

# Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen

LUBOR DVOŘÁK, PETER BACHMANN und DANIEL MANDALLAZ

Keywords: Lothar; winter storm; damage to forests; selection system; irregular stand. FDK 221.4 : 421.1 : 568 : (494)

## 1. Einleitung

Der Orkan Lothar vom 26. Dezember 1999 übertraf alle bisher bekannten Sturmereignisse in der Schweiz. In den Niederungen am Alpennordrand erreichte er vereinzelt Windspitzengeschwindigkeiten von über 180 km/h und grossflächig im schweizerischen Mittelland zwischen 140 und 160 km/h (WSL und BUWAL 2001). Als Folge dieser starken Winde wurden 12,5 Millionen Kubikmeter Holz geworfen oder gebrochen. Dabei wurden auch in ungleichförmigen Wäldern Schäden in nie erlebtem Ausmass angerichtet. Solche Wälder galten bisher als mehr oder weniger stabil.

Das hohe Ausmass der Schäden in Plenterwäldern des Emmentals bot aber auch erstmals die Gelegenheit, Zusammenhänge zwischen Merkmalen der ungleichförmigen Wälder und dem Schadensausmass gründlich zu untersuchen. Wenn möglich sollen sich daraus Strategien für die zukünftige Waldbehandlung ableiten lassen.

In einem bezüglich Standort und Bestandesstruktur detailliert erfassten Plenterwaldgebiet im Emmental wurden die aufgetretenen Schäden kleinflächig analysiert. Dabei ging es um den Einfluss von Standort, Betriebsart, Bestandesstruktur sowie von Art und Zeitpunkt des letzten Eingriffs auf das Schadensausmass und Schadensart.

Der vorliegende Aufsatz entstand im Rahmen einer Untersuchung an der Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum und wurde von der Eidgenössischen Forstdirektion aus Lothar-Forschungskrediten finanziell unterstützt. Die Ergebnisse wurden in einem Schlussbericht und einem stark vereinfachenden Artikel publiziert (DVOŘÁK und BACHMANN 2001a, 2001b). In diesem Beitrag wird auf einzelne Aspekte, vor allem methodischer Art, vertieft eingegangen.

## 2. Die Sturmschadenproblematik

Sturmschäden im Wald werden nach MAYER (1985) vor allem durch die meteorologischen Verhältnisse, die Geländeformen, den Standort und durch Bestandescharakteristika wie Bestandesart, Bestandesalter, Baumartenzusammensetzung, Gesundheitszustand der Bäume sowie den Durchforstungszustand beeinflusst.

Bei den meteorologischen Verhältnissen kommt neben der Windgeschwindigkeit auch der Turbulenz bzw. Windböigkeit eine grosse Bedeutung zu (SCHERRER und SCHMIDTKE 1997). Niederschläge und Temperaturverhältnisse vor dem Sturmereignis wirken sich vor allem über die Bodenwassersättigung und die Verankerungskraft der Wurzeln aus (BOSSHARD 1967, ROTTMANN 1986).

Die Geländeausformung beeinflusst in der Regel Windgeschwindigkeit und Turbulenz. Gefährdete Stellen sind insbesondere dort zu finden, wo horizontal anströmende Winde auf eine Bodenerhebung treffen (HÜTTE 1967, RAU 1995).

Bei den Standorten gelten vor allem staunasse und wechselfeuchte Böden als sturmgefährdet. Häufig nimmt der Schadenquotient mit zunehmender Bonität bzw. grösserer Baumhöhe zu (SCHMID-HAAS und BACHOFEN 1991), während Bestände auf mittleren und flachgründigen Standorten sturmfester

sind (KÖNIG 1995). Nach KUHN (1995) waren allerdings 1990 beim Sturm Vivian besonders Bestände auf extrem flachgründigen Böden betroffen. Dabei handelt es sich um Rendzinen oder im Fylschgebiet um Böden, deren Flachgründigkeit durch Grundnässe verursacht ist.

Der Einfluss von Bestandesscharakteristika auf Sturmschäden in gleichförmigen Beständen ist ausführlich bei ROTTMANN (1986) dokumentiert. Ungleichförmige Bestände sind diesbezüglich wenig untersucht. Allgemein gelten ungleichförmige Wälder als weniger sturmanfällig als einschichtige (BOSSHARD 1967, KRAMER 1984, LEIBUNDGUT 1978, SCHMID-HAAS und BACHOFEN 1991, KURTH 1994, HANEWINKEL und WILLMANN 1996). Dies wird unter anderem durch die gute Wurzelentwicklung und Verankerung im Boden (KERN *et al.* 1961, MITSCHERLICH 1963), die tiefen Schlankheitsgrade bzw. die Abholzigkeit der Plenterwaldbäume (ROTTMANN 1986, KERN 1966, SCHÜTZ 1999), die grosse Kronenlänge (PEŘINA *et al.* 1968, KODRÍK 1982), die frühzeitige Anpassung des Wurzelsystems an die Windbeanspruchung (KRAMER 1984, RAU 1995) und das innere Stützsyst<sub>em</sub> des Bestandes (MITSCHERLICH 1974) begründet.

Wurzel- und Stammfäule beeinflussen das Schadensausmass stark (SCHMID-HAAS 1994), wobei die Fichte viel stärker von der Fäule betroffen ist als alle andern Baumarten (BAZZIGHER und SCHMID 1969). Nach GRABER (1996) bleiben im Plenterwald Fichten bis in aussergewöhnlich starke Dimensionen von der Stammfäule verschont, was durch die verlangsamte Jugendentwicklung und die Beimischung der Tanne erklärt werden kann.

Über den Einfluss des Vorrats auf die Sturmanfälligkeit ungleichförmiger Bestände ist wenig bekannt. Dagegen dürfte die Vermutung, dass Bestände durch Nutzungseingriffe labiler werden, auch für Plenterbestände gelten. In der Regel gilt, dass die destabilisierende Wirkung mit zunehmendem Zeitraum zwischen Nutzung und Sturm abnimmt (KÖNIG 1995, BOSSHARD 1967). SCHMID-HAAS und BACHOFEN (1991) können dagegen keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl Jahre seit der letzten Nutzung und der Schadenshöhe feststellen.

Von der im Plenterwald stark vertretenen Tanne kann eine stabilisierende Wirkung ausgehen, betrachten sie doch viele Autoren als wesentlich sturmfester als die Fichte (HORNDASCH 1987, BOSSHARD 1967). Die Buche gilt allgemein als sturmfester als Tanne und Fichte (BAZZIGHER und SCHMID 1969).

## 3. Objekt und Methode

### 3.1 Das Untersuchungsgebiet Schwarzenegg

Das Untersuchungsgebiet Schwarzenegg liegt ungefähr 15 km ost-nordöstlich von Thun auf 855 bis 1405 m ü.M. am südwestlichen Rand des Emmentals. Die Wälder liegen hauptsächlich in der Hochebene Schwarzenegg-Heimenschwand und am nordwestlich exponierten Hang der Honeggkette. Das Klima ist rau und die Niederschläge betragen zwischen 1200 und 1800 mm pro Jahr.

