *For. Ecol. Manage.* im Druck.
- DROUINEAU S., LAROISSINIE O., BIROT Y., TERRASSON D., FORMERY T., ROMAN-AMAT B. 2000: Joint Evaluation of Storms, Forest Vulnerability and their Restoration. Discussion Paper. PÄIVINEN, R. European Forest Institute, Joensuu. 39 S.
- DUELLI P., OBRIST M. K., WERMELINGER B. 2002: Windthrow-induced changes in faunistic biodiversity in alpine spruce forests. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 117–131.
- DUELLI P., ZAHRADNIK P., KNIZEK M., KALINOVA B. 1997: Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. *J. Appl. Entomol.* 121: 297–303.
- EBERT K.-H. 2000: Perspektiven für die Bewältigung von «Lothar»? *AFZ.* (16): 828–829.
- EGLI S., PETER M., FALCATO S. 2002: Dynamics of ectomycorrhizal fungi after windthrow. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 81–88.
- ENGESSER R., FORSTER B., MEIER F., ODERMATT O. 1998: Forstschutzsituation 1997 in der Schweiz. *AFZ.* (7): 375–377.
- ENTRY J. A., RYGIWICZ P. T., WATRUD L. S., DONNELLY P. K. 2002: Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research.* 7: 123–138.
- ERLER J., BUSCH J. 2004: Gefährdungspotentiale bei der Waldarbeit. *Forsttech. Inf.* (3/4): 23–25.
- ERNI V., FRUTIG F. 2004: «HeProMo» – für die einfache Vorkalkulation von Holzertarbeiten. *Wald und Holz.* 85 (5): 46–47.
- F+D 1996: Kreisschreiben Nr. 8 vom 29. Juli 1996: Waldbau B und C (Komponenten Nr. 411.2 und 411.3). Eidg. Forstdirektion, Bern. 5 S.

- FAHSE L., HEURICH M. 2003: Borkenkäfer, Fichten und Computer. In: BÖHME D., HUFÉ S. (Hrsg.) 2003: Forschen für die Umwelt. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig. 4: 11–17. Auch im Internet veröffentlicht: <http://www.ufz.de/index.php?de=2293>.
- FEICHT E. 2004: Einfluss natürlicher Feinde auf den Buchdrucker (*Ips typographus*) am Beispiel von Brack- und Erzwespen. *Waldforschung aktuell. Nachrichten aus dem Zentrum Wald-Forst-Holz, Weihenstephan.* (5): 1–2.
- FLÜCKIGER W., BRAUN S. 2005: Einfluss von Bodeneigenschaften auf die Wiederbewaldung. In: INDERMÜHLE M., RAETZ P., VOLZ R. (Hrsg.) 2005: LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern: 113–121.
- FLURY J. 2003: Wald und Wasser. *Bündnerwald.* 56 (4): 7–10.
- FORSTER B., BUOB S., COVI S., OEHR Y E., URECH H., WINKLER M., ZAHN C., ZUBER R. 1998: Schlagräumung. *Merkblatt für die Praxis Nr. 30.* Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf. 4 S. Auch im *Wald u. Holz* 5/99 (S.27–29) publiziert.
- FORSTER B., MEIER F., GALL R. 2003a: Bark beetle management after a mass attack – some Swiss experiences. In: MCMANUS, M. L., LIEBHOLD, A. M. (Hrsg.) 2003a: Proceedings of Conference «Ecology, survey and management of forest insects», 1–5 Sept. 2002, Krakow. USDA Forest Service Northeastern Research Station: 10–15.
- FORSTER B., MEIER F., GALL R., ZAHN C. 2003b: Erfahrungen im Umgang mit Buchdrucker-Massenvermehrungen (*Ips typographus* L.) nach Sturmereignissen in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 154 (11): 431–436.
- FREHNER M. 2002: Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Kleinstandorte und der Pflanztechnik auf Fichtenpflanzungen in subalpinen Lawinschutzwäldern. *Beiheft Schweiz. Z. Forstwes.* 227 S.
- FREHNER M., WASSER B., SCHWITTER R. 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. *Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion.* Schriftenreihe Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- FREY W., FORSTER B., GERBER W., GRAF F., HEINIGER U., KUHN N., THEE P. 1995: Risiken und Naturgefahren auf Windwurfflächen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 146 (11): 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 (1/2): 89–107.
- FVA FREIBURG 2000: Arbeitsverfahren im Sturmholz. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung, Freiburg. 23 S.
