

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 143 (1992)

Heft: 10

Artikel: Forschungsprojekte zur Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen

Autor: Schönenberger, Werner / Kasper, Heinz / Lässig, Reinhard

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765857>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Forschungsprojekte zur Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen

Von *Walter Schönenberger, Heinz Kasper und Reinhard Lässig*

FDK 18: 23: 421.1: 945.4

Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Birmensdorf führt an vier Orten in der Schweiz Versuche zur Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen durch. Schwerpunkte bilden vergleichende Untersuchungen der langfristigen Entwicklungen, Risiken und Auswirkungen von ungeräumten bzw. geräumten und natürlich verjüngten bzw. bepflanzten Flächen. Erste Erfahrungen und Zwischenresultate zu einzelnen Fragen werden schon in wenigen Jahren vorliegen. Da es sich um interdisziplinäre Forschungsprojekte mit vielen Beteiligten handelt, erscheint es uns zweckmäßig, deren Grundzüge bereits heute – zwei Jahre nach dem Start – näher vorzustellen.

1. Entstehung und Stand der Forschungsprojekte

Sturmholz ernten oder nicht?

Sturmschäden im Wald sind an sich nichts Aussergewöhnliches. Die Auswirkungen der Stürme vom 26. bis 28. Februar 1990 müssen jedoch in dreifacher Hinsicht als besonderes Ereignis gewertet werden:

- Es handelte sich um ein europäisches Gross-Schadenereignis; in Mittel- und Westeuropa fielen etwa 100 Millionen m³ Schadholz an (43), davon rund 4,5 Millionen m³ in der Schweiz (14).
- In der Schweiz wurden vor allem Gebirgswälder zerstört. In den betroffenen Regionen sind durch Föhnstürme verursachte Waldschäden durchaus üblich; durch Westwinde hervorgerufene Schäden sind jedoch in diesem Ausmass eher ungewöhnlich.
- Neben ausgedehnten Streuschäden entstanden auch grosse zusammenhängende Schadenflächen (*Abbildung 1*).

Sowohl in der Öffentlichkeit als auch in Fachkreisen wurde zum Teil heftig über die Art und Weise der Bewältigung der Sturmschäden diskutiert. Je nach Betroffenheit und eigenen Zielvorstellungen gingen die Ansichten von Forstleuten, Waldbesitzern, Forstunternehmern, Bergbewohnern, Tourismus-Verantwortlichen, Naturschutz-, Jagd- und Behördenvertretern weit auseinander. Die Argumente waren vor allem durch das aktuelle Spannungsfeld zwischen Waldwirtschaft und Naturschutz geprägt. Vertreter auf der einen Seite des Meinungsspektrums setzten eher auf technische Lösungen; ihrer Einstellung nach sollten alle Schadenflächen geräumt und bepflanzt werden, damit so schnell wie möglich wieder Gebirgswald nachwächst, welcher die an ihn gesetzten Erwartungen erfüllt. Andere argumentierten eher aufgrund idealistischer Vorstellungen über die Selbstregulierungskräfte der Natur; sie befürworteten eine möglichst natürliche Wiederbewaldung durch Naturverjüngung, die sich auch ohne Räumung und Pflanzung kostenlos einstellt, was sich positiv auf die Erfüllung der Waldfunktionen auswirkt.

Einig war man sich weitgehend darin, dass die Windwürfe auch als Chance genutzt werden sollten, langfristig möglichst stabile Bestandesverhältnisse zu erreichen; dazu sind Geduld und eine gewisse Befreiung von technischen und finanziellen Sachzwängen notwendig.



Abbildung 1. Blick auf die ausgedehnte Sturmschadenfläche Uaul Cavorgia bei Disentis (Luftaufnahme). Die Versuchsfläche befindet sich in der Mitte des Bildes oberhalb des Weges (Oktober 1990).

Viele offene Fragen

Zur Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen liegt eine Reihe von Einzelerkenntnissen und waldbaulichen Erfahrungen vor (siehe Abschnitt 2). Langfristig ausgerichtete Untersuchungen mit ganzheitlicher Betrachtungsweise existieren zu dieser Thematik weltweit nur sehr wenige, im gesamten Alpenraum überhaupt keine. Im Gebirgswald stellt sich daher die zentrale Frage, in welcher Art sich Sturmschadenflächen ohne Eingriffe entwickeln und wie sich diese später von geräumten und bepflanzten Flächen unterscheiden.

Ein wichtiger Fragenkomplex betrifft Aspekte der Sicherheits- bzw. Risikoentwicklung auf den zum Teil an sehr steilen Hängen gelegenen Sturmschadenflächen: Treten zum Beispiel Lawinen, Oberflächenerosion, Rutschungen und Steinschlag in einer geräumten Fläche häufiger auf als in einer vergleichbaren nichtgeräumten Fläche? Wie sind diese Risiken Jahrzehnte später einzuschätzen, wenn das Holz verrottet ist? Wie schnell entwickeln sich Borkenkäferpopulationen sowie deren Antagonisten in den liegenden und gebrochenen Stämmen und Ästen? Muss diesbezüglich mit einer Gefahr für die umliegenden Bestände gerechnet werden, oder trocknet das geschädigte Holz rechtzeitig aus, so dass gar keine Massenvermehrung von Borkenkäfern entstehen kann?

Auch die Entwicklung des Bodens, des Mikroklimas, der Pflanzengesellschaften und der Naturverjüngung dürfte auf geräumten und ungeräumten Flächen teilweise unterschiedlich verlaufen. Die Kenntnisse über die Veränderungen und Entwicklungen unter den besonderen Bedingungen auf Sturmschadenflächen im Gebirgswald sind noch sehr lückenhaft.

Aus waldbaulicher Sicht stellen sich vor allem Fragen bezüglich des Vergleiches von natürlich verjüngten und bepflanzten Flächen: Verhält sich das Wild anders? Welche Rolle spielen Samenangebot, Vegetationskonkurrenz und Moderholz für die Verjüngung? Inwiefern unterscheiden sich Struktur, Stabilität, Naturnähe und Schutzfähigkeit der heranwachsenden Bestände?

Projektidee und Projektziele

Die Vielzahl der offenen Fragen führte zu der Idee, langfristig ausgerichtete Untersuchungen auf möglichst grossen und plakativ wirkenden Versuchs- und Beobachtungsflächen (Fallbeispiele) durchzuführen. Die Schweizerische Gebirgswaldflegegruppe hatte bereits am 10. März 1990 in einer Pressemitteilung auf die Wünschbarkeit derartiger Versuchsflächen hingewiesen (98, 107).

Hauptziel der Untersuchungen ist die vergleichende Beschreibung der langfristigen Entwicklung von Teilflächen mit unterschiedlichen Räumungs-

und verschiedenen Wiederbewaldungsvarianten bei ganzheitlicher Betrachtungsweise. Einzelne Zusammenhänge und Abläufe sollen zudem in eigenständigen Forschungsprojekten mit vertiefenden Fragestellungen und mit grösserer zeitlicher und räumlicher Auflösung untersucht werden.

Als Fernziel wird die Erstellung einer ökonomischen und ökologischen Bilanz der verschiedenen Wiederbewaldungsvarianten sowie die Ableitung waldbaulicher Empfehlungen für die Bewältigung zukünftiger Sturmschadenereignisse angestrebt.