Auf Molasse- und Moränenuntergrund hat sich ein kleinflächig gegliedertes Mosaik mit tiefgründigen, teilweise zur Vernässung neigenden Böden gebildet. Seit Ende des 19. Jahr-

hunderts wird in den Wäldern des ganzen Gebiets geplentert. Nur auf Teilflächen gibt es gleichförmige Bestände aus der Zeit der «klassischen» Forstwirtschaft im 19. Jahrhundert. In den Wäldern ist die Tanne mit 56%, die Fichte mit 41% und die Buche mit 2% des Vorrats vertreten. Die Tanne ist hier in ihrem ökologischen Optimum. Der Anteil der Fichte ist höher, als es auf solchen Standorten von Natur aus der Fall wäre. Sie ist fast so wüchsig wie die Tanne und in der Jugend sehr schattenfest.

Gemäss Stichprobeninventur von 1994 beträgt der mittlere Vorrat 544 sv/ha bei einer Stammzahl von 506 Bäumen pro Hektar (Mittelstamm 1.08 sv, Grundfläche 39 m<sup>2</sup>/ha). Der jährliche Zuwachs wird auf etwa 12 sv/ha geschätzt. Die untersuchten 520 ha (davon 500 ha bestockt) bestehen aus fünf aneinander grenzenden Gemeindewäldern in der bernischen Waldabteilung 3, Thun-Niedersimmental.

### 3.2 Flächenbezogene Erhebungen

Aus den Erhebungen für eine Dissertation liegen aus den Jahren 1995 bis 1997 eine Bestandes- und eine Standortkarte vor (DVOŘÁK 2001). In der Bestandeskarte wurden die gleichförmigen Bestände nach Entwicklungsstufen kartiert. Überführungs- und Plenterbestände, zusammengefasst als plenterartige Bestände, sind mit einer Plenterziffer charakterisiert, mit welcher für jede Schicht angegeben wird, ob sie optimal, über- oder untervertreten ist (DVOŘÁK 2001). Die Standortkarte stützt sich auf den «Standortkundlichen Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg» (BURGER *et al.* 1996) und berücksichtigt pflanzensoziologische Merkmale und Bodenmerkmale. Für spätere Auswertungen wurden ökologisch verwandte Standorte in fünf Standortgruppen (vgl. *Tabelle 3*) zusammengefasst.

Im Sommer 2000 wurde der Beschädigungsgrad der Bestände in Prozent des vor Lothar stehenden Vorrates geschätzt (5%- bzw. 10%-Klassen), und zwar durch terrestrische Begehung und Auswertung neuester Luftbilder sowie unter Verwendung der Bestandeskarte mit Plenterziffern. Für die örtliche Zuordnung der Schäden war die Position des Stammfusses massgebend. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Beschädigungsgrade folgenden Schadenkategorien zugeordnet:

Keine Schäden	Beschädigungsgrad	<5% des Vorrates
Kleine Streuschäden	Beschädigungsgrad	5–20% des Vorrates
Mittlere Streuschäden	Beschädigungsgrad	20–40% des Vorrates
Starke Streuschäden	Beschädigungsgrad	40–70% des Vorrates
Totalschäden	Beschädigungsgrad	>70% des Vorrates

Ort, Zeitpunkt und Eingriffsstärke der letzten Nutzungen wurden auf einer Karte mit Unterstützung der zuständigen Förster festgehalten.

### 3.3 Kontrollstichprobenerhebung

Im Jahr 1994 wurde in diesem Gebiet erstmals eine einfache (nicht konzentrische), systematische Kontrollstichprobeninventur mit einer Stichprobengrösse von 5 a und einer Kluppschwelle bei 8 cm durchgeführt. Das West-Ost-orientierte Stichprobennetz beträgt 80 x 150 m bzw. 1 Probe auf 1,2 ha (Details siehe DVOŘÁK 2001).

Bei der vereinfachten Folgeaufnahme im Sommer 2000 wurde nur geprüft, ob die Bäume der Erstaufnahme von 1994 noch stehen, ob sie genutzt, von Lothar zerstört bzw. beschädigt worden oder abgestorben sind. Die beschädigten Bäume wurden einer der folgenden Kategorien zugeordnet:

- Windwurf
- Windbruch

- umgedrückt
- stark beschädigt – muss genutzt werden
- beschädigt – kann stehen bleiben.

### 3.4 Auswertung

Um Zusammenhänge zwischen Sturmschäden und verschiedenen Faktoren untersuchen zu können, wurden Straten (Einheiten) nach Standortgruppen, Betriebsart, Plenterzahlen in den einzelnen Schichten, Vorratshöhe, Relief, Zeitpunkt und Eingriffsstärke der letzten Nutzung gebildet.

Bei der flächenbezogenen Erhebung können nur Summen- und Mittelwerte verglichen werden. Bei der Kontrollstichprobeninventur wurden die Mittelwerte geschätzt, die Unterschiede zwischen den einzelnen Straten verglichen und auf Signifikanz mit dem 95%-Vertrauensbereich geprüft.

Ergänzend wird mit Hilfe von zwei statistischen Standardprozeduren geprüft, ob zusätzliche Aussagen über Zusammenhänge zwischen Sturmschäden und deskriptiven Merkmalen bestehen.

Die Auswertung für die Beobachtungseinheit «Baum» basiert auf einem logistischen Modell, das eine Dichotomisierung der Schadstufen voraussetzt. Das logistische Modell ist formal der multiplen Regression ähnlich, berücksichtigt aber die binäre Struktur der Daten. Es beschreibt die individuelle Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Baum bei gegebenen explikativen Variablen für die Probestfläche und für den Einzelbaum den Zustand «1 = nicht beschädigt» aufweist. Damit kann der Zusammenhang zwischen einem bestimmten Faktor und dem Zustand nach dem Sturm untersucht werden, wenn alle anderen Variablen gedanklich konstant gehalten werden. Das Modell wird mit der Prozedur CATMOD im Programm SAS berechnet.

Die Auswertung für die Beobachtungseinheit «Probestfläche» basiert auf einem allgemeinen linearen Modell. Dafür wird der Beschädigungsgrad mit der «logit»-Transformation wie folgt ermittelt:

$$\text{Schaden} = \log \frac{P}{1 - P}$$

P = Anteil der beschädigten Bäume in der Stichprobe

Das Modell wird mit der Prozedur GLM im Programm SAS berechnet und prüft Zusammenhänge zwischen einem bestimmten Faktor und dem Zustand nach dem Sturm für den Fall, dass alle anderen Faktoren gleich bleiben.

## 4. Resultate

### 4.1 Stratifizierung der Sturmschäden

#### 4.1.1 Auswertung der Kontrollstichprobeninventur

Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden gemäss Kontrollstichprobeninventur 18% der Stammzahl oder 24% des Vorrats durch Lothar beschädigt. Eine Übersicht über die Schadensart vermittelt *Tabelle 1*. Während der Anteil gebrochener Stämme weitgehend unabhängig vom Brusthöhendurchmesser ist, steigt der Anteil geworfener Bäume mit zunehmendem Durchmesser und sinkt der Anteil umgedrückter Bäume (nur bis Durchmesser 30 cm).