- GAILLARD J.-M., DUNCAN P., DELORME D., VAN LAERE G., PETTORELLI N., MAILLARD D., RENAUD G. 2003: Effects of Hurricane Lothar on the population dynamics of european roe deer. *J. Wildl. Manage.* 67 (4): 767–773.
- GALL R., MEIER F., MEIER A. L., FORSTER B. 2003: Regionale Verteilungsmuster des Buchdrucker-Stehendbefalls (*Ips typographus* L.) nach Sturmschäden im Kanton Bern. *Schweiz. Z. Forstwes.* 154 (11): 431–436.
- GERBER W. 1994: Beurteilung des Prozesses Steinschlag. *Kursunterlagen zum FAN-Kurs in Poschiavo, Okt. 1994.* Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf. 11 S.
- GERBER W. 1998: Waldwirkungen und Steinschlag – Unterlagen zu den GWG/ FAN-Kursen 1998. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf. 1 S.
- GERBER W., RICKLI C., GRAF F. 2002: Surface erosion in cleared and uncleared mountain windthrow sites. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 109–116.
- GERLACH G. 1996: Kleinsäuger auf Sturmschadenflächen. *Wildbiologie.* (4): 12.
- GERTSCH E., KIENHOLZ H. 2004: Einfluss auf den Feststoffhaushalt. In: HEGG C., THORMANN J.-J., BÖLL A. et al. (Hrsg.) 2004: Lothar und Wildbäche. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 69–74.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM U. N. 1996: Avifauna von Sturmschadenflächen im Tannen-Buchenwaldareal am Schwyzer Nordalpenrand (Dritte Kartierung). *Bericht ornitho-ökologischer Sommerkurs 1996.* Zoologisches Institut Universität Bern, Bern. 128 S.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM U. N. 2001: Zur Entwicklung der Avifauna auf ehemaligen Sturmwurfflächen im Tannen-Buchenwaldareal am Schwyzer Nordalpenrand (1990–2000). *Ornithol. Beob.* 98: 81–112.
- GOCKEL H. A., ROCK J., SCHULTE A. 2001: Aufforsten mit Eichen-Trupppflanzungen. *Wirtschaftliche und waldbauliche Vorteile.* *AFZ-Der Wald.* (5): 223–226.
- GODEFROID S., KOEDAM N. 2004: Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species. *Biol. Conserv.* 119: 207–217.
- GOSSOW H., FRANK G. 2003: Waldbrand auf Windwurf – eine unheilige Allianz? *Österr. Forstztg.* 114 (9): 8–9.
- GÖTHLIN E., SCHROEDER L. M., LINDELÖW A. 2000: Attacks by *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* on windthrown spruces (*Picea abies*) during the two years following a storm felling. *Scand. J. For. Res.* 15 (5): 542–549.
- GRIER C. C. 1978: A *Tsuga heterophylla* – *Picea sitchensis* ecosystem of coastal Oregon: decomposition and nutrient balances of fallen logs. *Can. J. For. Res.* 8: 198–206.
- GSTEIGER P. 1993: Steinschlagschutzwald. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 144 (2): 115–132.

- HARMON M. E., GRIFFITHS R., MCKEE A., SWANSON F. J. 1998: Dead wood, bugs, fungi, and new forests. The log decomposition study. Project summary. Cascade Center for Ecosystem Management, Oregon. 2 S.  
Veröffentlicht im Internet: <http://guild.murdoch.edu.au/mega/stud200yr.htm> und <http://www.lclark.edu/~bierzzych/bio335/logdecomposition.PDF>.
- HEGG C., BADOUX A. 2003: Waldwirkung auf Hochwasser. Bündnerwald. 56 (4): 31–33.
- HEIDELBAUER M. 2004: Klimawandel-Konsequenzen. Forstzeitung. 115 (10): 18–19.
- HEINIMANN H. R., HOLLENSTEIN K., KIENHOLZ H., KRUMMENACHER B., MANI P. 1998: Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. Umwelt-Materialien Nr. 85. Hrsg: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 247 S.
- HILDEBRAND E. E., PULS C., GAERTIG T., SCHACK-KIRCHNER H. 2000: Flächige Bodenverformung durch Befahren – Ein unterschätzter ökosystemarer Eingriff. AFZ-Der Wald. (13): 683–686.
- HILLGARTER F.-W. 1971: Waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenurwald Scatlé/Brigels. Diss. Nr. 4619. Eidg. Technische Hochschule ETH, Zürich. 80 S.