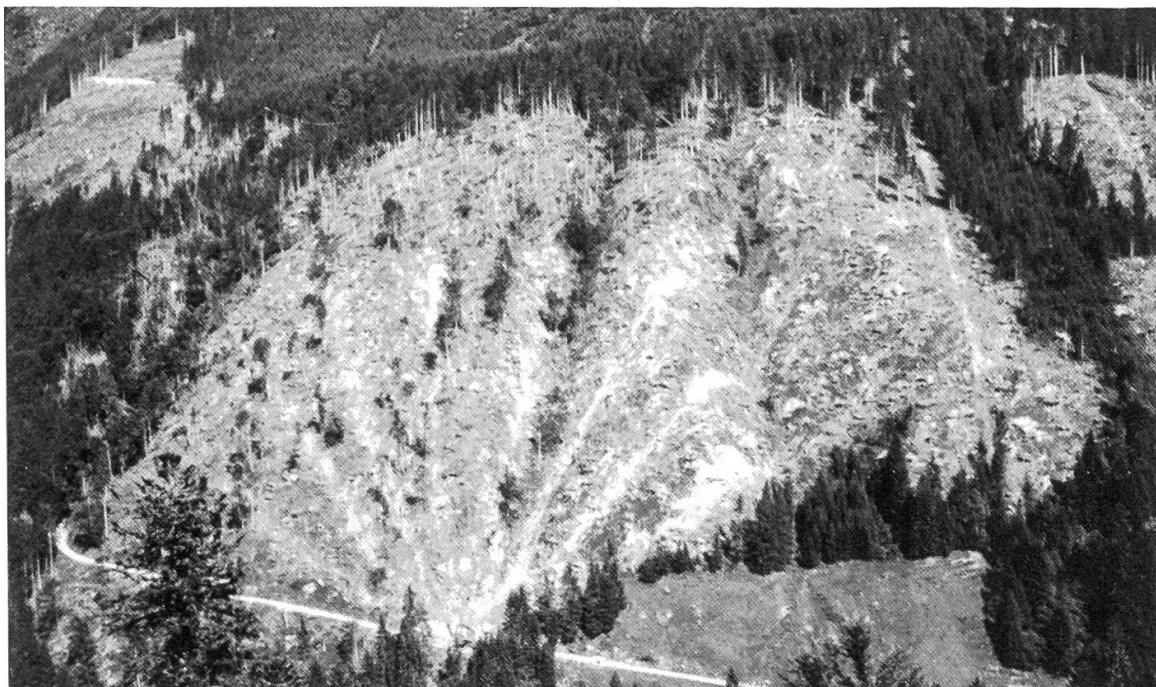


Abbildung 2. Versuchsfläche im Niderental bei Schwanden (GL). Im obersten Flächenteil bleibt das Sturmholz liegen. Das mittlere Drittel ist als Variante mit Räumung und Naturverjüngung, das unterste Drittel als Variante mit Räumung und Bepflanzung vorgesehen (19. August 1991).

Versuchsflächen und Versuchsanordnung

In Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Forstleuten und Waldbesitzern und mit Unterstützung durch die Eidgenössische Forstdirektion und die kantonalen Forstdienste gelang es in der Folge, an vier Orten entsprechende Versuchsflächen vertraglich zu sichern und einzurichten (*Tabelle 1*).

In *Abbildung 3* werden die drei verschiedenen Räumungs- und Wiederbewaldungsvarianten, die auf den Teilflächen der Versuchsflächen Pfäfers (SG), Disentis (GR) und Schwanden (GL) angelegt werden, beispielhaft erläutert. Die Versuchsfläche in Zweisimmen (BE) wurde aufgrund ihrer grossen Standortvielfalt nicht unterteilt; dort wurde auf der gesamten Fläche das Sturmholz belassen.

Tabelle 1. Beschreibung der Versuchsflächen.

	<i>Pfäfers (SG)</i>	<i>Disentis (GR)</i>	<i>Schwanden (GL)</i>	<i>Zweisimmen (BE)</i>
Lokalname	Bläserberg (Taminatal)	Uaul Cavorgia-Funtauna	Nüehüttenwald (Niderental)	Grubewald
Eigentümer	Kanton St. Gallen	Gem. Disentis	Gem. Schwanden	Kanton Bern
Flächengrösse	3 ha	6 ha	7 ha	4 ha
Höhenlage (m ü. M.)	1430–1500	1400–1550	900–1100	1440–1560
Exposition	WNW	NW	W	NW
Hangneigung	30–45°	30–45°	20–35°	15–30°
Geologie	Bündnerschiefer (Flysch)	Gneis	Verrucano	Kalkbreccie
Waldgesellschaft	Abieti-Fagetum	Piceetum (Abietetum)	Abieti-Fagetum (Fagetum)	Dryopterido-Abietetum

Die Teilflächen 2 werden nach der Holzernte nicht speziell geräumt; die Teilflächen 3 werden hingegen soweit geräumt, wie es für die vorgesehene Bepflanzung notwendig ist. Die Pflanzungen in den Teilflächen 3 werden in Zusammenarbeit mit den lokalen Forstdiensten geplant und durchgeführt. Es wird eine Mischung aus standortgemässen Baumarten verwendet. In Disentis und Pfäfers werden die Pflanzen in rotenartiger Anordnung gesetzt. In Schwanden ist zunächst eine Vorbaupflanzung mit Pionierbaumarten vorgesehen; zu einem späteren Zeitpunkt werden unter dem Schirm des Vorbaus die licht- und frostempfindlicheren Schlusswaldbaumarten eingebracht.

Es wurde bewusst darauf verzichtet, mehr als drei Varianten zu bilden. Die verhältnismässig einfache Versuchsanlage lässt erwarten, dass die Unterschiede in der Entwicklung der Teilflächen bereits nach einigen Jahren, aber auch noch nach Jahrzehnten vom Gegenhang aus deutlich sichtbar sind und selbst ohne Zahlenmaterial gutachtlich beurteilt werden können.

Das «Rahmenprojekt»

Die Sicherung und Einrichtung der Versuchsflächen, die Dokumentation der Zustände und langfristigen Veränderungen, die Koordination sowie die Synthese der Forschungsergebnisse aller Projekte obliegt dem Rahmenprojekt «Entwicklung von Sturmschadenflächen im Gebirgswald mit und ohne Räumungs- und Wiederbewaldungsmassnahmen». Projektpartner sind neben der WSL die Forstdienste der Standortkantone sowie die Eidg. Forstdirektion. Die kantonalen Forstdienste sorgten für die vertragliche und finanzielle