**Tabelle 1:** Schadensart im Gesamtwald nach Kontrollstichprobeninventur.

Schadensart	% der Stammzahl	% des Vorrats
geworfen	61 ± 7	78 ± 11
gebrochen	21 ± 3	19 ± 4
umgedrückt	12 ± 2	1 ± 0
beschädigt	6 ± 1	2 ± 1

Die sauren und nassen Standorte sind stärker betroffen als die reichen/frischen und die mittleren Standorte. Statistisch gesichert ist aber nur der Unterschied zwischen sauren und mittleren Standorten. Auf sauren Standorten gibt es mehr Totalschäden und weniger unbeschädigte Bestände. Am meisten Schäden gibt es in ebenen Lagen bzw. bei Hangneigungen unter 20%. Luv-Lagen sind etwas stärker betroffen als Lee-Lagen und seitliche (in Windrichtung verlaufende) Hänge. Bei Hangneigungen über 50% sind die Schäden etwas grösser als bei Hangneigungen zwischen 20 und 50%. Statistisch gesichert sind nur die Unterschiede zwischen Schäden in der Ebene (25% der Stammzahl, 30% des Vorrates) und jenen an seitlichen Hängen (14% der Stammzahl, 19% des Vorrates) bzw. zwischen Hangneigung <20% (25% der Stammzahl, 30% des Vorrates) und Hangneigung 20 bis 50% (12% der Stammzahl, 16% des Vorrates).

Bei der Unterscheidung nach Betriebsarten ist der Plenterbestand etwas weniger stark betroffen als der Überführungsbestand und dieser weniger als der gleichförmige Bestand (Details siehe Abschnitt 4.2). Die Plenterbestände nehmen im Untersuchungsgebiet 31% der Fläche ein, die Überführungsbestände 63% (50% näher beim Plenterwald, 13% näher beim gleichförmigen Wald) und die gleichförmigen Bestände 6%.

In den plenterartigen Beständen (Plenter- und Überführungsbestände) wird die Struktur mit der Plenterziffer erfasst. Tendenziell die geringsten Schäden haben Bestände mit optimaler Oberschicht und mit übervertreter Mittel- oder Unterschicht. Eine übervertreterte Oberschicht führt zu stärkeren Schäden als wenn sie untervertreten ist. Statistisch gesichert ist nur der Unterschied zwischen übervertreter und optimaler Unterschicht. Hinsichtlich Vorratshöhe sind die Resultate auf den ersten Blick widersprüchlich (Details dazu in Abschnitt 4.3).

Nach Baumarten ist in den plenterartigen Beständen der Beschädigungsgrad bei Fichte grösser als bei Tanne und bei Tanne grösser als bei Buche (siehe *Tabelle 2*). Beim Vorrat sind alle Unterschiede signifikant, bei der Stammzahl jene zwischen Fichte und Tanne sowie zwischen Fichte und Buche, nicht aber zwischen Tanne und Buche. Die Schadensart ist bei Fichte und Tanne ungefähr gleich, während es bei der Buche deutlich mehr umgedrückte Bäume gibt. Bei allen drei Baumarten nimmt der Beschädigungsgrad mit steigendem Durchmesser zu, bei Tanne allerdings weniger als bei Fichte und bei schwachen Buchen.

**Tabelle 2:** Beschädigungsgrad der einzelnen Baumarten in plenterartigen Beständen mit 95% Vertrauensbereich.

Baumart	Beschädigungsgrad in %	
	Stammzahl	Vorrat
Fichte	22 ± 3	29 ± 5
Tanne	16 ± 3	18 ± 3
Buche	12 ± 4	9 ± 4

In den plenterartigen Beständen wirkt sich der Zeitpunkt der letzten Nutzung in dem Sinne aus, dass Nutzungen kurz vor sowie 16 bis 20 Jahre vor dem Sturmereignis die grössten Auswirkungen haben (*Abbildung 1*). Die geringsten Beschädigungsgrade ergeben sich bei mittleren Eingriffsstärken (70 bis 150 sv/ha), mehr oder weniger unabhängig vom Zeitpunkt des Eingriffes; stärkere und schwächere Eingriffe haben grössere Schäden zur Folge.

#### 4.1.2 Die Auswertung mit statistischen Standardprozeduren

Die Analyse mit der Standardprozedur CATMOD für die Beobachtungseinheit «Baum» bestätigt die oben gemachten Aus-

sagen, abgesehen vom Einfluss des Standorts. Alle untersuchten explikativen Variablen mit Ausnahme des Reliefs haben einen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Sturmschäden. Das verwendete Modell weist aber eine schlechte Anpassung auf. Das Modell für die Auswertung nach der Beobachtungseinheit «Probefläche» (Prozedur GLM) weist zwar eine etwas bessere Anpassung auf, zeigt aber nur für die beiden Variablen Betriebsart und Zeitpunkt der letzten Nutzung einen signifikanten Einfluss. Seine Aussagen sind aber in der Tendenz gleich. Warum bei beiden Modellen die reichen/frischen Standorte auf ein höheres Schadensausmass hinweisen (vgl. *Tabelle 3*) als die nassen und die sauren Standorte, lässt sich nur vermuten. Möglicherweise überlagert der Einfluss des Reliefs den Standortseinfluss.

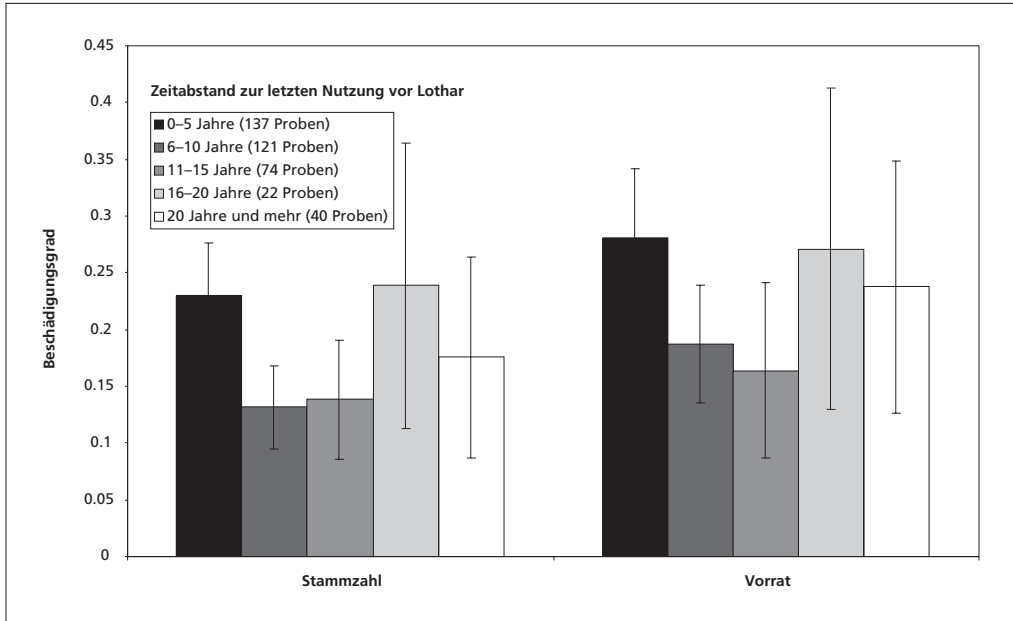
#### 4.2 Einfluss der Betriebsart

Die Ergebnisse sind eindeutig: gleichförmiger Wald ist im Untersuchungsgebiet am stärksten, Plenterwald am wenigsten vom Sturm Lothar betroffen; Überführungsbestände liegen dazwischen, aber näher beim Plenterwald (*Abbildungen 2, 3 und 4*). Trotzdem sollen diese Resultate etwas genauer untersucht werden.