- HOFER P., WINZELER R., LÜKING J., OLSCHESKI A. 2003: LOTHAR Optimierung der Holztransporte. Umwelt-Materialien Nr. 161. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 105 S. Veröffentlicht im Internet: <http://www.umwelt-schweiz.ch> >Publikationen, Code UM-161-D.
- HONOLD A., OBERWINKLER F. 1998: Pilze im Totholz. In: FISCHER, A. (Hrsg.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 214–226.
- HYTTEBORN H., PACKHAM J. R. 1987: Decay Rate of Picea abies Logs and the Storm Gap Theorie: A Re-examination of Sernander Plot III, Fiby Urskog, Central Sweden. Arboric. J. 11: 299–311.
- INDERMÜHLE M., KAUFMANN G., STEIGER P. 1998: Konzept Waldreservate Schweiz – Schlussbericht des Projektes Reservatspolitik der Eidgenössischen Forstdirektion. Eidgenössische Forstdirektion, Bern. 102 S. (exkl. Anh.).
- JEHL H. 1995: Die Waldentwicklung auf Windwurfflächen im Nationalpark Bayerischer Wald. In: NATIONALPARKVERWALTUNG BAYERISCHER WALD (Hrsg.) 1995: 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald: 112–145.
- JENNI H. P. 1993: Vor lauter Bäumen den Wald doch noch sehen. Ein Wegweiser durch die neue Waldgesetzgebung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 210. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 114 S.
- JIRIKOWSKI W., PRÖLL W. 2003: Krisenmanagement nach Windwurfkatastrophen. BFW-Praxisinformation. (1): 3–5.
- KANTONSFORSTAMT LUZERN 2002: Sonderkredite zur Bewältigung der Auswirkungen des Orkans Lothar. Stand Ende März 2002. Zwischenbericht und Ausblick bis Ende 2003. Luzern. 13 S.
- KARISCH G. 1996: Erfassung von Bodenschäden auf den Sturmflächen von Vivian 1990 in den Gemeinden Guttannen und Schattenhalb. Praktikumsarbeit. Waldabteilung 1, Interlaken. 13 S. Nicht publiziert.
- KARLSSON M. 2002: Natural regeneration to increase the proportion of broadleaved trees in southern Sweden – effects of seed dispersal and silvicultural treatments. In: BRUNNER, A. (Hrsg.) 2002: Restocking of storm-felled forests: new approaches. Proceedings of an international workshop in Denmark, March 2001: 100–101.
- KÄTHNER T. 1999: Es geschah am 16. April 1997 – Ein Waldbrand und seine Folgen. Wald und Holz. (3): 11–14.
- KENK G., MENGES U., BÜRGER R. 1991: Natürliche Wiederbewaldung von Sturmwurfflächen? AFZ. 46 (2): 96–100.
- KIENHOLZ H. 1994: Naturgefahren – Naturrisiken im Gebirge. Schweiz. Z. Forstwes. 145 (1): 1–25.
- KOCH R., BRANG P. 2005: Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. Schlussbericht zuhanden der Eidg. Forstdirektion (BUWAL). Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 90 S.
- KOMPA T. 2004: Die Initialphase der Vegetationsentwicklung nach Windwurf in Buchen-Wäldern auf Zechstein- und Buntsandstein-Standorten des südwestlichen Harzvorlandes. Dissertation an der Universität Göttingen. 223 S.
- KORPEL' S. 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York. 310 S.
- KUPFERSCHMID A. D., BRANG P., BUGMANN H., SCHÖNENBERGER W. 2004: Schutzwirkung von Gebirgsfichtenwäldern nach Buchdruckerbefall. Wie gut schützen Totholzbestände vor Naturgefahren? Wald und Holz. 85 (1): 33–36.
- KUPFERSCHMID A. D., BUGMANN H. 2005: Effect of microsites, logs and ungulate browsing on Picea abies regeneration in a mountain forest. For. Ecol. Manage. 205: 251–265.
- KUPFERSCHMID ALBISETTI A. D. 2003: Succession in a protection forest after Picea Abies die-back. Dissertation ETH. Zürich. 237 S.
- LABISKY R. F., MILLER K. E., HARTLESS C. S. 1999: Effect of hurricane Andrew on survival and movements of white-tailed deer in the everglades. J. Wildl. Manage. 63 (3): 872–879.
- LAIHO R., PRESCOTT C. E. 2004: Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: a synthesis. Can. J. For. Res. 34 (4): 763–777.