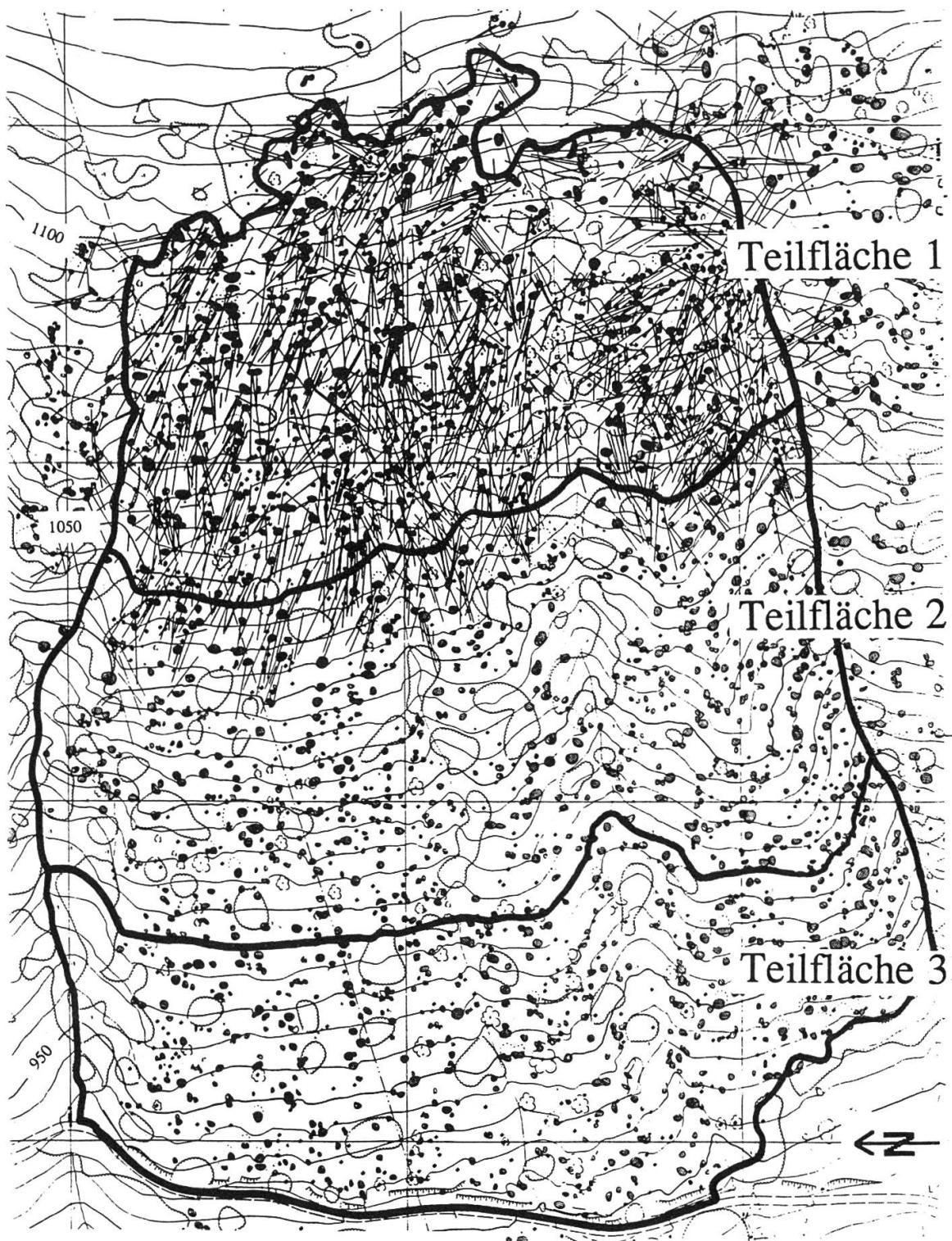


Abbildung 3. Karte der Versuchsfläche Schwanden (GL) mit eingezeichneten Räumungs- und Wiederbewaldungsvarianten:
Teilfläche 1: Keine Holzernte, nur natürliche Verjüngung
Teilfläche 2: Holzernte, nur natürliche Verjüngung
Teilfläche 3: Holzernte und Bepflanzung

Sicherstellung der Versuchsflächen. Die Forstdirektion entschädigte die Waldbesitzer für den entgangenen Erlös beim Verzicht auf die Holzernte und unterstützt das Rahmenprojekt finanziell. Die WSL wird die Versuchsflächen wissenschaftlich betreuen und die langfristige Beobachtung sicherstellen. Spezifische Forschungsfragen verschiedener Disziplinen werden in eigenständigen Einzelprojekten bearbeitet.

Für jede Versuchsfläche wird eine Dokumentation der Ausgangslage erstellt. Diese umfasst terrestrische Fotos (*Abbildung 2*), detaillierte Luftbilder mit entsprechenden photogrammetrischen Kartengrundlagen (*Abbildung 3*) sowie Beschreibungen und Erhebungen der Situation nach dem Sturmereignis. Die standörtlichen Grundlagen (Böden, Pflanzensoziologie) werden im Detail erfasst bzw. den vorhandenen Daten-, Karten- und Planungsunterlagen entnommen. Die Bestandesgeschichte und der Zustand der Waldbestände vor dem Sturmereignis werden dokumentiert. Naturereignisse und ihre Auswirkungen, zum Beispiel Starkniederschläge, Lawinen, Rutschungen, Steinschlag und Oberflächenerosion grösseren Umfangs werden als Beobachtungen registriert, kartiert und interpretiert.

Flächenhafte Veränderungen und Entwicklungen, zum Beispiel der Bodenvegetation, der Naturverjüngung, der Böden, der Borkenkäferschäden und des Holzabbaus, werden mittels Luftbildern, einer detaillierten Fotodokumentation sowie weiteren flächigen Aufnahmen und Beschreibungen festgehalten, sofern sie nicht in vertiefenden Einzelprojekten untersucht werden. Natürliche Verjüngung und Pflanzungen werden nach Baumart, Zustand und Wachstum zunächst jährlich, später in grösseren Abständen auf permanenten Probekreisen eines Stichprobennetzes erfasst.

Die Einzelprojekte

Detaillierte Forschungsfragen werden in den unten aufgeführten vertiefenden Einzelprojekten von Forschungsgruppen der WSL bearbeitet. Manche haben bereits begonnen, andere sind noch in der Ausarbeitung:

Themenkreis Sicherheit und Risiko

Werner Frey, Sektion Schneedecke und Vegetation/Wald:

Auswirkungen der unterschiedlichen Räumungs- und Wiederbewaldungsvarianten auf Schneeverhältnisse und Lawinen.

Beat Forster, Phytosanitärer Beobachtungs- und Meldedienst (PBMD):

Überwachung der Borkenkäfersituation.

Werner Gerber, Verbauwesen:

Auswirkungen der unterschiedlichen Räumungs- und Wiederbewaldungsvarianten auf Erosion und Steinschlag.

*Hans Keller, Quantitative Hydrologie:
Entwicklung von Bodenwasser und Oberflächenerosion.*

Themenkreis Entwicklung und Sukzession

*Beat Wermelinger und Peter Duelli, Entomologie und Fauna:
Entwicklung der Insektenfauna.*

*Simon Egli, Mykorrhiza:
Entwicklung des Mykorrhiza-Infektionspotentials.*

*Ursula Heiniger, Phytopathologie:
Sukzession holzabbauender Pilze auf Moderholz.*

*Johann v. Hirschheydt, Dauerbeobachtung und Waldreservate:
Die Nutzung der verschiedenen Wiederbewaldungsvarianten durch Klein-
vögel während der Herbstzugzeit.*

*Peter Lüscher und Thomas Wohlgemuth, Forstliche Bodenkunde und Vegeta-
tionskunde:*

Standortskundliche Beobachtungen von Veränderungen und Entwick-
lungen auf Kleinstandorten mit Naturverjüngung.

*Christoph Scheidegger, Rasterelektronenmikroskop:
Entwicklung der Flechtenflora auf Moderholz.*

Themenkreis Waldwachstum und Waldbau

*Otto Bräker, Jahrringanalyse:
Jahrringanalytische Begleituntersuchungen zur Dokumentation der Zu-
wachsverhältnisse der Altbestände.*

*Reinhard Lässig, Waldbau:
Anzahl, Verteilung und Qualität der Samen von Waldbäumen.*

*Ursula Heiniger, Phytopathologie:
Krankheiten von Keimlingen und Jungpflanzen.*

*Oswald Odermatt, Phytosanitärer Beobachtungs- und Meldedienst (PBMD):
Ausmass und Entwicklung der Wildschäden.*

2. Stand der Kenntnisse – eine Literaturübersicht¹

Die Auswirkungen von Sturmereignissen auf Waldbestände wurden in der Literatur bislang vorwiegend aus wirtschaftlicher (75) oder waldwachstums-
kundlicher Sicht (1, 90) geschildert. Betrachtungen ökologischer Gesichts-
punkte traten dabei vielfach in den Hintergrund (84), obwohl sie insbesondere
für die waldbauliche Behandlung sturmgeschädigter Wälder bedeutenden
Informationsgehalt besitzen (59). Der folgende Literaturüberblick befasst sich

¹ Ausgewertet und zusammengefasst von Reinhard Lässig.

im Sinne der oben erwähnten Forschungsprojekte vorwiegend mit den ökologischen Folgen von Wind- bzw. Sturmereignissen. Die Darstellung des Kenntnisstandes über die Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen schliesst die Waldentwicklung auf Bestandesöffnungen jeder Größenordnung mit ein.

Windwurf/-bruch als natürlicher Entwicklungsfaktor

Windeinwirkung auf Bäume ist eine wesentliche Ursache für die Aufrechterhaltung der Vielfältigkeit der natürlichen Waldentwicklung (21, 64). Starke Stürme wie Orkane, Hurrikane oder Tornados geben häufig den Anstoß zur Erneuerung von Waldbeständen (33). Sturmbedingte Bestandesstörungen müssen – über mehrere Jahrhunderte betrachtet – als notwendiger, zum Teil mehrfach wiederkehrender Entwicklungsfaktor angesehen werden (60, 62, 86, 87, 95, 96). Bestimmte aus ökologischer Sicht wünschenswerte Standortsbedingungen werden in der Folge extremer Windeinwirkungen geschaffen bzw. aufrechterhalten. Es zeigt sich, dass Standorts- und Bestandesdynamik sowie eine wechselhafte Umwelt langfristig zur Stabilität eines Ökosystems führen (12, 46, 47). Für die Waldentwicklung sind daher Häufigkeit, Abstand und mittlere Wiederkehrdauer derartiger Störungseignisse von besonderer Bedeutung (15, 69).