Die Fläche der gleichförmigen Bestände im Untersuchungsgebiet ist relativ klein. Sie beträgt 30 ha von 487 ha bei den flächenbezogenen Erhebungen oder 43 ha von 500 ha bei den stichprobenbezogenen Erhebungen. Zudem weicht die Flächenverteilung nach Entwicklungsstufen vom nachhaltigen Modell ab, weil das mittlere Baumholz (Oberdurchmesser 40 bis 49,9 cm) stark übervertreten ist. Allerdings sind auch die plenterartigen Bestände noch nicht optimal aufgebaut, was sich durch 63% Überführungsbestände begründen lässt. Standortlich sind die Unterschiede klein; auf den stärker vom Sturm betroffenen sauren Standorten ist gleichförmiger Wald eher untervertreten. Dafür hat es im gleichförmigen Wald einen höheren Anteil an Fichte (nach Vorrat 76% gegenüber nur 32% im plenterartigen Wald), die deutlich mehr sturmgefährdet ist als Tanne und Buche.

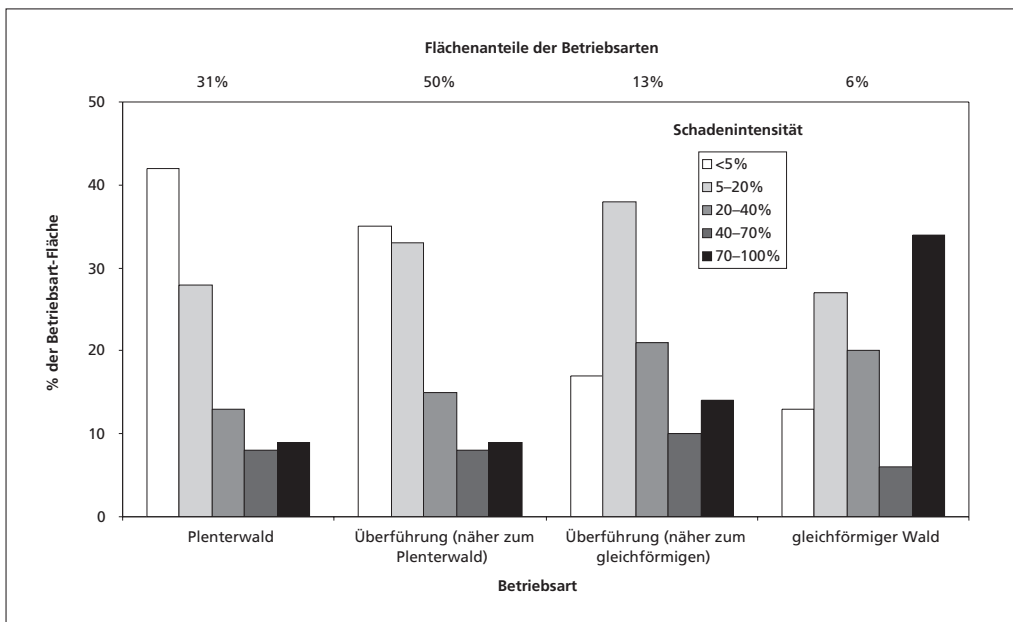
Beim Vergleich der Resultate aus den flächenbezogenen Erhebungen (*Abbildung 2*) zeigt sich, dass im gleichförmigen Wald der Anteil Totalschadenfläche (Schadenintensität 70–100%) gut drei Mal grösser ist als im plenterartigen Wald. Gerade umgekehrt ist das Verhältnis bei den schadenfreien Flächen (Schadenintensität <5%). Bei diesem Vergleich fehlen im gleichförmigen Wald die Jungwüchse, Dickungen und Stangenhölzer. Während die Jungwüchse und Dickungen unbeschädigt blieben, verzeichnen die Stangenhölzer gemäss Stichprobeninventur und Beobachtungen im Feld etwa durchschnittliche Schäden. Würden diese 12,79 ha in die Säulendiagramme von *Abbildung 2* einbezogen, so würde beim gleichförmigen Wald der Anteil der Fläche mit Schadenintensität <5% auf 32% steigen und der Anteil der Totalschadenfläche von 34% auf 27% sinken. Bezüglich Totalschaden wären gleichförmige Bestände immer noch deutlich stärker betroffen als plenterartige.

Bei der stichprobenbezogenen Erhebung ist die gesamte Waldfläche berücksichtigt worden. *Abbildung 3* zeigt, dass die Schäden in gleichförmigen Beständen deutlich grösser sind als in Plenter- und Überführungsbeständen. Signifikant ist allerdings nur der Unterschied beim Vorrat zwischen gleichförmigen und Überführungsbeständen. Auch die Art der Schäden ist in gleichförmigen und plenterartigen Beständen verschieden. In gleichförmigen Beständen sind 36% der Stammzahl (31% des Volumens) gebrochen gegenüber 22 bzw. 26% in den plenterartigen (*Abbildung 4*). Dafür hat es im gleichförmigen Wald weniger umgedrückte oder beschädigte, stehen gebliebene Bäume.

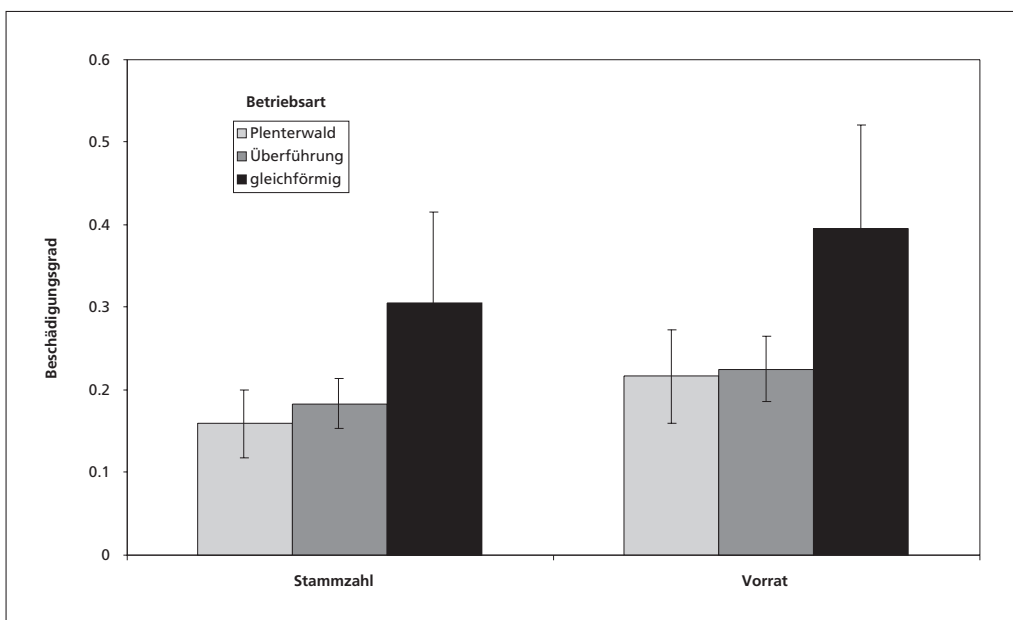


**Abbildung 1:** Beschädigungsgrad in Abhängigkeit vom Zeitabstand zur letzten Nutzung vor dem Sturmereignis in plenterartigen Beständen.

Die Fehleranzeige entspricht dem 95%-Vertrauensbereich.



**Abbildung 2:** Flächenanteile der Schadenintensität (in % des Vorrats) nach Betriebsarten.



**Abbildung 3:** Beschädigungsgrad nach Betriebsart.

Die Fehleranzeige entspricht dem 95%-Vertrauensbereich.



Die zusätzlichen statistischen Auswertungen bestätigen diese Zusammenhänge (Tabelle 3). Bei beiden Verfahren zeigt sich eine signifikante Abhängigkeit der Höhe der Sturmschäden von der Betriebsart. Allerdings stimmen die Modelle nur schlecht mit der Wirklichkeit überein, vor allem in Flächen mit Totalschäden. Das dürfte darauf hinweisen, dass die wohl wichtigsten Variablen für ein derartiges Modell, die Windstärke und die Windböigkeit, nicht berücksichtigt wurden. Alle Resultate sollten deshalb mit Vorsicht interpretiert und in erster Linie als Tendenzen gedeutet werden.

Ein wichtiger Unterschied zwischen plenterartigen und gleichförmigen Beständen betrifft den Zustand des verbleibenden Bestandes. Während im Falle von Totalschaden in gleichförmigen Beständen auf der betroffenen Fläche nach dem Sturm nur eine Blösse oder bei verjüngten Beständen eine kaum differenzierte Verjüngung übrig bleibt, sind in plenterartigen Beständen in der Regel Jungwuchsgruppen, einzelne Stangen aus der Unterschicht und manchmal auch vereinzelte Baumindividuen aus der Mittel- und Oberschicht vorhanden. Die verbleibenden Stangen sind zwar oft beschädigt und müssen einen Wachstumsschock überwinden. Beobachtungen auf älteren Kalamitätsflächen zeigen aber, dass sich daraus erstaunlich rasch wieder stufige Bestände entwickeln können.

### 4.3 Einfluss der Vorratshöhe in plenterartigen Beständen

Bei der flächenbezogenen Erhebung wurde nicht direkt nach Vorrat stratifiziert, sondern nach Plenterziffern. Für den Vor-

rat sind vor allem die Verhältnisse in der Oberschicht massgebend. Die Resultate weisen auf geringere Schäden bei optimaler Vorratshöhe in der Oberschicht hin. Bei übervertreter Oberschicht sind die Schäden grösser als bei untervertreter Oberschicht.

Bei der Stichprobenerhebung wurde auf zwei Arten stratifiziert, einmal nach der Bestandeskarte (Kartierung nach Plenterziffer) und einmal nach der Vorratshöhe in den 5 Aren grossen Stichprobenflächen.

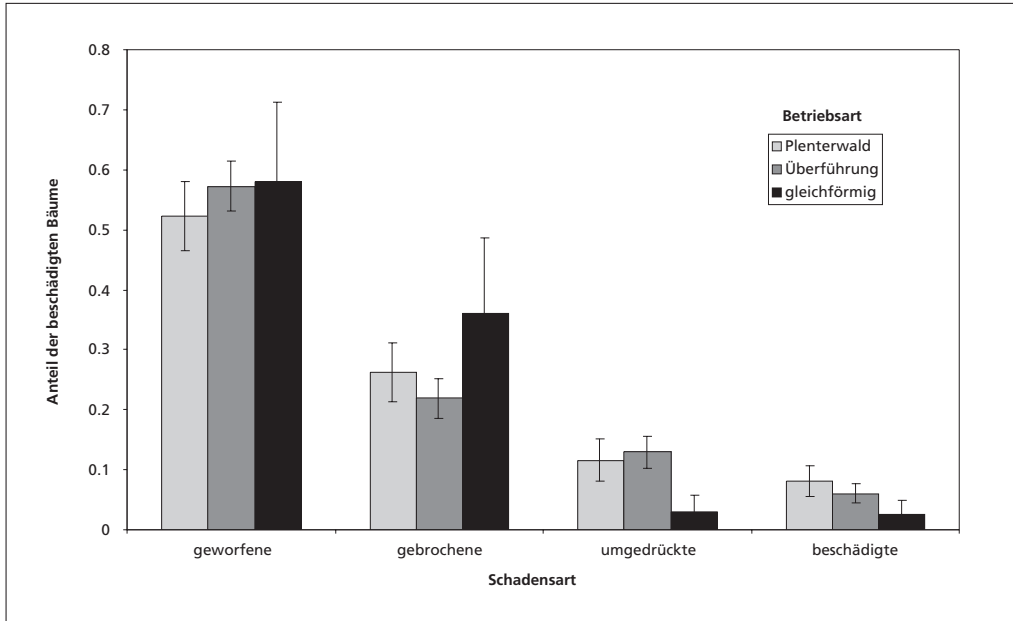
Bezogen auf die Bestandeskarte haben Bestände mit mittlerem Vorrat deutlich, aber nicht signifikant, die geringsten Schäden (Abbildung 5). Zu den Beständen mit mittlerem Vorrat gehören Bestände mit untervertreter Oberschicht und übervertreter Mittelschicht, mit optimal vertretener Mittel- und Oberschicht und mit übervertreter Oberschicht bei fehlender Mittelschicht (Überführungsbestände). Die grössten Schäden nach Stammzahl und Vorrat werden im Stratum mit niedrigen Vorräten festgestellt, allerdings bei kleiner Stichprobenzahl; sie sind noch grösser als im Stratum mit hohen Vorräten. Bezüglich Schadensart haben Bestände mit niedrigem Vorrat weniger umgeworfene und mehr gebrochene sowie umgedrückte Stämme als Bestände mit mittlerem oder hohem Vorrat.

Die zusätzlichen statistischen Auswertungen bestätigen diese Aussagen (Tabelle 3). Die höchsten Schäden sind in Beständen mit niedrigen Vorräten zu erwarten, gefolgt von den Beständen mit hohen Vorräten. Die geringsten Schäden haben Bestände mit mittleren Vorräten. Bei der baumbezogenen Auswertung (Prozedur CATMOD) sind diese Abhängig-