- LÄSSIG R., EGLI S., ODERMATT O., SCHÖNENBERGER W., STÖCKLI B., WOHLGEMUTH T. 1995: Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen. Schweiz. Z. Forstwes. 146 (11): 893–911.
- LATELTIN O. 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Naturgefahren, Empfehlungen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) und Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bern. 42 S.

- LUNDSTRÖM T., SIMON H., JONSSON M. Assessing reaction and energy absorption of trees exposed to rockfall. *Plant Soil*. Eingereicht und akzeptiert 2005.
- LÜSCHER P. 2005: Bodenverdichtungen. In: INDERMÜHLE M., RAETZ P., VOLZ R. (Hrsg.) 2005: *LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung*. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern: 97–106. Auch im Internet veröffentlicht: <http://www.umwelt-schweiz.ch> >Publikationen, Code UM-184-D.
- LÜTHI C. 1998: Einfluss verschiedener Räumungsvarianten auf die Nutzung der ehemaligen Sturmschadenfläche Schwanden durch Schalenwild. Diplomarbeit. Professur für Waldbau, ETH, Zürich. Nicht publiziert.
- MAI W. 1997: Naturverjüngung auf Moderholz – Ergebnisse einer Literaturstudie. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising. 59 S.
- MAI W. 1998: Naturverjüngung auf Moderholz. *Allgemeine Forstzeitschrift*. (11): 591.
- MARGRETH S. 2004: Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. In: EIDG. FORSCHUNGSANSTALT WSL (Hrsg.) 2004: *Schutzwald und Naturgefahren*. Forum für Wissen 2004: 21–26.
- MARTIN S. 2003: Moderholzverjüngung im Waldreservat Scatlè. *Forstwissenschaften*. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule: 101.
- MELLERT K.-H., KÖLLING C., REHFUSS K. E. 1996: Stoffauswaschung aus Fichtenwaldökosystemen Bayerns nach Sturmwurf. *Forstwiss. Cent.bl.* 115: 363–377.
- MENASHE E. 1998: Vegetation and erosion. A literature survey. *Environmental Education assessment & Management*. Greenbelt Consulting, Clinton. 10 S. Veröffentlicht im Internet: [www.greenbeltconsulting.com](http://www.greenbeltconsulting.com).
- MENGIN A. 2004: Reconstitution des forêts montagne après tempête, aide à la décision adaptée aux conditions du Valais (Suisse). Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF), Nancy Cedex. 74 S. Nicht publiziert.
- MÖLLER G. 1994: Alt- und Totholzlebensräume. Ökologie, Gefährdungssituation, Schutzmassnahmen. *Beitr. Forstwirtsch. Landsch.ökol.* 28 (1): 7–15.
- MOLLET P., BADILATTI B., BOLLMANN K., GRAF R., HESS R., JENNY H., MÜLHAUSER B., PERRENOUD A., RUDMANN F., SACHOT S., STUDER J. 2003: Verbreitung und Bestand des Auerhuhns Tetrao urogallus in der Schweiz 2001 und ihre Veränderungen im 19. und 20. Jahrhundert. *Ornithol. Beob.* 100: 67–86.
- MORTIER F. 2001: Reconstitution des forêts après tempêtes. Guide. Office National des Forêts, Paris. 148 S.
- MOSEER B., HINDENLANG K., SCHÜTZ M. 2004: Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh: Einfluss von Windwurf auf Nahrungsangebot und Nahrungsnutzung. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (Hrsg.) 2004: *Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003*. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 65–72. Veröffentlicht im Internet am 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- MÜLLER-USING S., BARTSCH N. 2003: Totholzdynamik eines Buchenbestandes (*Fagus sylvatica* L.) im Solling. *Allg. Forst- Jagdztg.* 174 (7): 122–130.
- NIERHAUS-WUNDERWALD D., FORSTER B. 2004: Zur Biologie der Buchdruckerarten. Merkblatt für die Praxis Nr. 18. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 8 S. 3. überarbeitete Auflage.
- NOACK A., SCHÖNENBERGER W., THEE P. 2004: Schützen Windwurfflächen vor Lawinen und Steinschlag? *Wald und Holz*. 43–46.