Vom Wind geworfene bzw. gebrochene Bäume stellen eine Störung in den jahrzehnte- oder sogar jahrhundertelang gewachsenen Waldstrukturen dar. Sie sind gleichzeitig Ausgangspunkt für die Beschleunigung der natürlichen Sukzession mit dem Ziel der Wiederbewaldung des beeinträchtigten Bestandessteils (85).

Sturmeinwirkung verändert Standortsfaktoren

Die plötzliche sturmbedingte Öffnung des Kronendaches hat eine Veränderung einzelner Standortsfaktoren zur Folge. Licht, Strahlung und Niederschlag erreichen in grösseren Mengen den Waldboden (5, 17, 56), wobei der Unterschied der mikroklimatischen Faktoren zwischen geschlossenem und gestörtem Bestandesteil mit der Grösse der Bestandesöffnung zunimmt (18). Für die Verjüngungsbereitschaft subalpiner Nadelwälder (20, 48, 61, 66, 71) gelten Licht und Wärme oft als limitierende Standortsfaktoren. Wiederkehrende – zumeist durch Windeinwirkung verursachte – Bestandesöffnungen sind daher unbedingte Voraussetzung zur Aufrechterhaltung der natürlichen Bestandesdynamik.

Die veränderten Standortsbedingungen auf Freiflächen und Bestandesöffnungen wirken sich auf die Häufigkeit einzelner Pflanzenarten, auf die Artenzusammensetzung (88, 93, 94) und auf die Wachstumsintensität der

Vegetation aus. Mit zunehmender Grösse einer Bestandesöffnung nimmt die Anzahl der Pionierbaumarten gegenüber den Schlusswaldbaumarten zu (5, 16, 73, 76, 101), was auf die grössere Lichtintensität, den geringeren pH-Wert im Oberboden und die grössere Bodenfeuchtigkeit in Bestandesöffnungen zurückgeführt wird (5). Im Zentrum einer Bestandesöffnung weisen Verjüngungspflanzen daher grösseres Wachstum auf als an deren Rande (25, 65, 78, 92, 102). Die Baumartenzusammensetzung ist nicht nur von der Grösse einer Bestandesöffnung abhängig; sie verändert sich auch mit deren Alter (26, 76, 77, 92).

Vom Sturm verursachte Bodenentwicklung

Umgekippte Wurzelteller verursachen eine grössere morphologische Feinstrukturierung der Bodenoberfläche (31). Damit werden neue Möglichkeiten für eine zunehmende – pflanzliche wie tierische – Artenvielfalt und Individuenzahl geschaffen (79, 105). Durch das Umkippen der Wurzelteller wird der Prozess der kleinflächigen Bodenbildung behindert. Verschiedene Bodenschichten werden miteinander vermischt (19, 81), was unter anderem zur gesteigerten Nährstoffumsetzung (79), Neubelebung des Oberbodens (9) und Freilegung des mineralischen Rohbodens und tiefer gelegener «Samenbanken» führt (18, 34). Das Ausmass der Bodenstörung vergrössert sich mit zunehmender Bodenmächtigkeit und Durchwurzelungstiefe (23). Auch die unterschiedlichen Stadien von der unvollständigen bis zur völligen Entwurzelung haben einen Einfluss auf die Bodenvermischung und die Vielfalt des kleinflächigen Standortmosaiks (6, 7). Die Folge des erhöhten Kleinreliefs und der Bodenvermischung ist eine grössere Standortvielfalt, die sich in Veränderungen des Artenreichtums sowie der Arthäufigkeiten äussert (13, 68).

Die durch die Entwurzelung der Bäume entstehenden Bodenmulden stellen aufgrund häufiger Vernässung und Laubablagerung für die forstliche Verjüngung ungeeignetere Standorte dar als die Kuppen und Oberseiten der umgekippten Wurzelteller (44). Jahrzehnte nach der Entwurzelung lassen sich auf den ehemaligen Erhebungen der nahezu eingeebneten Wurzelteller wesentlich mehr Bäume feststellen als in den ehemaligen Bodenmulden (63).

Das Samenpotential auf Bestandesöffnungen

Die vermehrte Freilegung des mineralischen Rohbodens verbessert die Keimungsbedingungen für die Samen der Pionierpflanzenarten (41, 67, 72). Da diese zum Teil bereits in grossem Umfang im Waldboden vorhanden sind (18, 57), kommt es auf diesen Standorten mit der Zunahme rohbodenbesiedelnder Pflanzenarten zu einer raschen Veränderung der Artenzusam-

mensetzung der Kraut- und Strauchschicht sowie der Naturverjüngung (27, 31). Dabei ist zu berücksichtigen, dass zum Samenpotential auch der nach dem Sturmereignis eintretende Samenfall hinzuzurechnen ist (37, 103), obwohl selbst in grossen Öffnungen etwa 80% der Naturverjüngung aus den vor dem Sturmereignis bereits vorhandenen Samen und Sämlingen hervorgehen (22). Die Anzahl der anfliegenden Samen nimmt grundsätzlich mit zunehmendem Abstand vom nächsten Samenbaum bzw. Bestandesrand ab (38, 39, 55, 97). Dabei weisen die leichteren Samen der Pionierbaumarten wesentlich grössere Flugweiten auf als die in der Regel schwereren der Schlusswaldbaumarten (24, 52, 53). Der Samenverbreitung durch Tiere muss regional eine besondere Bedeutung beigemessen werden (24).

Bedeutung von Moderholz

Die Vielfalt der Kleinstandorte nimmt ausser durch mechanische Bodenveränderungen auch durch das liegende Stamm- und Astholz der vom Wind geworfenen bzw. gebrochenen Bäume zu (54). Das Holz wird mittel- bis langfristig zersetzt und bietet aufgrund seiner Substratvielfalt und des umfangreichen Nischenangebotes Lebensraum für eine Grosszahl hochspezifischer Organismengruppen (3, 49). Ein grösserer Totholzanteil erhöht die biologische Vielfalt und trägt zur Bildung eines natürlichen Gleichgewichtes zwischen «Schädlingen» und «Nützlingen» bei (14). Der überwiegende Teil der forstlichen Biomasse wird wieder in den Nährstoffkreislauf des Waldbestandes zurückgeführt. Nach totalem Holzzerfall kann der Boden jedoch für bestimmte Pflanzenarten unbesiedelbar sein (30). Während dieser Zeit bietet das Moderholz aufgrund der für das Wachstum günstigen mikroklimatischen Verhältnisse und Substrateigenschaften insbesondere der natürlichen Verjüngung der Waldbäume ausgezeichnete Keim- und Aufwuchsbedingungen (14, 29, 81, 91). Der auf gekippten Wurzelstellern und Baumleichen wachsende Jungwuchs ist konkurrierenden Bodenpflanzen weniger stark ausgesetzt (40, 46, 89, 99) und dürfte seltener durch Schneebewegungen geschädigt werden. Zudem weisen liegendes Moderholz und Wurzelstücke eine kürzere Schneebedeckungsdauer als benachbarte Standorte auf, so dass die Vegetationszeit der exponiert wachsenden Naturverjüngungspflanzen etwas länger und die Gefährdung durch Schneeschimmelbefall gering ist (29, 106). Die eher schattigen, kühlen und feuchten Standortsverhältnisse in der Nähe des Moderholzes begünstigen die Keimung der Forstpflanzensamen stärker, als es die Verhältnisse auf licht- und strahlungsintensiven, heissen und oft trockenen moderholzfreien Standorten tun (18).

Moderholz erhält jahrzehntelang in seinen Jahrringen Wachstumsinformationen, die bei rückblickenden Untersuchungen von Waldentwicklungen nützlich sein können. Vergangene Sturmschadenereignisse können mittels

Jahrringdatierung festgestellt und ihr Einfluss auf die Bestandesdynamik untersucht werden (28, 87).

Entwicklung grösserer Sturmschadenflächen

Wissenschaftliche Untersuchungen über die Entwicklung der natürlichen Wiederbewaldung grösserer Sturmschadenflächen sind weltweit nur sehr wenige bekannt. Die Gründe hierfür dürften im zu erwartenden grossen Aufwand derartiger Untersuchungen und in der vordergründigen, wirtschaftlich und technisch ausgerichteten Betrachtungsweise von Sturmschadenereignissen liegen (84).