Parameter		Baum (Prozedur CATMOD)		Probefläche (Prozedur GLM)	
		«Estimate» <sup>1)</sup>	p-Wert	«Estimate» <sup>1) 2)</sup>	p-Wert
Standortstyp	nass	0,16		0,55	
	reich, frisch	0,30		0,59	
	mittel	-0,18	<0,0001	0,22	0,2825
	sauer	0,13		0,43	
	Hochmoor	-0,41		0,00	
Neigung	<20%	0,37		0,24	
	20–50%	-0,38	<0,0001	-0,23	0,1138
	>50%	0,01		0,00	
Relief	Ebene	0,03		0,38	
	Luv	-0,11		0,18	
	Lee	0,11	0,2264	0,09	0,5145
	Seitenhänge	-0,03		0,00	
Betriebsart	Plenterwald	-0,17		-0,87	
	Überführung	-0,08	0,0014	-0,82	0,0046
	gleichförmig	0,25		0,00	
Durchmesserklasse	>32 cm BHD	0,23			
	16–32 cm BHD	-0,08	<0,0001		
	<16 cm BHD	-0,15			
Vorratshöhe	niedrig	0,34		0,22	
	mittel	-0,34	<0,0001	-0,34	0,0761
	hoch	0,00		0,00	
Baumart	Fichte	0,30			
	Tanne	-0,05	<0,0001		
	Buche	-0,25			
Jahr der Nutzung	0–5 J.	0,35		0,47	
	6–10 J.	-0,27		-0,11	
	11–20 J.	-0,14	<0,0001	0,02	0,0036
	>20 J.	0,06		0,00	
Eingriffsstärke	niedrig	0,14		0,05	
	mittel	-0,28	<0,0001	-0,27	0,1402
	gross	0,14		0,00	

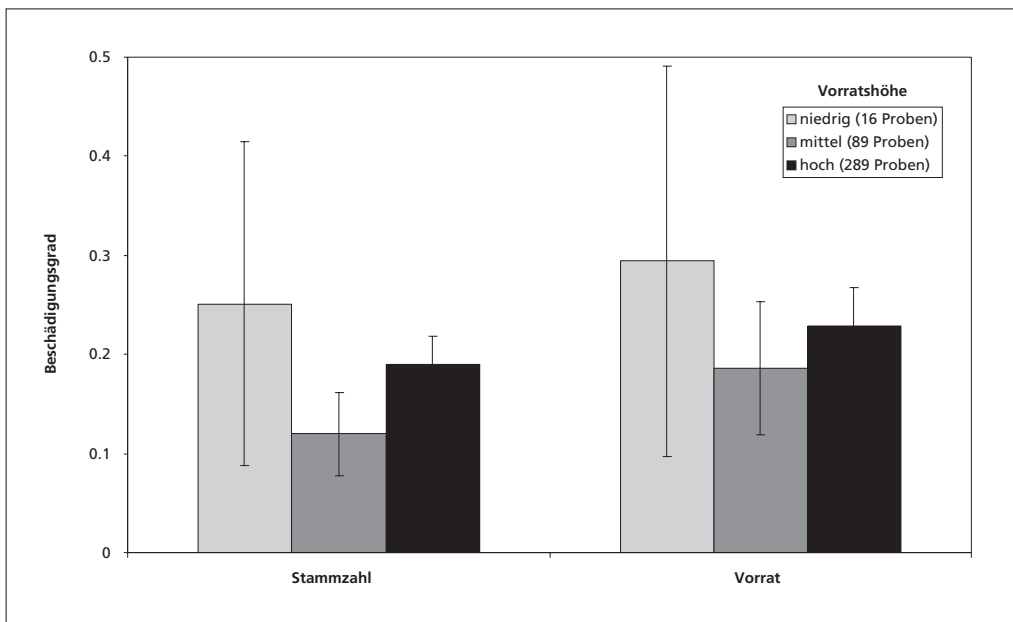
<sup>1)</sup> Je grösser der Wert, desto grösser die Wahrscheinlichkeit beschädigter Bäume.

<sup>2)</sup> Bei der Beobachtungseinheit «Probefläche» wurde gegenüber dem Schlussbericht (DVOŘÁK und BACHMANN 2001a) das Vorzeichen gewechselt.



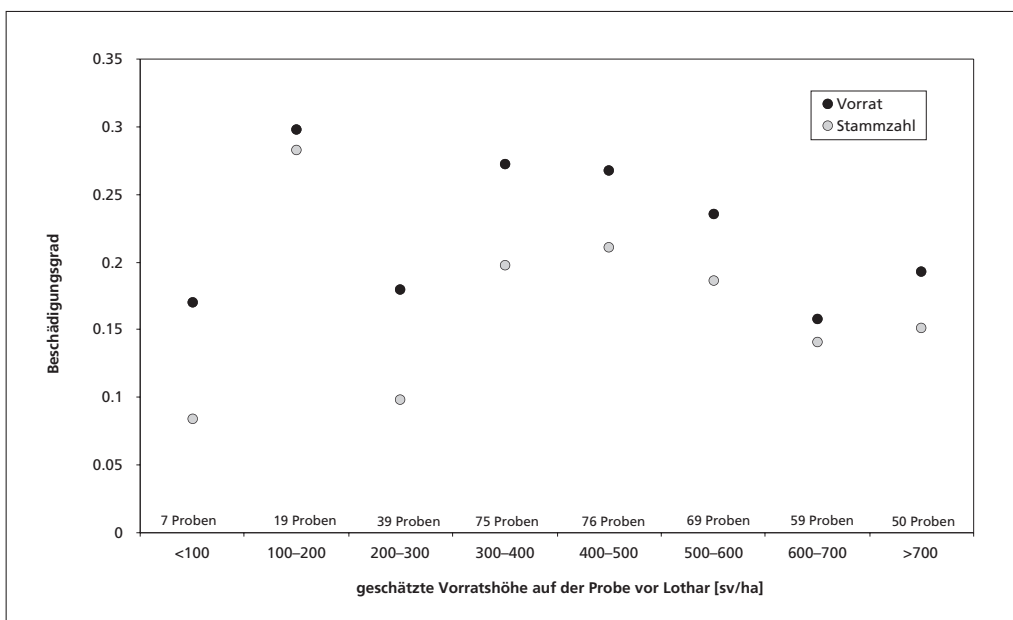
**Abbildung 4:** Anteil der beschädigten Bäume nach Schadens- und Betriebsart am Beispiel der Stammzahlen.

Die Fehleranzeige entspricht dem 95%-Vertrauensbereich.



**Abbildung 5:** Beschädigungsgrad in Abhängigkeit von der Vorratshöhe in plenterartigen Beständen.

Die Fehleranzeige entspricht dem 95%-Vertrauensbereich.



**Abbildung 6:** Beschädigungsgrad in Abhängigkeit von der Vorratshöhe auf der Probe. Nur plenterartige Bestände.

keiten signifikant, bei der probeflächenbezogenen Auswertung (Prozedur GLM) dagegen nicht. Zu berücksichtigen ist, dass die Stratifizierung bezüglich Vorratshöhe nach der Bestandeskarte erfolgte. Für die schlechte Modellanpassung gelten die Bemerkungen in Abschnitt 4.2.

Bei einer Stratifizierung nach der Vorratshöhe in den Stichprobenflächen vor dem Sturm zeigt sich ein anderes Bild (*Abbildung 6*). Die höchsten Schäden nach Stammzahl und Vorrat haben Probenflächen mit Vorräten um 300 bis 600 sv/ha. Bei Vorräten unter 300 sv/ha und über 600 sv/ha ist der Beschädigungsgrad kleiner (abgesehen von den sehr hohen Werten bei den 19 Proben in der Vorratsklasse 100 bis 200 sv/ha).

Diese Ergebnisse scheinen sich zu widersprechen. Sie dürften auf die unterschiedliche Klassenbildung zurückzuführen sein. Zudem brauchen die Verhältnisse in den Probenflächen nicht jenen des umgebenden, meist inhomogenen Bestandes zu entsprechen, und Strukturveränderungen im Zeitraum zwischen der Kartierung 1995 bis 1997 (DVOŘÁK 2001) und dem Sturm wurden nicht berücksichtigt.

Wenn man die Anzahl Proben mit niedrigem und mittlerem Vorrat gemäss *Abbildung 5* in *Abbildung 6* überträgt, würde deren mittlerer Beschädigungsgrad in dem Sinne korrigiert, dass Flächen mit niedrigen Vorräten stärker beschädigt wären als Flächen mit mittleren Vorräten. Das könnte bedeuten, dass bei der Bestandeskartierung die gutachtliche Zuordnung der Plenterziffern von zu tiefen Vorräten ausging. Ob die Schäden bei mittlerem oder hohem Vorrat grösser sind, kann anhand dieser Zahlen nicht entschieden werden. Immerhin dürfte aus den Resultaten in *Abbildung 6* abgeleitet werden, dass vorratsreiche Partien in plenterartigen Beständen nicht destabilisierend wirken.

## 5. Bedeutung für die Praxis

Folgende Empfehlungen gelten streng genommen nur für das Untersuchungsgebiet Schwarzenegg. Eine Übertragung auf andere Gebiete in der Schweiz ist allerdings verantwortbar, besonders in der montanen Stufe mit ähnlichem Standortspektrum wie im Untersuchungsgebiet.

Aus der Sicht der Risikoverminderung gegenüber Sturmschäden sind Plenterwälder als reich strukturierte Mischwälder den gleichförmigen Wäldern vorzuziehen. Die Plenterwälder weisen allgemein geringere Schäden und kleinere Flächenanteile mit Totalschäden auf. Plenterwälder haben zudem einen kleineren Anteil an gebrochenen Bäumen als der gleichförmige Wald. In plenterartigen Beständen laufen permanent Verjüngungsprozesse ab, was zur Risikoverminderung beiträgt. Im Falle von Totalschäden (>70% Vorrat) im Plenterwald bieten die verbleibenden Stangen aus der Unterschicht und der Jungwuchs wichtige Vorteile. Pflanzungen sind oft nicht notwendig, und die differenzierten Jungwuchsgruppen ermöglichen und erleichtern die Bildung von strukturierten Beständen bereits in einem frühen Stadium. Allerdings besteht hinsichtlich der Entwicklung solcher geschädigter Bestände noch beträchtlicher Forschungsbedarf. Die Praxis könnte dies durch die Anlage von Weiserflächen in geeigneten Lothar-Sturmschadenflächen unterstützen.

Es zeigt sich, dass auch Überführungsbestände stabiler sind als gleichförmige Bestände. Schon in einem frühen Stadium der Überführung, wo sie den gleichförmigen Beständen noch sehr ähnlich sind, lässt sich ein Stabilisierungseffekt beobachten. Die Angst vor länger andauernden labilen Zuständen bei sachgerechter Überführung ist gestützt auf diese Untersuchung unbegründet.

Die Vorratshöhe hat in plenterartigen Beständen keinen starken Einfluss auf den Beschädigungsgrad. Bestände mit Vorräten unter 200 sv/ha sind möglicherweise am stärksten

gefährdet. Ob die Schäden bei mittleren oder bei hohen Vorräten grösser sind, kann mit den vorliegenden Ergebnissen nicht eindeutig belegt werden. Kleinflächig vorratsreiche Partien wirken vermutlich nicht destabilisierend. Aus Sicht der Sturmrisikominderung muss nicht von den traditionell eher hohen Vorräten im Emmentaler Plenterwald abgewichen werden (entscheidender dürften die Lichtverhältnisse für die Verjüngung sein).

Für das Schadensausmass sind das Plentergefüge und besonders die Verhältnisse in Ober- und Mittelschicht wichtig. Die Ober- und Mittelschicht sollten möglichst den idealen Vorstellungen entsprechen. Je weiter sie davon entfernt sind, desto grössere Beschädigungsgrade sind zu erwarten.

Bezüglich Nutzung war bekannt, dass Eingriffe kurz vor dem Sturm das Risiko vergrössern. Grösser ist das Risiko auch in lange nicht gepflegten Beständen. Regelmässige Eingriffe mit Umlaufzeiten zwischen etwa 8 und maximal 15 Jahren dürften sinnvoll und notwendig sein. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass mittlere Eingriffsstärken (in dieser Untersuchung 70 bis 150 sv/ha) die geringsten Schäden zur Folge hatten, unabhängig vom Zeitpunkt des Eingriffs vor dem Sturm.

## 6. Folgerungen und Ausblick

Ein wichtiger Vorteil dieser Studie besteht darin, dass recht viel Erfahrungswissen mit Zahlen belegt werden kann. Leider sind nur wenige Ergebnisse statistisch gesichert, weil das Zahlenmaterial zu klein und zu inhomogen ist. So bleiben noch zahlreiche Fragen offen. Es müsste versucht werden, zusätzliches Material für ähnliche Untersuchungen zu gewinnen, zum Beispiel aus den LFI-Proben oder aus Kontrollstichproben von Betriebsinventuren. Je grösser der Zeitabstand zum Sturmereignis wird, desto schwieriger wird allerdings diese Arbeit. Interessant wäre auch eine Antwort auf die Frage, ab welcher Sturmstärke bzw. bei welchen Sturmigenschaften Bestandesstruktur und Betriebsart keine Rolle mehr spielen.

## Zusammenfassung

In einem rund 500 ha grossen Plenterwaldgebiet in Schwarzenegg am Südwestrand des bernischen Emmentals wurden mit flächen- und stichprobenbezogenen Erhebungen Abhängigkeiten zwischen Lothar-Sturmschäden und verschiedenen Faktoren untersucht. Auf der Gesamtfläche sind 18% der Stammzahl und 24% des Vorrats beschädigt. Betroffen sind vor allem die sauren und die nassen Standorte oder ebene Lagen. Plenterwald ist weniger stark betroffen als Überführungswald und dieser weniger als gleichförmiger Wald. Nach Baumarten ist der Schaden signifikant grösser bei Fichte als bei Tanne und bei Tanne grösser als bei Buche. Nutzungen bis 5 Jahre und zwischen 15 und 20 Jahren vor dem Sturm haben stärkere Schäden zur Folge als 5 bis 15 Jahre zurückliegende Eingriffe. Mittlere Eingriffsstärken von 70 bis 150 sv/ha wirken sich unabhängig vom Zeitpunkt vor dem Sturm weniger destabilisierend aus als schwächere oder stärkere Eingriffe. Es scheint, dass der Plenterwald bezüglich Risikoverminderung gleichförmigen Wäldern vorgezogen werden kann. Weil in Plenterwäldern zudem auf der ganzen Fläche permanent Verjüngungsprozesse ablaufen, wird im Falle von Schäden die Wiederherstellung strukturierter Bestände erleichtert.

## Résumé

### Chablis dans les peuplements irréguliers

Les relations existant entre les chablis dus à l'ouragan Lothar et différents facteurs ont été étudiées au moyen de relevés par surfaces entières et par échantillonnage. Un massif (de 500 ha) de forêts jardinées à Schwarzenegg, au sud-ouest de l'Emmental, a servi de cadre à cette étude. Sur la surface totale, 18% de tiges et 24% du volume sont endommagés. Les stations acides et mouillées sont plus touchées, tout comme les peuplements en terrain plat. Les peuplements jardinés sont moins endommagés que les peuplements en cours de conversion, ces derniers l'étant moins que les peuplements réguliers. Les dommages sont de façon statistiquement significative plus élevés chez l'épicéa que chez le sapin blanc, celui-ci étant moins atteint que le hêtre. Les interventions effectuées dans les 5 dernières années ou entre 15 et 20 ans auparavant ont entraîné des dommages plus élevés que celles effectuées 5 à 15 ans auparavant. Les interventions d'intensité moyenne, de l'ordre de 70 à 150 sv/ha, se sont avérées moins déstabilisantes que des interventions plus fortes ou plus faibles, et ce indépendamment du temps écoulé depuis la tempête. Il semblerait que les forêts jardinées puissent être préférées aux futaies régulières dans l'optique d'une réduction des risques. Comme le processus de rajeunissement se déroule d'une façon permanente sur l'ensemble de leur surface, la reconstitution de peuplements structurés y est facilitée en cas de dommages.

## Summary

### Storm damage in irregular stands

A selection forest covering about 500 ha in Schwarzenegg, on the southwest border of the Bernese Emmental, was subjected to areal and random spot checks in order to investigate dependencies between the damage caused by Lothar and various factors. Over the entire area 18% of the stems and 24% of the reserve stock is damaged. Worst hit are the acid and wet sites or low-lying sites. Selection sites are less affected than conversion stands and these less than even-aged stands. According to species, damage is significantly higher for spruce than for fir, and higher for fir than for beech. Yield intervention on sites up to 5 years before and between 15 and 20 years before the storm led to greater damage than intervention taken 5 to 15 years before the storm. Average strengths of interference between 70 to 150 sv/ha were less destabilising than weaker or stronger interference, regardless of how long before the storm they were carried out. It seems that, as far as risk reduction is concerned, selection forest is to be preferred to even-aged forest, as, in addition, permanent rejuvenation phases occur in selection stands over the whole area, which facilitate the reconstitution of structured stock in case of damage.

*Translation:* ANGELA RAST-MARGERISON

## Literatur

- BAZZIGHER, G., SCHMID, P., 1969: Sturmschaden und Fäule. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 120, 10: 521–535.
- BOSSHARD, W., 1967: Erhebungen über die Schäden der Winterstürme 1967. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 118, 12: 806–820.
- BURGER, T., STOCKER, R., DANNER, E., KAUFMANN, G., LÜSCHER, P., 1996: Standortkundlicher Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg. Teil 1: Anwenderschlüssel, Teil 2: Anwenderschlüssel: Anhang, Teil 3: Kommentare zu den Waldgesellschaften, Solothurn, Lenzburg: ARGE Kaufmann + Partner/Burger + Stocker. Birmensdorf: WSL [P. Lüscher: Bodenkunde].
- DVOŘÁK, L., 2001: Kontrollstichproben im Plenterwald. Diss. Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich, 190 S.
- DVOŘÁK, L., BACHMANN, P., 2001a: Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen in Abhängigkeit vom Bestandesaufbau. Schluss-

- bericht. Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum ETH Zürich, 87 S.
- DVOŘÁK, L., BACHMANN, P., 2001b: Plenterwälder sind sturmfester. Wald und Holz 82, 9: 47–50.
- GRABER, D., 1996: Die Kernfäuleschäden an Fichte in der Schweiz nördlich der Alpen. Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen 79, 283 S.
- HANEWINKEL, M., WILLMANN, U., 1996: Ökonomische Leistungsfähigkeit zweier Plenterwaldbetriebe mit hohen Wertholzanteilen im Mittleren Schwarzwald. Arbeitsbericht 25–96, Institut für Forstökonomie, Universität Freiburg, 54 S.
- HORNDA SCH, M., 1987: Stabilisierung der Fichtenbestände auf windwurfgefährdeten Standorten dargestellt am Beispiel des Roggenburger Forstes. Im Selbstverlag, Augsburg, 284 S.
- HÜTTE, P., 1967: Die standörtlichen Voraussetzungen der Sturmschäden. Forstwiss. Centralblatt 86: 276–295.
- KERN, K.G., 1966: Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br., Bd. 5, 232 S.
- KERN, K.G., MOLL, W., BRAUN, H.J., 1961: Wurzeluntersuchungen in Rein- und Mischbeständen des Hochschwarzwaldes. Allg. Forst- und Jagdzeitung 132: 241–260.
- KODRÍK, J., 1982: Problematik der Stabilität von Nadelholzbeständen gegenüber abiotischen, mechanisch wirksamen Faktoren. Lesnictví, S. 249–254.
- KÖNIG, A., 1995: Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 189 S.
- KRAMER, H., 1984: Grundlagen zur forstlichen Ertragskunde. 3. überarbeitete Auflage, Göttingen, 208 S.
- KUHN, N., 1995: Die standörtliche Abhängigkeit der Vivian-Windwürfe. Informationsblatt des Forschungsbereiches Landschaftsökologie der WSL, Nr. 28, 3 S.
- KURTH, H., 1994: Forsteinrichtung. Deutscher Landschaftsverlag, Berlin, 592 S.
- LEIBUNDGUT, H., 1978: Die Waldpflege. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Haupt, Bern, Stuttgart, 204 S.
- MAYER, H., 1985: Baumschwingungen und Sturmgefährdung des Waldes. Münchener Universitäts-Schriften, Wissenschaftliche Mitteilung Nr. 51, 247 S.
- MITTSCHERLICH, G., 1963: Untersuchungen in Schlag- und Plenterwäldern. Allg. Forst- und Jagdzeitung 134, 1: 1–12.
- MITTSCHERLICH, G., 1974: Sturmgefahr und Sturmsicherung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 125, 4: 199–216.
- PEŘINA, V., CHROUST, L., KADLUS, Z., 1968: Recent research on protecting stands against gale and snow damage. Sylwan, 29–44.
- RAU, H., 1995: Die Sturmschäden im Vingrund, Nordostwürttemberg von 1870 bis 1990. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 188, 173 S.
- ROTTMANN, M., 1986: Wind- und Sturmschäden im Wald. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 128 S.
- SCHERRER, H.U., SCHMIDTKE, H., 1997: Sturmschäden im Wald. Schlussbericht NFP 31, vdf Hochschulverlag, Zürich, 38 S.
- SCHMID-HAAS, P., BACHOFEN, H., 1991: Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 142, 6: 477–504.
- SCHMID-HAAS, P., 1994: Kronenverlichtung der Fichte als Indiz für mangelhafte Gesundheit und Stabilität. Fäule in den Stützwurzeln als eine der Ursachen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 145, 5: 371–387.
- SCHÜTZ, J.-P., 1999: Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen. Vorlesungsunterlagen, Professur Waldbau, ETH Zürich, 126 S.
- WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) und BUWAL, Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (Hrsg.) 2001: Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf, Bern, 365 S.

## Autoren

Dr. LUBOR DVOŘÁK, Adam-Zeltnerweg 1, 4600 Olten.  
Prof. Dr. PETER BACHMANN und PD Dr. DANIEL MANDALLAZ, Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum, D-Fowi, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.