- NOBIS M., BÜRGI A. 2004: Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (Hrsg.) 2004: *Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003*. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 78–85. Veröffentlicht im Internet am 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- NOBIS M., WOHLGEMUTH T. 2004: Dauerbeobachtung der Vegetationsentwicklung auf Lothar-Windwurfflächen. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (Hrsg.) 2004: *Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003*. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 39–52. Veröffentlicht im Internet am 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- NÜSSLEIN S. 1997: Totholzflächen und Waldstrukturdaten im Nationalpark Bayerischer Wald 1996/97. Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft, Freising. 18 S.
- NÜSSLEIN S., FAISST G., WEISSBACHER A., MORITZ K., ZIMMERMANN L., BITTERSÖHL J., KENNEL M., TROYCKE A., ADLER H. (Hrsg.) 2000: Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1999 – Buchdrucker-Massenvermehrung und Totholzflächen im Rachel-Lungen-Gebiet. LFW-Bericht Nr. 25. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF, Freising. Auch im Internet veröffentlicht: <http://2004.lwf.bayern.de/>.
- OCCC 2002: Das Klima ändert – auch in der Schweiz. Die wichtigsten Ergebnisse des dritten Wissensstandsberichts des IPCC aus der Sicht der Schweiz. OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques), Bern. 48 S. Auch im Internet veröffentlicht: <http://www.proclim.ch/products/IPCC-CH02/IPCC-CH02D.pdf>.
- ODENTHAL-KAHABKA J., PÜTTMANN W. 2004: Orkan «Lothar» – Bewältigung der Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs. Dokumentation, Analyse, Konsequenzen. Schr.reihe Landesforstverwalt. Baden-Württ. Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart. 443 S.

- OTT E., FREHNER M., FREY H.-U., LÜSCHER P. 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt, Bern. 287 S.
- PALMER S., GROSS G., LIEBER K.-H., HUSSENDÖRFER E. 2000: Grundsätze zur Aufarbeitung von Sturmschäden. ANW Baden-Württemberg. 4 S. Veröffentlicht im Internet: <http://www.anw-baden-wuerttemberg.de/lothar.pdf>.
- PERRET S., DOLF F., KIENHOLZ H. 2004: Rockfalls into forests: Analysis and simulation of rockfall trajectories — considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. *Landslides*. (1): 123–130.
- PETERSON C. J. 2000: Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change. *The Science of the Total Environment*. 262: 287–311.
- PETERSON C. J., PICKETT S. T. A. 1995: Forest reorganization: a case study in an old-growth forest catastrophic blowdown. *Ecology*. 76 (3): 763–774.
- PETRASCHECK A. 2003: Hochwasser. In: OcCC (ORGANE CONSULTATIF SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES) (Hrsg.) 2003: Extremereignisse und Klimaänderung. OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques), Bern: 69–72.
- PICHERY C., BRUCIAMACCHIE M. 2002: Les atouts du bois mort pour la sylviculture. *La Forêt Privée*. 44: 371–383.
- PISCHEDDA D. (Hrsg.) 2004: Technical guide on harvesting and conservation of storm damaged timber. Published by the team of experts from the concerted action QLK5-CT2001-00645 STODAFOR. 103.
- PROJEKTLLEITUNG WAP-CH, BHP-BRUGGER & PARTNER 2004: Waldprogramm Schweiz (WAP-CH). Schriftenreihe Umwelt Nr.363. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 117 S.
- REBETEZ M. 2000: Réchauffement du climat, sécheresse et feux de forêts. *La Forêt*. 53 (1): 26–27.
- REICH T., LÄSSIG R., ANGST C. 2004: Das Waldreservat Rorwald. *Wald und Holz*. 84 (7): 32–36.
- REXER K.-H., KOTKE I., EBERHARDT U., WALTER L., OBERWINKLER F. 1998: Das Mykorrhizapotentiale auf Sturmwurfflächen und seine Bedeutung für die Bestandesregeneration. In: FISCHER A. (Hrsg.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 94–112.
- RICKENMANN D. 1995: Beurteilung von Murgängen. *Schweiz. Ing. Archit.* (48): 4–8.
- RICKLI C. (Hrsg.) 2001: Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Birmensdorf, Bern. 97.
- RICKLI C., BUCHER H. 2003: Oberflächennahe Rutschungen ausgelöst durch die Unwetter vom 15.-16.7.2002 im Napfgebiet und vom 31.8.-1.9.2002. Projektbericht zuhanden des BWG. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG und Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 6 S.
- RICKLI C., ZÜRCHER K., FREY W., LÜSCHER P. 2002: Wirkungen des Waldes auf oberflächennahe Rutschprozesse. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153 (11): 437–445.