In der Folge mehrerer grösserer Sturmereignisse wurde 1931/32 in zwei sturmgeschädigten Waldbeständen Mittelschwedens («Fiby» und «Granskär») auf die Nutzung der geworfenen und gebrochenen Bäume verzichtet, und es wurden Versuchsflächen zur langfristigen Untersuchung der Wiederbewaldung angelegt. Auf diesen sollte die Entwicklung der Naturverjüngung und der Bestandesstruktur untersucht und kartographisch festgehalten werden. Bereits zu diesem Zeitpunkt war die Bedeutung liegengelassener Baumleichen als gutes Keimsubstrat und bevorzugter Kleinstandort für Naturverjüngungspflanzen bekannt. Auf der Basis dieser Untersuchungen entwickelte Sernander die «storm-gap theory» (84). Diese beschreibt die Abhängigkeit der Entwicklungsprozesse borealer Nadelwälder von wiederkehrenden sturmbedingten Bestandesstörungen. Diese Theorie wird durch die Ergebnisse neuerer Untersuchungen, die auf den gleichen Versuchsflächen durchgeführt wurden, grundsätzlich bestätigt (45, 46, 58). Die von Sernander angenommene Zersetzungzeit des Moderholzes von 90 Jahren stellte sich allerdings als zu lang heraus (46). Die Versuchsflächen von «Fiby» und «Granskär» gelten heute als die am besten dokumentierten Beispiele natürlicher forstlicher Sukzession in sturmgeschädigten Waldbeständen (46).

1983/84 wurden im Nationalpark Bayerischer Wald durch Sturmeinwirkung über 180 ha Wald zerstört. Auf 94 ha Waldfläche blieb das Holz liegen (11) und wurde insbesondere bezüglich seines Borkenkäferbefalls untersucht (8, 50). Es stellte sich heraus, dass sich zwar eine starke Borkenkäfergradation entwickelte, die sich zum Teil auf angrenzende ungeschädigte Bestandesteile ausdehnte, in diesen aber auf natürliche Weise zum Stillstand kam (32). Die Befallstärke war je nach Hangexposition sehr unterschiedlich und nahm mit zunehmender Meereshöhe ab (50). Auf den ungeräumten Sturmschadenflächen des Nationalparks wird entweder ein mosaikartiges Nebeneinander verschiedener Sukzessionsstadien entstehen (41), oder es werden weiterhin Waldbodenpflanzen dominieren. Aufgrund der bereits vor dem Sturmereignis reichlich vorhandenen Naturverjüngung wird langfristig die erneute Entwicklung eines Fichtenbestandes erwartet. Auf den geräumten Flächenteilen mit

einem hohen Anteil freigelegter Rohböden wird dagegen mit der Ausbildung eines Birken-Vorwaldes gerechnet, der im wesentlichen aus den bereits vor dem Sturmereignis im Boden vorhandenen Samen hervorgeht (31). Diese Prognosen entsprechen jenen aus den östlichen USA (85): während auf ungeräumten Flächen in der Regel sofort die Schlusswaldphase entsteht, wird auf geräumten Flächen mit teilweise vorhandener Naturverjüngung zunächst eine Mischung aus Schlusswald- und Pionierbaumarten erwartet; auf geräumten, verjüngungsfreien Flächen dürfte die Schlusswaldphase jedoch erst nach Durchlaufen einer Pionierwaldphase erreicht werden.

Der aus Stockausschlag hervorgehenden natürlichen Verjüngung wird in sturmgeschädigten Laubmischbeständen in Pennsylvania (USA) neben anderen Möglichkeiten der Wiederbewaldung eine bedeutsame Rolle zugeschrieben (72). Die vegetativen Sprosse weisen in den ersten Jahren schnelleres Wachstum und grössere Widerstandskraft auf als Keimlinge der gleichen Baumart (74).

Von deutlichen Unterschieden in der Baumartenzusammensetzung vor bzw. nach einem Wirbelsturm wird aus Waldgebieten aus Texas (USA) berichtet (35). Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch bei Untersuchungen zur Wiederbewaldung von 14 permanenten Versuchsflächen, die 1938 nach erheblichen, durch einen Hurrikan verursachten Waldschäden in den östlichen USA angelegt wurden (85). Bereits 18 Jahre nach dem Sturmereignis nimmt der anfangs hohe Anteil lichtbedürftiger Baumarten wieder ab. Die Untersuchung der Entwicklung mehrerer Insektenarten auf diesen Flächen ergab, dass Bäume, die durch den Hurrikan entwurzelt wurden, je nach Intensität des Bodenkontakte mehr als zwei Jahre fängisch bleiben können (10). 50 Jahre nach dem Hurrikan ist ein Grossteil der Schlusswaldbaumarten bereits in die herrschende Kronenschicht eingewachsen; diese drängen die Pionierbaumarten immer mehr zurück (33). Die zum Zeitpunkt des Sturmereignisses bereits vorhandene Naturverjüngung spielt bei der Wiederbewaldung der beeinträchtigten Bestände eine herausragende Rolle (87), da sie die kleinstandörtlichen Unterschiede bereits widerspiegelt (99). Untersuchungen in zwei sturmgeschädigten Waldbeständen Minnesotas (USA) ergaben, dass die durch entwurzelte Bäume veränderten Kleinstandorte nicht zwingend mit unterschiedlichen Pflanzenarten besiedelt werden, auf jeden Fall aber in unterschiedlicher Dichte (99). Mit zunehmender Anzahl und Grösse der sturmbedingten Bestandesöffnungen verändert sich die Baumartenzusammensetzung zugunsten der Pionierbaumarten (100, 101).

Hinweise zur waldbaulichen Behandlung von Sturmschadenflächen

Die bisherigen Erkenntnisse der forstlichen Sukzessionsforschung zeigen, dass die natürliche Wiederbewaldung je nach Art des Sturmereignisses sowie der Bestandesverhältnisse gewissen Gesetzmässigkeiten unterliegt. Zur Verkürzung dieser oft sehr langwierigen Entwicklung und zur Begründung «anspruchsvoller» Waldbauformen wird neben der Saat und Pflanzung der gewünschten Endbestandsbaumarten (82) vermehrt die Begründung von Vorwäldern aus standortangepassten Pionierbaumarten empfohlen (2, 43, 83). Im Gebirgswald kommt der Ungleichaltrigkeit und Naturnähe der zukünftigen Bestände eine besondere Bedeutung zu (107). Oberhalb von 1300 m ü. M. wird daher Zurückhaltung beim Aufräumen und Auspflanzen der Schadenflächen empfohlen, um der natürlichen Ansamung der Bäume, die im Gebirgswald häufig auf Totholz angewiesen ist, eine Chance zu geben (14, 98). Die Begründung und Erziehung von Mischbeständen (104), die frühzeitige Förderung der Vitalität und Stabilität des Einzelbaumes (1) und eine auf Bestandessicherheit gegenüber Sturmeinfluss ausgerichtete waldbauliche Bestandesbehandlung (80) werden empfohlen.

Aktueller Forschungsbedarf

Die LiteratURAUSWERTUNG zeigt, dass es zu einzelnen Fragestellungen der Wiederbewaldung von Bestandesöffnungen und Sturmschadenflächen eine Vielzahl von Untersuchungen gibt. Die Kenntnisse über die ganzheitlichen Auswirkungen und Entwicklungen nach grösseren Sturmereignissen sind noch gering, so dass die zukünftigen Entwicklungsmuster der Wiederbewaldung schwer abschätzbar sind (4) und einer weiteren Untersuchung bedürfen. Dies gilt insbesondere für die Gebirgwälder der subalpinen Höhenstufe, deren Entwicklungsmöglichkeiten aufgrund der speziellen standörtlichen Aspekte mit zunehmender Meereshöhe immer mehr eingeschränkt werden (70). Aber auch über die mittel- bis langfristigen Auswirkungen grösserer Sturmereignisse auf die Erfüllung der Schutzfunktion von Gebirgwäldern liegen nur sehr wenige Untersuchungen vor.

Zur Erreichung eines umfassenderen forstökologischen Verständnisses werden daher umfangreiche und ganzheitliche Untersuchungen über alle Grössenklassen der Bäume in- und ausserhalb natürlicher Bestandesöffnungen für dringend erforderlich gehalten (22). Zur Schliessung dieser wesentlichen ökologischen Kenntnislücken wurde 1982 im Bayerischen Wald (11), 1990 in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz (42), in Niederösterreich (36) sowie in der Schweiz (51; siehe Abschnitt 1) mit langfristig ausgerichteten Untersuchungen zur Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen begonnen.

Résumé

Projets de recherche sur le reboisement des surfaces ravagées par les tempêtes

Les tempêtes ayant sévi en Suisse entre le 26 et le 28 février 1990 ont causé de graves dégâts notamment dans les forêts de montagne. Les opinions émises sur la manière de reboiser les surfaces cyclonées présentaient toute une gamme de solutions allant des techniques traditionnelles – déblayage immédiat et reboisement – aux idées moins conventionnalistes qui laissent le pouvoir autorégulateur de la nature s'exercer sur les chablis jonchant le sol.

La Direction fédérale des forêts, les cantons les plus fortement touchés par les tempêtes, soit St-Gall, Grisons, Glaris et Berne, et quelques propriétaires forestiers collaborent avec l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP), Birmensdorf, afin de développer des projets traitant ce thème. Les recherches se poursuivent sur quatre grandes surfaces cyclonées situées à Pfäfers SG, Schwanden GL, Disentis GR et Zweisimmen BE. Une étude comparative est également réalisée par le projet-cadre interdisciplinaire «Entwicklung von Sturmschadenflächen im Gebirgswald mit und ohne Räumungs- und Wiederbewaldungsmassnahmen». Ce projet, conçu dans une structure d'idée globalisante, observe l'évolution à long terme de surfaces cyclonées en forêt de montagne. Il examine aussi les risques et conséquences de telle ou telle mesure comme le déblayage, l'absence de déblayage, le reboisement naturel et le reboisement artificiel. De plus, une série de projets séparés analyse à la loupe les processus et interactions s'exerçant à une plus grande échelle spatio-temporelle.

Un résumé de la littérature traitant le sujet fait le point des connaissances acquises sur les effets que les tempêtes produisent dans la forêt et dans leurs reboisements. L'Amérique du Nord et la Suède sont les seuls pays où les surfaces cyclonées sont analysées dans leur globalité durant une longue période. L'espace des Alpes ne possède pas encore d'étude à ce sujet. Notons toutefois qu'une série d'analyses très spécifiques a été réalisée dans le cadre d'une recherche en matière de succession des communautés végétales. Les articles contenus dans ce travail fournissent de précieux renseignements pratiques tant sur la création de forêts proches du naturel que sur la formation de peuplements mixtes. Cela n'empêche pas que la recherche sur le développement des reboisements de surfaces cyclonées a encore beaucoup à découvrir dans les montagnes de l'Europe centrale.

Traduction: *Monique Dousse*

Literatur

- (1) *Abetz, P.* (1991): Sturmschäden aus waldwachstumskundlicher Sicht. *Allg. Forstz.* (Münch.) 46 (12): 626–629.
- (2) *Ainerdinger, H.* (1991): Vorwald auf Sturmwurfflächen. *Allg. Forstz.* (Münch.) 46 (24): 1264–1265.
- (3) *Albrecht, L.* (1991): Die Bedeutung des toten Holzes im Wald. *Forstwiss. Centr.bl.* 110: 106–113.
- (4) *Allen, R. B., Wardle, J. A.* (1985): Role of Disturbance in New Zealand Montane and Subalpine Forests. In: *Establishment and Tending of Subalpine Forest: Research and Management* [Eds.: *Turner, H., Tranquillini, W.*] *Eidg. Anst. forstl. Vers.wes., Ber.* (270): 151–157.

- (5) *Armesto, J. J., Fuentes, E. R.* (1988): Tree Species Regeneration in a Mid-elevation, Temperate Rain Forest in Isla de Chiloé, Chile. *Vegetatio* 74: 151–159.
- (6) *Arriaga, L.* (1988): Gap Dynamics of a Tropical Cloud Forest in Northeastern Mexico. *Biotropica* 20 (3): 178–184.
- (7) *Beatty, S. W., Stone, E. L.* (1986): The Variety of Soil Microsites Created by Tree Falls. *Can. J. For. Res.* 16: 539–548.
- (8) *Beirat Nationalpark Bayerischer Wald* (1989): Die Borkenkäferentwicklung seit dem Windwurf 1983 bis heute. (unveröff. Manuskript): 12 S.
- (9) *Beke, G. J., McKeague, J. A.* (1984): Influence of Tree Windthrow on the Properties and Classification of Selected Forested Soils from Nova Scotia. *Can. J. Soil Sci.* 64: 195–207.
- (10) *Bess, H. A.* (1944): Insect Attack and Damage to White-Pine Timber after 1938 Hurricane in New England. *J. For.* 42: 14–16.
- (11) *Bibelriether, H.* (1989): Windwürfe und Borkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald. *Nationalpark* 6: 24–27.
- (12) *Botkin, D. B.* (1980): A Grandfather Clock Down the Staircase: Stability and Disturbance in Natural Ecosystems. In: *Forests, Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis* [Ed.: Waring, R. H.], Oregon State Univ. Press, Corvallis: 1–10.
- (13) *Brewer, R., Merrit, P. G.* (1978): Wind Throw and Tree Replacement in A Climax Beech-Maple Forest. *Oikos* 30: 149–152.
- (14) *Broggi, M. F.* (1990): Wald, Sturm, Aufrüsten und Borkenkäfer – Gedanken hierzu einige Zeit danach. *Schweiz. Z. Forstwes.* 141 (12): 1037–1044.
- (15) *Brokaw, N. V. L.* (1982): The Definition of Treefall Gap and Its Effect on Measures of Forest Dynamics. *Biotropica* 14 (2): 158–160.
- (16) *Brokaw, N. V. L.* (1983): Treefalls: Frequency, Timing, and Consequences. In: *The Ecology of a Tropical Forest*. [Eds.: Leigh, E. G., Rand, A. S., Windsor, D. M.], Oxford Univ. Press, Oxford: 101–108.
- (17) *Brokaw, N. V. L.* (1985): Gap-phase Regeneration in a Tropical Forest. *Ecology* 66 (3): 682–687.
- (18) *Brokaw, N. V. L.* (1985): Treefalls, Regrowth, and Community Structure in Tropical Forests. In: *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics* [Eds.: Pickett, S. T. A., White, P. S.], Academic Press, Inc. Orlando: 53–69.
- (19) *Brown, J. L.* (1977): Etude de la Perturbation des Horizons du Sol par un Arbre qui se Renverse et de Son Impact Sur la Pedogenese. *Can. J. Soil Sci.* 57: 173–186.
- (20) *Burschel, P., El Kateb, H., Huss, J., Mosandl, R.* (1985): Die Verjüngung im Bergmischwald. *Forstwiss. Centr.bl.* 104 (2): 65–100.
- (21) *Canham, C. D., Louks, O. L.* (1984): Catastrophic Windthrow in the Presettlement Forests of Wisconsin. *Ecology* 65 (3): 803–809.
- (22) *Connell, J. H.* (1989): Some Processes Affecting the Species Composition in Forest Gaps. *Ecology* 70 (3): 560–562.
- (23) *Cremans, D. W., Kalisz, P. J.* (1988): Distribution and Characteristics of Windthrow Microtopography on the Cumberland Plateau of Kentucky. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 (3): 816–821.
- (24) *Denslow, J. S., Gomez Diaz, A. E.* (1990): Seed Rain to Tree-fall Gaps in a Neotropical Rain Forest. *Can. J. For. Res.* 20 (4): 642–648.
- (25) *Denslow, J. S., Schultz, J. C., Vitousek, P. M., Strain, B. R.* (1990): Growth Responses of Tropical Shrubs to Treefall Gap Environments. *Ecology* 71 (1): 165–179.
- (26) *Donelly, G. T.* (1986): Forest Composition as Determined by Canopy Gap Dynamics: A Beech-Maple Forest in Michigan. Dissertation Michigan State Univ.: 114 S.
- (27) *Dunn, C. P., Guntenspergen, G. R., Dorney, J. R.* (1983): Catastrophic Wind Disturbance in an Old-growth Hemlock-hardwood Forest, Wisconsin. *Can. J. Bot.* 61: 211–217.
- (28) *Dynesius, M., Jonsson, B. G.* (1991): Dating Uprooted Trees: Comparison and Application of Eight Methods in a Boreal Forest. *Can. J. For. Res.* 21: 655–665.
- (29) *Eichrodt, R.* (1970): Über die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung im subalpinen Fichtenwald. *Beih. Z. Schweiz. Forstver.* (45): 122 S.
- (30) *Faliński, J. B.* (1976): Windwürfe als Faktor der Differenzierung und der Veränderung des Urwaldbiotopes im Licht der Forschungen auf Dauerflächen. *Phytocoenosis* 5 (2): 85–106.
- (31) *Fischer, A., Abs, G., Lenz, F.* (1990): Natürliche Entwicklung von Waldbeständen nach Windwurf – Ansätze einer «Urwaldforschung» in der Bundesrepublik. *Forstwiss. Centr.bl.* 109: 309–326.