- ROTHE A., KÖLLING C., MORITZ K. 1998: Waldbewirtschaftung und Grundwasserschutz. Der aktuelle Kenntnisstand. *AFZ-Der Wald*. 53 (6): 291–295.
- RÜEGG D. 2003a: Jagd auf Vivian-Flächen im Revier Grabs-West Kt. SG. *UVSL-Bulletin*. 3: 1–3.
- RÜEGG D. 2003b: Untersuchungen über die Entwicklung der Verjüngung und der Gämsbestände im Kanton Glarus. *UVSL-Bulletin*. 3: 3–5.
- RUNE F. 2002: Natural restocking and biodiversity development in a Danish beech forest after the 1967 storm. In: BRUNNER A. (Hrsg.) 2002: Restocking of storm-felled forests: new approaches. Proceedings of an international workshop in Denmark, March 2001. Danish Centre for Forest, Landscape and Planning: 74–76.
- SALM B., BURKARD A., GUGLER H. U. 1990: Berechnung von Fliesslawinen – Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Eidg. Institut für Schnee und Lawinenforschung (SLF), Davos. 37 S.
- SCHÄFFER J. 2004: Einfluss befahrungsbedingter Bodenstrukturstörungen auf die Wurzelbildung von Eichen auf durch «Lothar» verursachten Sturmwurfflächen. In: ODENTHAL-KAHABKA J., PÜTTMANN W. (Hrsg.) 2004: Orkan «Lothar» – Bewältigung der Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs. Dokumentation, Analyse, Konsequenzen. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart. Band 83: 213–225.
- SCHÄFFER J., VON WILPERT K. 2004: Bodenverformungen durch Befahrung – Dokumentation von Befahrungsspuren auf Sturmwurfflächen an Luftbildern. In: ODENTHAL-KAHABKA J., PÜTTMANN W. (Hrsg.) 2004: Orkan «Lothar» – Bewältigung der Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs. Dokumentation, Analyse, Konsequenzen. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart. Band 83: 443.
- SCHÄR C., VIDALE P. L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M. A., APPENZELLER C. 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*. 427: 332–336.
- SCHENK A. 2003: LOTHAR Die Sicht der Interessengruppen. *Umwelt-Materialien* Nr. 156. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 104 S. Veröffentlicht im Internet: <http://www.umwelt-schweiz.ch> >Publikationen, Code UM-156-D.
- SCHERRER H. U. 1993: Projekt zur flächenhaften Erfassung und Auswertung von Sturmschäden. *Allgemeine Forstzeitschrift*. (14): 712–714.
- SCHIEGG PASINELLI K., SUTER W. 2002: Lebensraum Totholz. Merkblatt für die Praxis Nr. 33. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf. 6 S.

- SCHMIDT O. 1999: Alte Bäume – Totholz von morgen. LWF aktuell. (18): 28–30. Auch im Internet veröffentlicht: <http://2004.lwf.bayern.de/lwfaktuell/lwfakt18/>.
- SCHMIDT-VOGT H. 1991: Die Fichte. Waldbau -Ökosysteme – Urwald – Wirtschaftswald – Ernährung – Düngung – Ausblick. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 804 S.
- SCHÖNENBERGER W. 2002: Post windthrow stand regeneration in Swiss mountain forests: the first ten years after the 1990 storm Vivian. For. Snow Landsc. Res. 77 (1/2): 61–80.
- SCHÖNENBERGER W., FISCHER A., INNES J.L. (Hrsg.) 2002: Vivian's Legacy in Switzerland – impact of windthrow on forest dynamics. For. Snow Landsc. Res. 77 (1/2): 1–224
- 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.
- SCHROEDER L. M., LINDELÖW A. 2002: Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Col. Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees. Agricultural and Forest Entomology. 4 (1): 47–56.
- SCHRÖTER H., BECKER T., SCHELSHORN H. 1998: Die Bedeutung der Sturmwurfflächen als «Borkenkäferquellen» für umliegende Wirtschaftswälder. In: FISCHER, A. (Hrsg.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 292–314.
- SCHÜTZ J.-P. 1996: Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz. Z. Forstwes. 147 (5): 315–349.
- SCHWENKE W. 1985: Beziehungen zwischen tierischen Schädlingen und Baumerkrankungen. Forstwiss. Cent.bl. 104: 220–225.
- SCHWITTER R. 1996: Schutzwald im Taminatal – Wiederherstellung nach dem Sturm. Forstwiss. Cent.bl. 115: 273–286.
- SCHWITTER R. 2002: Sturmholz als Lawinenschutz – ein Erfahrungsbericht. Wald und Holz. (6): 31–34.
- SEIWERT L. J. 1984: Das 1x1 des Zeitmanagement. GABAL Verlag, Speyer. 50 S.
- SERVICE DES FORÊTS ET DE LA FAUNE FRIBOURG 2001: Wiederherstellung von Waldwegen im Anschluss an Arbeiten «Lothar». Fribourg. 10
- SHEPPARD S., PICARD P. 2005: Visual-quality impacts of forest pest activity at the landscape level: A synthesis of published knowledge and research needs. Landsc. Urban Plan. im Druck.
- SIERRA LEGAL DEFENCE FUND 1997: Going downhill fast. Landslides and the forest practices code. Veröffentlicht im Internet: [http://www.sierralegal.org/reports/landslide\\_toc.html](http://www.sierralegal.org/reports/landslide_toc.html).
- STANKIEWITZ O. 2004: Waldentwicklung nach Grosssturmereignissen. Grundlagenprogramm Lothar, Synthese Teilprogramm 1. Bern: 25. Nicht publiziert.
- STOFFEL M., WEHRLI A., KÜHNE R., DORREN L. K. A., PERRET S., KIENHOLZ H. 2005: Quantifying the protective effect of mountain forests against rockfall using a 3D simulation model. For. Ecol. Manage. Eingereicht.
- STORAUNET O., ROLSTAD J. 2002: Time since death and fall of Norway spruce logs in old-growth and selectively cut boreal forest. Can. J. For. Res. 32 (10): 1801–1812.
- SUCHOCKAS V. 2002: Seed dispersal and distribution of silver birch (*Betula pendula*) naturally regenerating seedlings on abandoned agricultural land at forest edges. Baltic Forestry. 8 (2): 71–76.
- SUDA M. 2003: Wald – Objekt der Begierden? In: ZENTRUM WALD-FORST-HOLZ WEIHENSTEPHAN (Hrsg.) 2003: Seminarvorträge am 8. Mai 2003 anlässlich der Gründungsfeier im Zentrum Wald-Forst-Holz Weihestephan am Hochanger, Weihestephan: 29–31.
- TEUFEN B. 1993: Lawinen-Gefahrenbeurteilung in einem touristisch erschlossenen Gebiet oberhalb der Waldgrenze. Technischer Bericht. Forstinspektorat Graubünden, Davos. 19 S.
- TOMICZEK C. 2003: Forstschutzprobleme in Windwurfgebieten mit hohem Fichtenanteil. BFW-Praxisinformation. (1): 9–11.
- ULANOVA N. G. 2000: The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review. For. Ecol. Manage. 135: 155–167.
- UVEK 2005: Naturpärke sind eine Chance für die Regionen. Medienmitteilung vom 23.2.2005. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bern.
- WALTHERT L., ZIMMERMANN S., BLASER P., LUSTER J., LÜSCHER P. 2004: Waldböden der Schweiz. Band 1. Grundlagen und Region Jura. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL und Hep Verlag, Birmensdorf, Bern. 768 S.
- WASEM K., BAUER N. 2005: Stolpersteine bei der Etablierung von Wildnisgebieten. Inf.bl. Forsch.bereich Landsch. (62): 1–4.
- WEIHS U., WILHELM G. J., ROOS R. 1999: Wie sich unbehandelte Fichtenbestände aus Naturverjüngung entwickeln. AFZ-Der Wald. 54 (4): 172–175.
- WEISSBACHER A. 1999: Borkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald. LWF aktuell. (19): 13–17. Auch im Internet veröffentlicht: <http://2004.lwf.bayern.de/lwfaktuell/lwfakt19/>.

- WEISSBACHER A. 2004: Borkenkäfermassenvermehrung im Nationalpark Bayerischer Wald – Brutraum und günstige Witterung sind entscheidend. *Waldforschung aktuell. Nachrichten aus dem Zentrum Wald-Forst-Holz, Weihenstephan.* (4): 1–2.
- WERMELINGER B. 2004: Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *For. Ecol. Manage.* 202 (1–3): 67–82.
- WERMELINGER B., DUELLI P. 2004: Vergleich der Fauna auf Lothar-Windwurfflächen und im intakten Wald. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (Hrsg.) 2004: *Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte».* Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf: 73–77. Veröffentlicht im Internet am 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- WERMELINGER B., DUELLI P., OBRIST M. K. 2002a: Dynamics of saproxylic beetles (Coleoptera) in windthrow areas in alpine spruce forests. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 133–148.
- WERMELINGER B., EPPER C., SCHNEIDER MATHIS D. 2002b: Warum tote Käferbäume stehen lassen? *Wald und Holz.* 56 (4): 39–42.
- WERMELINGER B., SEIFERT M. 1998: Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *J. Appl. Entomol.* 122 (4): 185–191.
- WETT N. 2003: Aspekte des Prozesses der N-Freisetzung aus Humusvorratsabbau. Dissertation. Kassel. 158 S.
- WETTMANN O. 2002: Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Sturmholzaufarbeitung im Jahr 2000. Referat. 24th session of the Joint FAO/ECE/ILO Committee on Forest Technology, Management and Training. 12.-14. Sept. 2002 in Ennis, Irland: 4.
- WETTMANN O. 2004: Accident prevention and safety issues for managing storm damaged wood. Referat. STODAFOR CONFERENCE, Management of Storm damaged Forests. October 27–28, 2004 in Schluchsee, Deutschland: 10. Nicht publiziert.
- WICHMANN L., RAVN H. P. 2001: The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analysed using GIS. *For. Ecol. Manage.* 148: 31–39.
- WIDMER O., SAÏD S., MIROIR J., DUNCAN P., GAILLARD J.-M., KLEIN F. 2004: The effects of hurricane Lothar on habitat use of roe deer. *For. Ecol. Manage.* 195 (1/2): 237–242.
- WILD-ECK S. 2003: LOTHAR Wahrnehmung der Bevölkerung. Umwelt-Materialien Nr. 155. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 154 S. Veröffentlicht im Internet: <http://www.umwelt-schweiz.ch> >Publikationen, Code UM-155-D.
- WILD-ECK S., SCHENK ZUMBRUNN A., HUNZIKER M. 2004: Naturereignisse im Spiegel der Gesellschaft. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. 119 S.
- WILHELM C. 1999: Naturgefahren und Sicherheit der Bevölkerung im Gebirge – oder: Von der Schicksalsgemeinschaft zur Risikogesellschaft. Fünf Thesen zum Umgang mit Naturgefahren, dargestellt am Beispiel des Lawinenschutzes in der Schweiz. In: Eidg. Forschungsanstalt WSL: Tagungsband «Forum für Wissen 1999», Birmensdorf: 47–55. Auch im Internet veröffentlicht: <http://www.wsl.ch/lm/publications/e-publ/forum/1999-2/fo99-2-wilhelm.pdf>.
- WILHELM P., FUNKE W. 1998: Kleinsäuger. In: FISCHER, A. (Hrsg.) 1998: *Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf.* ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 330–334.
- WITZIG J., BADOUX A., HEGG C., LÜSCHER P. 2004: Waldwirkung und Hochwasserschutz – eine standörtlich differenzierte Betrachtung. Birmensdorf: 4. Veröffentlicht im Internet: <http://www.wsl.ch/forests/soil/produkte/sperbel/forstundholz.pdf>.
- WOHLGEMUTH T., KUHN N., LÜSCHER P., KULL P., WÜTHRICH H. 1995: Vegetations- und Bodendynamik auf rezenten Windwurfflächen in den Schweizer Nordalpen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 146 (11): 873–891.
- 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 (1/2): 77: 17–47.
- WSL, BUWAL (Hrsg.) 2001: *Lothar – Der Orkan 1999.* Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Birmensdorf, Bern. 365.
- YATSKOV M., HARMON M. E., KRANKINA O. N. 2003: A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Can. J. For. Res.* 33 (7): 1211–1226.
- ZIEMER R. R. 1981: roots and the stability of forested slopes. 1981: Symposium on Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands. International Association of Hydrogeological Sciences. Pub. 132: 343–361.
- ZINGGELER J., NIGG H., RÜEGG D. 2002: Waldverjüngung und Rehe auf «Lothar»-Flächen. *UmweltAargau.* 19: 23–28.
- ZÜRNER M. 2005: Entscheidungshilfen zum Schutz des Bodens bei Räumungsarbeiten nach Flächenschäden. In: INDERMÜHLE M., RAETZ P., VOLZ R. (Hrsg.) 2005: *LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung.* Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern: 110–112. Auch im Internet veröffentlicht: <http://www.umwelt-schweiz.ch> >Publikationen, Code UM-184-D.