- (32) *Forster, B.* (1990): Windwürfe und Borkenkäfer im Bayerischen Wald. *Wald Holz* (10): 893–895.
- (33) *Foster, D. R.* (1988): Disturbance History, Community Organization and Vegetation Dynamics of the Old-growth Pisgah Forest, South-Western New Hampshire, U.S.A. *J. Ecol.* 76: (1): 105–134.
- (34) *Foster, D. R.* (1988): Species and Stand Response to Catastrophic Wind in Central New England, U.S.A. *J. Ecol.* 76: 135–151.
- (35) *Glitzenstein, J. S., Harcombe, P. A.* (1988): Effects of the December 1983 Tornado on Forest Vegetation of the Big Thicket, Southeast Texas, U.S.A. *For. Ecol. Managem.* 25: 269–290.
- (36) *Gossow, H.* (1992): Totholz für die Forschung: Windwurfökologie interdisziplinär. *Österr. Forstztg.* 103 (4): 17–19.
- (37) *Hartshorn, G. S.* (1978): Tree Falls and Tropical Forest Dynamics. In: *Tropical Trees as Living Systems* [Eds.: Tomlinson, P. B., Zimmermann, M. H.]. Proceed. 4th Cabot. Symp. Harvard Forest 1976, Cambridge Univ. Press, England: 617–638.
- (38) *Hesselman, H.* (1934): Nagra studier over fröspredningen hos gran och tall och kahhyggets besänning (Einige Beobachtungen über die Beziehung zwischen der Samenproduktion von Fichte und Kiefer und der Besamung der Kahlhiebe, dt. Zus.fass.). *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* (27): 145–182.
- (39) *Hesselman, H.* (1939): Forsatta studier över tallens och granens fröspredning samt kahhyggets besänning (Weitere Studien über die Beziehung zwischen der Samenproduktion der Kiefer und Fichte und der Besamung der Kahlhiebe, dt. Zus.fass.). *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* (31): 1–64.
- (40) *Hillgarter, F.-W.* (1971): Waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenwald Scatlé/Brigels. *Beih. Z. Schweiz. Forstver.* (48): 80 S.
- (41) *Homann, M., Engels, F.* (1991): Was kommt nach dem Sturm? *Allg. Forstz.* (Münch.) 46 (12): 630–633.
- (42) *Huss, J.* (1990): Forschungsvorhaben «Sukzession und Walderneuerung mit Hilfe von Vorwäldern auf Sturmschadenflächen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz» (unveröff. Manuskript): 8 S.
- (43) *Huss, J.* (1991): Konzeptionen zur Wiederbewaldung von Sturmschadensflächen. *Allg. Forstz.* (Münch.) 46 (1): 25–30.
- (44) *Hutnik, R. J.* (1952): Reproduction on Windfalls in a Northern Hardwood Stand. *J. For.* 50: 693–694.
- (45) *Hytteborn, H., Packham, J. R.* (1985): Left to Nature: Forest Structure and Regeneration in Fiby Urskog, Central Sweden. *Arboricultural J.* 9: 1–11.
- (46) *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. *Arboricultural J.* 11: 299–311.
- (47) *Hytteborn, H., Packham, J. R., Verwijst, T.* (1987): Tree Population Dynamics, Stand Structure and Species Composition in the Montane Virgin Forest of Vallibäcken, Northern Sweden. *Vegetatio* 72: 3–19.
- (48) *Imbeck, H., Ott, E.* (1987): Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneearlagerung und der Lawinenbildung. *Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- Lawinenforsch.* 42: 202 S.
- (49) *Käärik, A. A.* (1974): Decomposition of Wood. In: *Biology of Plant Litter Decomposition* [Eds.: Dickinson, C. H., Pugh, G. J. F.]. Academic Press, London: 129–174.
- (50) *Karl, E.* (1986): Der Borkenkäferbefall in Sturmwürfen des Nationalparks Bayerischer Wald. *Dipl.-Arb. FH Weihenstephan*: 68 S.
- (51) *Kasper, H., Schönenberger, W.* (1991): Der Sturm als Chance. *Wald Holz* (5): 30–31.
- (52) *Kenk, G., Menges, U., Bürger, R.* (1991): Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen? *Allg. Forstz.* (Münch.) 46 (2): 96–100.
- (53) *Kohlermann, L.* (1950): Untersuchungen über die Windverbreitung der Früchte und Samen mitteleuropäischer Waldbäume. *Forstwiss. Centr.bl.* 69: 606–624.
- (54) *Koop, H.* (1981): Waldverjüngung, Sukzessionsmosaik und kleinstandörtliche Differenzierung infolge spontaner Waldentwicklung. In: *Struktur und Dynamik von Wäldern* [Ed.: Dierschke, H.]. *Ber. Intern. Symposien d. Intern. Vereinigung f. Veg.kd.*: 261–273.
- (55) *Kuoch, R.* (1965): Der Samenanfall 1962/63 an der oberen Fichtenwaldgrenze im Sertigtal. *Eidg. Anst. forstl. Vers.wes., Mitt.* 41 (3): 61–85.

- (56) *Lawton, R. O.* (1990): Canopy Gaps and Light Penetration into a Wind-exposed Tropical Lower Montane Rain Forest. *Can. J. For. Res.* 20 (4): 659–667.
- (57) *Lawton, R. O., Putz, F. E.* (1988): Natural Disturbance and Gap-phase Regeneration in a Wind-exposed Tropical Cloud Forest. *Ecology* 69 (3): 764–777.
- (58) *Leemans, R.* (1991): Canopy Gaps and Establishment Patterns of Spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in Two Old-growth Coniferous Forests in Central Sweden. *Vegetatio* 93: 157–165.
- (59) *Lorimer, C. G.* (1989): Relative Effects of Small and Large Disturbances on Temperate Hardwood Forest Structure. *Ecology* 70 (3): 565–567.
- (60) *Löw, H.* (1978): Ökologische Verhältnisse im Nationalpark. *Allg. Forstz. (Münch.)* 33: 283–286.
- (61) *Lüscher, F.* (1990): Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. *Diss. ETH Nr. 8879:* 83 S.
- (62) *Lugo, A. E., Applefield, M., Pool, D. J., McDonald, R. B.* (1983): The Impact of Hurricane David on the Forests of Domenica. *Can. J. For. Res.* 13: 201–211.
- (63) *Lyford, W. H., MacLean, D. W.* (1966): Mound and Pit Microrelief in Relation to Soil Disturbance and Tree Distribution in New Brunswick, Canada. *Harvard For. Paper No. 15:* 18 S.
- (64) *Martínez-Ramos, M., Alvarez-Buylla, E., Sarukhán, J., Piñero, D.* (1988): Treefall Age Determination and Gap Dynamics in a Tropical Forest. *J. Ecol.* 76 (3): 700–716.
- (65) *Minckler, L. S., Woerheide, J. D., Schlesinger, R. C.* (1973): Light, Soil Moisture, and Tree Reproduction in Hardwood Forest Openings. *USDA For. Serv. North Centr. For. Exp. Stat., Res. Pap. NC-89:* 6 S.
- (66) *Mosandl, R.* (1984): Löcherhiebe im Bergmischwald. *Schr.reihe Forstl. Fak. Univ. München und Bayer. Forstl. Vers.anst.* 61: 298 S.
- (67) *Nakashizuka, T.* (1989): Role of Uprooting in Composition of an Old-growth Forest in Japan. *Ecology* 70 (5): 1273–1278.
- (68) *Norton, D. A.* (1989): Tree Windthrow and Forest Soil Turnover. *Can. J. For. Res.* 19: 386–389.
- (69) *Oliver, C. D.* (1980/1981): Forest Development in North America Following Major Disturbances. *For. Ecol. Managem.* 3: 153–168.
- (70) *Ott, E.* (1988): Die Gebirgswaldflege – eine Vielfalt sehr variationsreicher Optimierungsaufgaben. *Schweiz. Z. Forstwes.* 139 (11): 23–36.
- (71) *Ott, E., Lüscher, F., Frehner, M., Brang, P.* (1991): Verjüngungsökologische Besonderheiten im Gebirgsfichtenwald im Vergleich zur Bergwaldstufe. *Schweiz. Z. Forstwes.* 142 (11): 879–904.
- (72) *Peterson, C. J., Pickett, S. T. A.* (1991): Treefall and Resprouting Following Catastrophic Windthrow in an Old-growth Hemlock-hardwoods Forest. *For. Ecol. Managem.* 42: 205–217.
- (73) *Putz, F. E.* (1983): Treefall Pits and Mounds, Buried Seeds, and the Importance of Soil Disturbance to Pioneer Trees on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology* 64 (5): 1069–1074.
- (74) *Putz, F. E., Coley, P. D., Lu, K., Montalvo, A., Ariello, A.* (1983): Uprooting and Snapping of Trees: Structural Determinants and Ecological Consequences. *Can. J. For. Res.* 13: 1011–1020.
- (75) *Rottmann, M.* (1986): Wind- und Sturmschäden im Wald. *J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a/M:* 128 S.
- (76) *Runkle, J. R.* (1982): Patterns of Disturbance in Some Old-growth Mesic Forests of Eastern North America. *Ecology* 63 (5): 1533–1546.
- (77) *Runkle, J. R.* (1990): Gap Dynamics in an Ohio *Acer-Fagus* Forest and Speculations on the Geography of Disturbance. *Can. J. For. Res.* 20 (4): 632–641.
- (78) *Runkle, J. R., Yetter, T. C.* (1987): Treefalls Revisited: Gap Dynamics in the Southern Appalachians. *Ecology* 68 (2): 417–424.
- (79) *Schaetzl, R. J., Burns, S. F., Johnson, D. L., Small, T. W.* (1989): Tree Uprooting. *Vegetatio* 79: 165–176.
- (80) *Schaetzl, R. J., Johnson, D. L., Burns, S. F., Small, T. W.* (1989): Tree Uprooting. Review of Terminology, Process, and Environmental Implications. *Can. J. For. Res.* 19: 1–11.
- (81) *Schenck, E. A.* (1924): Der Waldbau des Urwalds. *Allg. Forst- Jagdztg.* 100 (9): 377–389.
- (82) *Schönenberger, W., Rüsch, W.* (1990): Wiederbewaldung nach Sturmschäden. *Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch., Merkbl. Forstprakt. (17/D):* 6 S.

- (83) *Seitschek, O.* (1991): Waldbauliche Möglichkeiten auf Kahlflächen unter besonderer Berücksichtigung der Vorwaldbaumarten. *Forst Holz* 46 (13): 351–355.
- (84) *Sernander, R.* (1936): Granskär och Fiby urskog (The Primitive Forests of Granskär and Fiby, engl. Zus.fass.). *Acta Phytogeographica Suecia* 8: 232 S.
- (85) *Spurr, S. H.* (1956): Natural Restocking of Forests Following the 1938 Hurricane in Central New England. *Ecology* 37 (3): 443–451.
- (86) *Stephens, E. P.* (1956): The Uprooting of Trees: A Forest Process. *Soil Sci. Soc. Proceed.* 20: 113–116.
- (87) *Stewart, G. H., Rose, A. B., Veblen, T. T.* (1991): Forest Development in Canopy Gaps in Old-growth Beech (*Nothofagus*) Forests, New Zealand. *J. Veg. Sci.* 2: 679–690.
- (88) *Taylor, A. H., Zisheng, Q.* (1988): Tree Replacement Patterns in Subalpine *Abies-Betula* Forests, Wolong Natural Reserve, China. *Vegetatio* 78: 141–149.
- (89) *Trepp, W.* (1955): Subalpiner Fichtenwald. *Beih. Bündnerwald* 5: 27–44.
- (90) *Trimble, G. R., Tryon, E. H.* (1966): Crown Encroachment into Openings Cut in Appalachian Hardwood Stands. *J. For.* 64: 104–108.
- (91) *Triska, F. J., Cromack, K. Jr.* (1980): The Role of Wood Debris in Forests and Streams. In: *Forests, Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis* [Ed.: Waring, R. H.], Oregon State Univ. Press, Corvallis: 171–190.
- (92) *Uhl, C., Clark, K., Dezzeo, N., Maquirino, P.* (1988): Vegetation Dynamics in Amazonian Treefall Gaps. *Ecology* 69 (3): 751–763.
- (93) *Veblen, T. T.* (1986): Treefalls and the Coexistence of Conifers in Subalpine Forests of the Central Rockies. *Ecology* 67 (3): 644–649.
- (94) *Veblen, T. T.* (1989): *Nothofagus* Regeneration in Treefall Gaps in Northern Patagonia. *Can. J. For. Res.* 19: 365–371.
- (95) *Veblen, T. T., Ashton, D. H.* (1978): Catastrophic Influences on the Vegetation of the Valdivian Andes, Chile. *Vegetatio* 36 (3): 149–167.
- (96) *Veblen, T. T., Hadley, K. S., Reid, M. S., Rebertus, A. J.* (1989): Blowdown and Stand Development in a Colorado Subalpine Forest. *Can. J. For. Res.* 19: 1218–1225.
- (97) *Veltsistas, T.* (1980): Untersuchungen über die natürliche Verjüngung im Bergmischwald. Dissertation Univ. München: 180 S.
- (98) *Walcher, J.* (1990): Sturmschäden: Sorge um den Gebirgswald. *Jagd + Hege* (5), 3 (Publikation einer Pressemitteilung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe vom 10. März 1990).
- (99) *Webb, S. L.* (1988): Windstorm Damage and Microsite Colonisation in Two Minnesota Forests. *Can. J. For. Res.* 18: 1186–1195.
- (100) *Webb, S. L.* (1989): Contrasting Windstorm Consequences in Two Forests, Itasca State Park, Minnesota. *Ecology* 70 (4): 1167–1180.
- (101) *Whitmore, T. C.* (1989): Canopy Gaps and the Two Major Groups of Forest Trees. *Ecology* 70 (3): 536–538.
- (102) *Yetter, T. C., Runkle, J. R.* (1986): Height Growth Rates of Canopy Tree Species in Southern Appalachian Gaps. *Castanea* 51 (3): 157–167.
- (103) *Young, K. R., Ewel, J. J., Brown, B. J.* (1987): Seed Dynamics During Forest Succession in Costa Rica. *Vegetatio* 71: 157–173.
- (104) *Zimmermann, H.* (1985): Zur Begründung von Mischbeständen mit Fichte und Buche auf Sturmwurfflächen im öffentlichen Wald Hessens. *Allg. Forstz. (Münch.)* 40: 1326–1330.
- (105) *Zobel, D. B.* (1980): Effect of Forest Floor Disturbance on Seedling Establishment of *Chamaecyparis lawsoniana*. *Can. J. For. Res.* 10: 441–446.
- (106) *Zukrigl, K.* (1963): Zwei Urwaldreservate in den niederösterreichischen Kalkalpen. *Jahrb. d. Ver. zum Schutze der Alpenpflanzen u. -tiere* 28: 65–74.
- (107) *Zuber, R.* (1990): Sturmschäden – waldbauliche Konsequenzen, Empfehlungen der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe. *Bündnerwald* 43 (5): 50–57.

Gedruckt mit Unterstützung der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.

Verfasser: Dr. Walter Schönenberger, Dr. Heinz Kasper, Dr. Reinhard Lässig, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf.