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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 142 (1991)

Heft: 6

Artikel: Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen

Autor: Schmid-Haas, Paul / Bachofen, Hansheinrich

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766480

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: 06.08.2025

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

Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen [1]

Von *Paul Schmid-Haas* und *Hansheinrich Bachofen* FDK: 181.232: 421.1

Einleitung, Problemstellung

Die heftigen Stürme von Ende Februar 1990 haben ausgedehnte Waldpartien in fast allen Landesgegenden der Schweiz zerstört. Die grössten Schäden hat der Wald im Kanton Glarus erlitten. Der Wind warf hier beinahe 5% des gesamten Holzvorrates zu Boden, das sind mehr als fünf durchschnittliche Jahresnutzungen. In den vergangenen Monaten wurde ein grosser Teil des Holzes aufgerüstet und abtransportiert, die Wunden im Wald werden aber nicht so schnell verheilen.

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit folgenden Fragen:

- Warum hat der Wind die einen Bäume gebrochen oder geworfen, andere ebenso exponierte Bäume auf demselben Standort aber nicht?
- Wie wirken sich Baumart, Baumhöhe, Schlankheitsgrad und Kronenlänge auf die Sturmfestigkeit aus?
- Welchen Einfluss haben Stamm- und Wurzelfäule auf die Sturmfestigkeit der Bäume?
- Hat sich die Gefährdung seit der Sturmkatastrophe 1967 verändert?

Die Verteilung der Sturmschäden auf die ganze Waldfläche wird in dieser Arbeit nicht untersucht. Dazu wäre eine spezielle waldbaulich-ertragskundliche und standortskundliche Untersuchung notwendig.

Für die Beurteilung, wie stark gefährdet ein Baum oder ein Bestand ist, sind Streuschäden besser geeignet als Flächenschäden. Bei Flächenschäden reissen die einen Bäume andere mit. Die direkte Ursache für die Schäden ist deshalb oft schwer zu erkennen. Da nach Beobachtungen von *Bosshard* (1967) und *Fritsche* (1933) den Flächenschäden meist Streuschäden vorausgehen, konnte sich diese Untersuchung ohne wesentliche Einbusse an Aussagekraft auf Streuschäden beschränken.

[1] Überarbeitete Fassung eines Referates, gehalten am 4. Februar 1991 im Rahmen der Kolloquien der Abteilung für Forstwirtschaft der ETH Zürich.

Die Aufnahmen

Eine terrestrische Untersuchung der Streuschäden ist sehr zeitraubend; einer Gesamterfassung ist eine Stichprobenerhebung vorzuziehen. In einer streng repräsentativen Strichprobenerhebung wären aber sehr viele Probeflächen zu erfassen, in denen keine Schäden vorkommen. Da ihre Begehung viel Zeit in Anspruch nehmen, aber nur geringe Informationen neu liefern würde, wäre eine derartige Untersuchung sehr ineffizient. Daher hat sich eine Untersuchung mit epidemiologischer Methodik aufgedrängt, bei der nur Schadflächen erfasst wurden.

Die lokalen Forstdienste der Kantone Aargau, Bern, Glarus, Schwyz, St. Gallen, Zug und Zürich haben uns gemeldet, in welchen Gegenden Streuschäden vorhanden sind. Unsere Aufnahmegruppen haben dann 73 Bestände mit Streuschäden aufgesucht (Kartenskizze, *Abbildung 1)*. Dabei wurde jede angetroffene Fläche erfasst, sofern sie eine minimale Anzahl von einzeln geworfenen oder gebrochenen Bäumen aufwies und mindestens teilweise im Bestandesinnern lag. Die Schadflächen sind somit nicht in jeder Beziehung repräsentativ

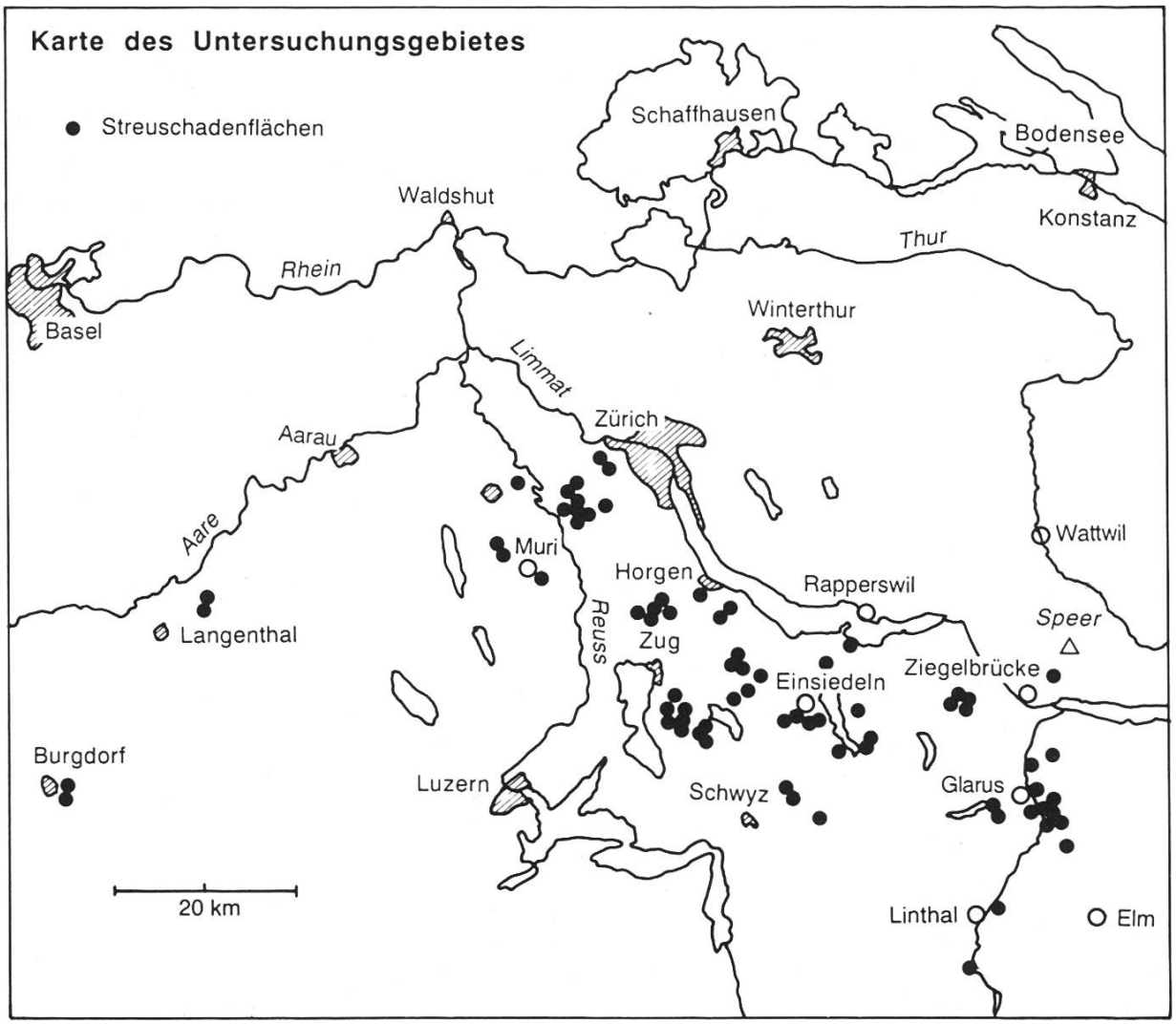

Abbildung 1. Karte des Untersuchungsgebietes.

für den Wald der untersuchten Gebiete; innerhalb der Flächen sind die Verhältnisse aber streng repräsentativ erfasst worden.

Die Bestände wurden nach den Definitionen des Schweizerischen Landesforstinventars *(Zingg,* 1988) charakterisiert durch die Standortsmerkmale Relief, Neigung, Exposition, Höhe über Meer sowie die Bestandesmerkmale Bestandesstruktur, Mischungsgrad, Schlussgrad, Alter und Zeitpunkt der letzten Nutzung. Bestockungsgrad und Baumartenverteilung des bleibenden Bestandes wurden mit Bitterlichproben bestimmt. Dank der geworfenen Bäume waren die Böden in beinahe allen Beständen gut aufgeschlossen und ansprechbar. Vier Kategorien wurden unterschieden.

In jedem Bestand wurden um einen vorgegebenen Ausgangspunkt herum 5 bis 10 geworfene oder gebrochene Bäume erfasst. Bäume, die auf- oder aneinander lagen, wurden nicht aufgenommen, da es sich um Folgeschäden hätte handeln können. Zum Vergleich wurde zu jedem geschädigten Baum der nächste stehengebliebene derselben Art erfasst, so dass gepaarte Stichproben entstanden.

Für alle Bäume wurden Baumart, BHD, Baumhöhe, Kronenansatz sowie allfällige Randeinflüsse bestimmt. Die Nadel-/Blattverluste wurden nicht angesprochen. Sie können am liegenden Baum zwar ähnlich wie am stehenden angesprochen werden *(Schmid-Haas et al.,* 1986), die Werte am stehenden und am liegenden Baum sind aber nicht absolut vergleichbar. Daher muss die Untersuchung eines statistischen Zusammenhangs zwischen Kronenverlichtung und Sturmgefährdung an Objekten vorgenommen werden, in denen vor dem Sturm Kronenverlichtungen terrestrisch geschätzt wurden *(Fischer, Reiter,* 1985) oder wo der Waldschadenindex auf Farbluftbildern bestimmt werden kann *(Lätt,* 1991).

Die geschädigten Bäume wurden zudem auf die Art des Schadens angesprochen *(Bazzigher,* Schmid-Haas, 1969). Dabei wurde zwischen Stammbruch, Wurzelbruch, Stockbruch und Wurf unterschieden *(Abbildung 2).* Die Unterscheidung zwischen Wurzelbruch und eigentlichem Wurf fusst auf der Beobachtung, dass die Bäume häufig nicht mit dem ganzen Wurzelteller aus dem Erdreich gelöst werden, sondern dass Hauptwurzeln auf der dem Wind abgekehrten Seite brechen und ein Teil des Wurzeltellers in der Erde verbleibt. Geschwächte Hauptwurzeln bewirken, dass weniger Haftreibung zu überwinden ist. Ebenso wichtig ist, dass der Baum bei Wurzelbruch nicht um einen Punkt am Ende des Wurzeltellers, sondern um einen nahe beim Stamm gelegenen gedreht wird. Da die Standfestigkeit eines Baumes selbstverständlich von der Grösse seiner Standfläche abhängig ist, wird sie durch geschwächte Hauptwurzeln ganz entscheidend verringert (vgl. auch Fritsche, 1933).

Eine genauere Untersuchung des Wurzeltellers auf Bruchstellen ist notwendig. Diese befinden sich im allgemeinen in dem durch den ausgehobenen Wurzelteller überdachten Teil der Grube. Dort findet man in der Regel gebrochene Haupt- und Nebenwurzeln; zum Teil sind sie allerdings zugeschüttet.

Schematische Darstellung der Schadenarten

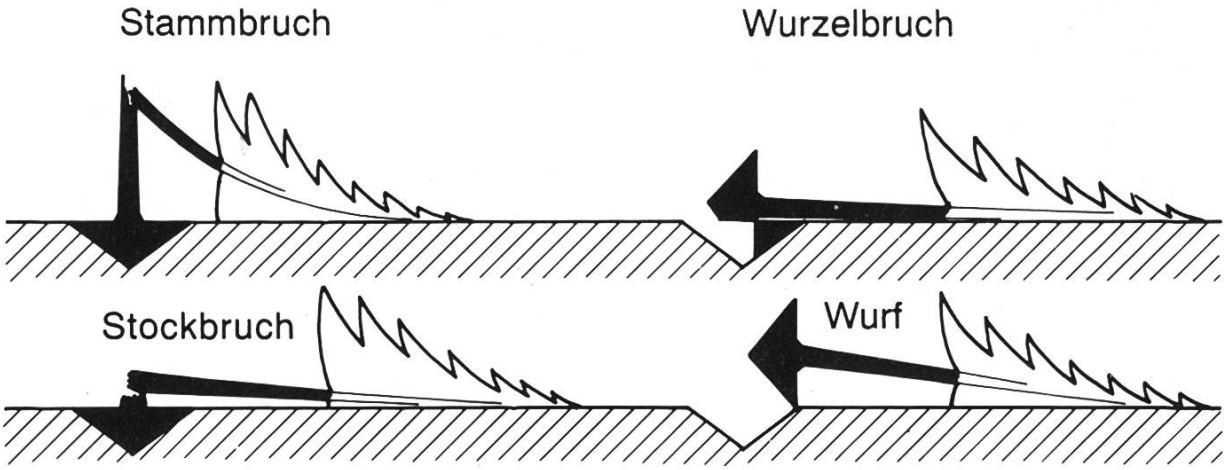

Abbildung 2. Schematische Darstellung der Schadenarten.

Alle sichtbaren Bruchstellen im Wurzelbereich, am Stock oder am Stamm wurden auf Fäulnis angesprochen. Diese Fäulebestimmung ist im Wurzelbereich mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, weil gerade hier die Bruchstellen oft nur schwer oder gar nicht zugänglich sind. Jeder Wurzelteller wurde ausgemessen: neben der Tiefe wurde der Radius von der Stammoberseite des umgestürzten Baumes bis zum höchsten Punkt des Tellers bestimmt.

Die Ernteschnittflächen an den Stöcken der geworfenen Bäume wurden, nachdem das Holz aufgerüstet war, in einer zweiten Aufnahmephase auf Fäule untersucht. Durch Auszählen der Jahrringe konnte gleichzeitig das Bestandesalter ermittelt werden.

Flächendaten (Schadenhäufigkeit)

Treten Streuschäden in älteren Beständen häufiger auf als in jüngeren? Sind «gedrängte» Bestände stärker gefährdet als «räumig/aufgelöste»? Sind Bestände mit einem Nutzungseingriff in den vergangenen vier Jahren stärker von Streuschäden betroffen als solche, in denen der letzte Eingriff mehr als vier Jahre zurückliegt? Lassen sich Gesetzmässigkeiten der Verteilung von Streuschäden auf die verschiedenen Neigungsklassen oder Relieftypen feststellen? Solche und ähnliche Fragen lassen sich beantworten, indem man die Verteilungen der Schadflächen auf die verschiedenen Altersklassen, Schlussgradklassen usw. mit den entsprechenden Verteilungen der Waldfläche im Untersuchungsgebiet vergleicht. Diese Verteilungen der Waldfläche sind aus den Daten des Schweizerischen Landesforstinventars für beliebige Gebiete einfach bestimm-

Tabelle 1. Vergleich der Verteilung der Schadflächen auf die verschiedenen Flächenklassen mit der Verteilung der Waldfläche nach Landesforstinventar.

Flächendaten		*Schadflächen* %	*Waldfläche* %	*Schaden-quotient*
* Neigung	<=20%	52	24	2,2
	21 – 40%	33	25	1,3
	41 – 60%	13	23	0,6
	>60%	2	28	0,1
Relief	Ebene	18	11	1,6
	Hangfuss/Mulde	1	9	0,1
	Mittelhang	64	67	0,9
	Kuppe/Oberhang	14	11	1,3
	unbestimmt	3	2	1,5
Exposition	Nord	4	12	0,3
	Nord-Ost	15	12	1,3
	Ost	8	9	0,9
	Süd-Ost	3	9	0,3
	Süd	8	9	0,9
	Süd-West	9	9	1,0
	West	10	11	0,9
	Nord-West	21	13	1,6
	eben	22	16	1,4
Bonität	<15 m	–	16	0,0
	15 – 18 m	16	17	0,9
	19 – 22 m	41	42	1,0
	>22 m	43	25	1,7
Bestandesstruktur	einschichtig	78	45	1,7
	mehrschichtig/regelmässig	12	45	0,3
	stufig/Rottenstruktur	10	10	1,0
* Alter	<=40 Jahre	1	24	0,1
	41 – 80 Jahre	22	26	0,8
	81 –120 Jahre	55	30	1,8
	121 –160 Jahre	15	13	1,2
	>160 Jahre	7	7	1,0
Mischungsgrad (Nadelholzprozent)	91 –100	71	47	1,5
	51 – 90	15	21	0,7
	11 – 50	3	13	0,2
	0 – 10	11	19	0,6
Schlussgrad	gedrängt	6	36	0,2
	normal/locker	79	40	2,0
	räumig/aufgelöst	7	13	0,5
	gruppiert/Stufenschluss	8	11	0,7
Anzahl Jahre seit letzter Nutzung	0 – 2	27	28	1,0
	3 – 4	13	14	0,9
	5 – 6	15	11	1,4
	>6	45	47	1,0
	Anzahl Flächen	73	537	

* = Signifikanz $P < 0{,}05$

bar. Der Quotient der beiden relativen Häufigkeiten, ein Schadenquotient, ist ein Mass für die Gefährdung in der betreffenden Klasse *(Tabelle 1)*.

Neigung

In den flacheren Gebieten mit <= 20% Neigung ist die relative Häufigkeit der Schadflächen mehr als zweimal so gross, in der Kategorie 21 bis 40% immer noch 1,3mal so gross, wie bei gleichmässiger Verteilung der Schäden über die Waldfläche zu erwarten wäre. Diese hohen relativen Häufigkeiten lassen sich nur zum Teil damit erklären, dass die Aufnahmeflächen nicht streng repräsentativ verteilt waren.

Im übrigen bestätigt das Resultat aber frühere Erfahrungen. *Wangler* (1974) hat in seiner waldbaulichen Auswertung der Sturmkatastrophe 1967 in Südwestdeutschland eine Konzentration der Schäden in ebenen bis schwachgeneigten Gebieten festgestellt, während in steileren Hanglagen die Schäden geringer waren.

Relief

Das Relief des Geländes beeinflusst die Windströmung massgeblich. Man erwartet deshalb auch keine gleichmässige Verteilung der Streuschäden auf alle Relieftypen, sondern eher eine Häufung auf Kuppen und weniger Schäden am Hangfuss und in Mulden. Tatsächlich sind, nach dem Vergleich mit den Daten des Landesforstinventars, am Hangfuss und in Mulden weniger und auf Kuppen mehr Schadflächen gezählt worden, als bei gleichmässiger Verteilung auf alle Relieftypen zu erwarten wäre.

Prien und *Leydolph* (1974) zeigen in einer Untersuchung zu Ursachen und begünstigenden Faktoren für Sturmschäden im Mittelgebirge ebenfalls eine deutliche Abhängigkeit der Schadenanteile von der Hanglage: Unterhang 20% / Mittelhang 38% / Oberhang 42%.

Exposition

Nach den Aufnahmen des Landesforstinventars weist die Waldfläche im betrachteten Gebiet eine recht ausgeglichene Verteilung auf alle Expositionen auf. Das trifft für die Streuschadflächen nur zum Teil zu. Auf den Nordwest- und Nordosthängen ist eine Häufung zu finden, während Nordhänge und Südosthänge etwas weniger getroffen wurden *(Tabelle 1* und *Abbildung 3)*. Der Signifikanztest ergibt allerdings keine gesicherten Unterschiede zwischen den beiden Verteilungen.

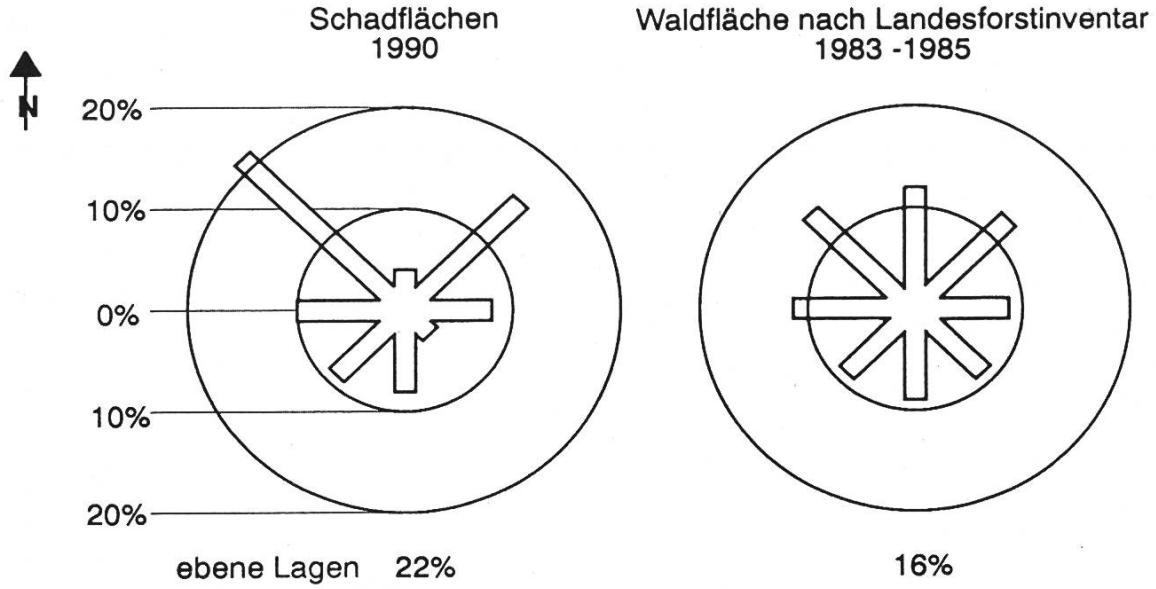

Abbildung 3. Vergleich der Verteilung der aufgenommenen Schadflächen nach Expositionen mit der Verteilung der Waldfläche nach Landesforstinventar.

Rottmann (1986) kommt zum Schluss, dass die Auswirkungen der Exposition auf die Schadensrate in Beständen nicht einwandfrei vom Relief getrennt werden können, da die Windrichtung stark vom Relief bestimmt werde.

Bonität

Für den Vergleich mit den Landesforstinventardaten wurde die Standortsbonität nach *Keller* (1978) gewählt, die aus der Gesamtwuchsleistung als Funktion der Höhe über Meer, der Exposition, des Wuchsgebiets, der Neigung, des Reliefs und der Azidität des Muttergesteins hergeleitet wird. Von den aufgenommenen Streuschadenflächen hatte keine einzige eine Bonität unter 15, obschon nach Landesforstinventar 16% der Fläche im betrachteten Gebiet dieser Bonität zuzurechnen sind. Der Schadenquotient nimmt mit der Bonität zu, für Bonitäten über 22 beträgt er 1,7, das heisst, die relative Häufigkeit der Schadflächen in dieser Bonität ist 1,7mal so gross wie der Anteil der Waldfläche nach Landesforstinventar.

Bestandesstruktur

In stufigen oder mehrschichtigen Beständen erwartet man eher weniger Streuschäden als in einschichtigen. Tatsächlich lagen fast viermal weniger Schadflächen in mehrschichtig/regelmässigen und 1,7mal mehr in einschichtigen Beständen, als bei gleichmässiger Verteilung auf die drei unterschiedlichen Strukturklassen zu erwarten gewesen wäre. Der Anteil von Schadflächen mit stufiger Struktur ist gleich wie der Waldflächenanteil in dieser Klasse.

In zahlreichen Empfehlungen zur Verhinderung oder Verminderung von Sturmschäden wird ein stufiger Bestandesaufbau als ein wichtiges Merkmal für die Standfestigkeit von Beständen genannt. *Wölfle* (1950) erachtet als wichtig, möglichst viel «Unter- und Zwischenstand» zu belassen, um den Wind im Bestand abzubremsen. Er habe mehrfach beobachtet, dass Sturmbeschädigungen nur so weit reichten, als Unter- und Zwischenstand entfernt worden waren. *Wagner* (1914) hielt Betriebsformen mit «ungleichwüchsiger» Bestockung für das beste Mittel zur Erhöhung der Stabilität.

Die Frage nach der stabilisierenden Wirkung einer gewissen Stufigkeit im Bestandesaufbau, die Bosshard (1967) 40 Kreisförstern gestellt hat, wurde von 23 mit ja, von 12 mit nein und von 5 mit eventuell beantwortet. In einem Luzerner Kreis, den Bosshard zur Illustration des Problems erwähnt, verteilte sich die Gesamtschadenmenge zur einen Hälfte auf überwiegend ungleichaltrige, gruppenplenterartig bewirtschaftete Bestände, die 72 Prozent der Gesamtwaldfläche ausmachten und zur anderen Hälfte auf vorwiegend gleichaltrige, einstufige Bestände mit nur 28 Prozent Anteil an der Gesamtwaldfläche.

Mayer (1980) hat aufgrund mehrerer Untersuchungen das Betriebsrisiko (= Anfall zufälliger Ergebnisse in % des Einschlags) kalkuliert und kommt zum Schluss, dass der Plenterwald bei gleicher Baumartenzusammensetzung nur halb so gefährdet ist wie der Femelschlagwald.

Alter

Nur sehr wenige der aufgenommenen Streuschäden liegen in Beständen unter 40 Jahren. Die grösste Gefährdung liegt, mit einem Schadenquotienten von 1,8, bei einem Bestandesalter zwischen 80 und 120 Jahren. Überraschend ist, dass mit höherem Alter der Schadenquotient wieder bis 1,0 zurückgeht. Verschiedene Untersuchungen bestätigen, dass Schäden gewöhnlich erst ab etwa 40 Jahren auftreten *(Drescher,* 1965; *Putz,* 1968; Prien und Leydolph, 1974). Die überraschende Feststellung, dass mit höherem Alter die Schäden wieder zurückgehen können, wurde auch von Putz (1968) gemacht. Bei seinen Untersuchungen lag der Schadenschwerpunkt bei 101 bis 140 Jahren; oberhalb von 140 Jahren wurden wieder deutlich weniger Schäden festgestellt. Das muss nicht heissen, dass die Bestände im Alter wieder stabiler werden und ganz sicher nicht, dass die Fäulnis mit dem Alter zurückgeht. Die alten Bestände stammen aber aus einer anderen Zeit als die jetzt 80 bis 120 Jahre alten, mit einer anderen Vorgeschichte und anderer Pflege. Für vermehrte Sturmschäden kann also, mindestens im Untersuchungsgebiet, keinesfalls eine Überalterung des Waldes verantwortlich gemacht werden.

Mischungsgrad

Die Bestände mit über 90% Nadelholzanteil sind mit einem Schadenquotienten von 1,5 mehr als doppelt so stark gefährdet wie die Bestände mit weniger als 90% Nadelholz.

Nach zahlreichen Untersuchungen werden künstlich begründete Nadelbaum-Reinbestände am häufigsten vom Sturm heimgesucht; besonders gefährdet sind reine Fichtenbestände. (Wagner, 1914; Drescher, 1965; Bosshard, 1967).

Rottmann (1986) kommt in einer Literaturauswertung zu folgender Beurteilung des Sturmschadenrisikos bei den einzelnen Bestandesformen:

- Reinbestände aus Fichte sind im allgemeinen am anfälligsten.
- Laubholz- und Nadel-Laubholz-Mischbestände sind deutlich weniger gefährdet.
- Die Wirkung von Mischbaumarten in Waldbeständen führt aber nicht in jedem Fall zu einer entscheidenden Verbesserung der Stabilität. Aus den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen sind eindeutige Tendenzen nicht ableitbar. Vielmehr ist es so, dass die Bestandesform von anderen wichtigen Faktoren wie dem Standort, dem Relief und dem Windregime überlagert wird.

Schlussgrad

Fast 80% der Schadflächen liegen in Beständen mit normal/lockerem Schlussgrad, obschon nach den Landesforstinventaraufnahmen im Gebiet unserer Beobachtungen nur etwa 40% der ganzen Waldfläche dieser Schlussgradkategorie zugeordnet sind. Die relative Häufigkeit von Streuschäden ist auf diesen Flächen also doppelt so gross, wie bei gleichmässiger Verteilung zu erwarten wäre. Überraschend ist die geringe relative Häufigkeit von Streuschadflächen in gedrängten Beständen. Der Schadenquotient beträgt hier nur 0,2. Es scheint also, dass sich die Bäume in engem Schluss zu einem gewissen Grad gegenseitig zu stützen vermögen.

Ob Flächenschäden vermehrt in geschlossenen Beständen auftreten, kann mit der vorliegenden Untersuchung nicht abgeklärt werden. Schon *Heger* (1948) wies auf das «gegenseitige Schutzverhältnis» hin, das in geschlossenen Beständen besteht und ein Einbrechen des Sturms ins Bestandesinnere verhindern kann. Er betont aber auch, dass das (im gleichaltrigen Fichtenreinbestand) entwickelte Stützsystem unzuverlässig sei, die Bestände aufgerissen und in der Folge dann oft völlig zerstört werden können.

Richter (1990) kam aufgrund einer Untersuchung in neun Beständen mit Einzelwürfen zum Schluss, dass innerhalb eines Bestandes lichtere Stellen stär-

ker gefährdet sind als dichtere, was aber nicht zur Folgerung verleiten dürfe, dass lichtere Bestände generell stärker gefährdet seien.

Modellrechnungen mit Fichtenbeständen *(Marsch,* 1986) ergaben, dass bei einer Stabilisierung gegen Sturm den dicht geschlossenen Beständen der Vorzug zu geben ist, weil der Belastbarkeitsverlust infolge Dichtschluss kleiner ist als die damit verbundene kollektive Belastungsminderung. Im Interesse der Belastungsminderung durch Windkräfte sei zudem eine möglichst gleichmässige Baumverteilung auf der Fläche und damit ein gleichmässig geschlossenes, vertikal wenig gegliedertes Kronendach anzustreben. *Thomasius* (1989/90) betont, dass mit der gestaffelten Durchforstung der Forderung nach Weitstand zur Erhöhung der individuellen Stabilität gegenüber Schneeschäden in den Jungbeständen einerseits und nach Dichtstand zur Erhöhung der kollektiven Stabilität gegenüber Sturmschäden in Altbeständen andererseits Rechnung getragen werde. (Gestaffelte Durchforstung: weitständige Erziehung vom Jungwuchs bis zum Stangenholz, und mit dem Übergang zum Baumholz Anstreben eines grösseren Dichtstandes mit einem möglichst geschlossenen Kronendach.)

Anzahl Jahre seit der letzten Nutzung

Auf jeder Schadenfläche wurde wie im Landesforstinventar abgeschätzt, wann die letzte Nutzung stattgefunden hatte. Man könnte erwarten, dass Sturmschäden vor allem in vor kurzem genutzten Beständen aufgetreten sind. Die Vermutung bestätigte sich nicht. Die relativen Häufigkeiten der vor 0 bis 2 und vor 3 bis 4 Jahren genutzten Flächen sind bei den Schadenflächen fast gleich gross wie bei den Flächen des Landesforstinventars (Schadenquotienten 1,0 und 0,9).

Zahlreiche Autoren haben den Zusammenhang von Durchforstungsmassnahmen und Sturmschäden untersucht. So wiesen zum Beispiel *Abetz* und *Prange* (1976) auf einer Versuchsfläche nach, dass besonders die kurz vor dem Schadenereignis behandelten Teilflächen betroffen waren.

Leibundgut (1969) hat in einem Bestand im Lehrwald der ETH nach den Stürmen 1967 festgestellt, dass eine gleichmässige, intensive Pflege über 15 Jahre hinweg die Stabilität auf der betreffenden Teilfläche erhöht hat. Auch er betont, dass unmittelbar vor dem Sturm ausgeführte Durchforstungseingriffe in Fichten- und Föhrenbeständen die Sturmschäden begünstigen sollen, belegt diese Aussage allerdings nicht.

Kohlstock und *Lockow* (1981) stellten eine erhöhte Sturmgefährdung von Kiefernbeständen im Tiefland der DDR fest, falls diese kurz vor dem Sturm durchforstet wurden. Besonders hoch waren die Schäden, wenn bereits ältere Bestände stark durchforstet wurden. Die labile Phase der Instabilität nach einem Eingriff soll 2 bis 10 Jahre betragen, je nach Bestandes- und Standorts-

gegebenheiten, Durchforstungszeitpunkt und -stärke (Thomasius, 1980; Abetz, 1976; *Lessel-Dummel,* 1981; und andere).

Merkmale der geschädigten Bäume

Schadenarten nach Baumarten

Die relativen Häufigkeiten der vier unterschiedlichen Schadenarten sind aus *Tabelle 2* ersichtlich.

Tabelle 2. Schadenarten nach Baumarten.

Schadenarten	*Fichte*	*Tanne*	*ü. Ndh.*	*Buche*	*ü. Lbh.*	*Total*
	%	%	%	%	%	%
Stammbruch	43	43	20	5	5	37
Wurzelbruch	47	52	80	74	90	53
Stockbruch	7	3	–	–	–	5
Wurf	3	2	–	21	5	5
	100	100	100	100	100	100
Anzahl Bäume	363	54	5	62	19	503

Ungefähr 50% der Schäden bei Fichte und Tanne sind Wurzelbrüche. Erstaunlich hoch ist auch der Anteil der Stammbrüche (je 43%), während Stockbrüche und eigentliche Würfe recht selten sind. Bei Buche und den übrigen Laubhölzern dominieren die Wurzelbrüche mit einem Anteil von 74% bzw. 90% noch bedeutend deutlicher als bei Fichte und Tanne. Die Buche weist als einzige Baumart einen bedeutenden Anteil Würfe auf (21%).

Fäule nach Baumarten

Auffallend ist der hohe Fäuleanteil (50%) bei Fichte. Bei der Tanne liegt der Fäuleanteil mit nur 13% etwa im selben Rahmen wie beim Laubholz *(Tabelle 3).*

Vergleich der geschädigten Bäume mit den stehengebliebenen

Zu jedem geschädigten Baum wurde der nächste stehengebliebene der gleichen Baumart ausgewählt und vermessen. So stehen zwei gepaarte Stichproben von je mehr als 500 exakt vergleichbaren Bäumen zur Verfügung *(Tabelle 4).* Die Resultate zeigen, dass die geknickten und geworfenen sich von den stehen-

Tabelle 3. Fäule nach Baumarten.

Fäule	*Fichte*	*Tanne*	*ü. Ndh.*	*Buche*	*ü. Lbh.*	*Total*
	%	%	%	%	%	%
faul	50	13	60	19	16	41
nicht faul und unbestimmt	50	87	40	81	84	59
	100	100	100	100	100	100
Anzahl Bäume	363	54	5	62	19	503

gebliebenen Bäumen nicht wesentlich unterscheiden. Die geschädigten Bäume sind zwar im Durchschnitt ein bis zwei Zentimeter dünner und ein bis zwei Meter weniger hoch als die ungeschädigten. Diese geringen Unterschiede sind aber praktisch ohne Bedeutung. Noch kleiner sind die Unterschiede im Schlankheitsgrad und in der relativen Kronenlänge. Diese eindeutigen und zweifelsfreien Resultate widerlegen die häufig geäusserte Vermutung, dass vollholzige und langkronige Bäume besonders sturmanfällig seien. Innerhalb der Bestände ist die Sturmgefährdung im Gegenteil in bezug auf den Schlankheitsgrad der Stämme und die Länge der Kronen völlig ausgeglichen. Leider ist es mit unseren Aufnahmen nicht möglich, geschädigte und ungeschädigte Bestände in bezug auf Schlankheitsgrad und relative Kronenlänge zu vergleichen.

Prpić (1969) stellte in zwei Beständen auf gleichem Standort im Lehrwald der ETH Unterschiede zwischen den Schlankheitsgraden stehengebliebener und geworfener Bäume fest. Die Unterschiede waren jedoch nur in einem Bestand statistisch gesichert (stehende = 70, geworfene = 80). Die Schlankheitsgrade geworfener Fichtenstämme aus drei Waldassoziationen in der gleichen Untersuchung weisen keine signifikanten Unterschiede auf und taugen nach Prpić deshalb nicht als Kriterien für die Sturmfestigkeit der Bestände. Auch *Eggenberger* (1985) fand in einer Untersuchung in Wäldern des Bergsturzgebietes von Flims keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Schlankheitsgrad und Stabilität. Der Schlankheitsgrad scheine durch andere Faktoren, zum Beispiel die Stellung der Bäume im Bestandesgefüge, überlagert zu werden.

Tabelle 4. Vergleich der Mittelwerte der Einzelbaumdaten der geschädigten Bäume (g) mit denen der stehengebliebenen (s).

	Fichte		*Tanne*		*Buche*		*übrige*		*Total*	
	g	*s*	*g*	*s*	*g*	*s*	*g*	*s*	*g*	*s*
BHD (cm)	45	46	48	49	38	39	43	44	44	46
Höhe (m)	32	33	33	33	30	31	31	33	32	33
Schlankheitsgrad H/BHD	74	73	71	70	86	85	80	81	76	75
relative Kronenlänge	0,49	0,49	0,50	0,47	0,51	0,51	0,43	0,46	0,49	0,49
Anzahl Bäume	363	363	54	54	62	62	24	24	503	503

Die Höhe der Bruchstelle bei Stamm- und Stockbrüchen

Die Häufigkeit der Bruchstellen nimmt mit der Höhe am Stamm sehr stark ab *(Abbildung 4)*. Für diese Abhängigkeit ist vor allem die Fäule verantwortlich. Faule Bruchstellen sind, mit zwei Ausnahmen, nur unterhalb 5 m angetroffen worden, mehr als die Hälfte innerhalb des untersten Meters.

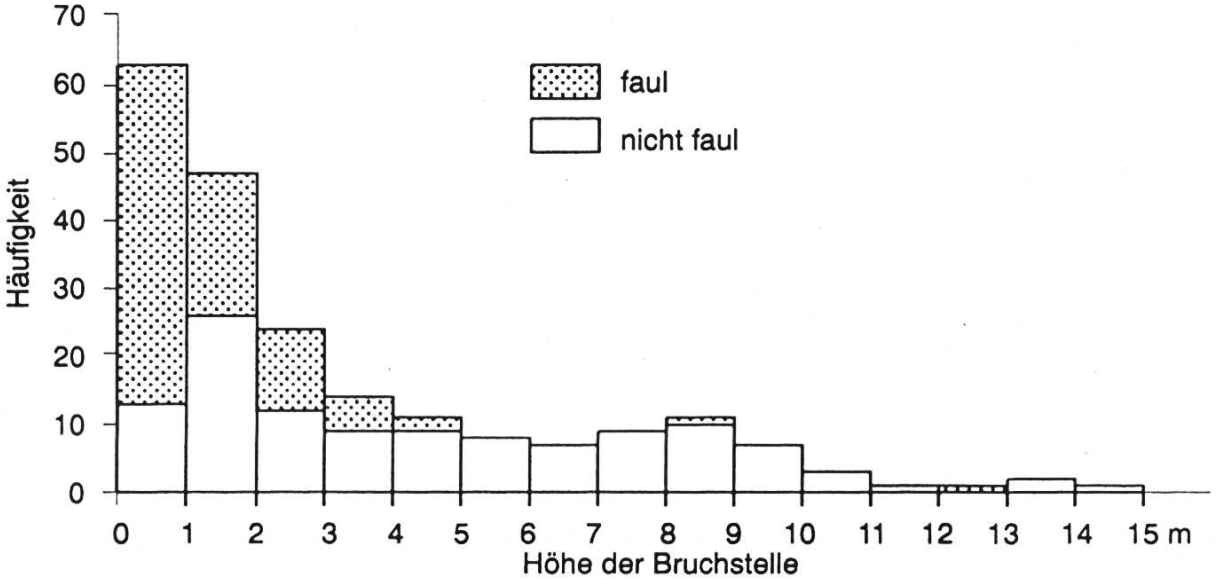

Abbildung 4. Höhe der Bruchstellen bei Stamm- und Stockbrüchen (alle gebrochenen Bäume) mit und ohne Fäule.

Ohne Fäule wären die Bruchstellen bis in eine Höhe von 10 m fast gleich verteilt. Oberhalb von 10 m werden Brüche rasch seltener, da die Stämme im Bereich der Krone selten brechen.

Die Schäfte sind offenbar so beschaffen, dass bei Abwesenheit von Fäule im unteren Stammbereich überall etwa die gleiche Wahrscheinlichkeit für einen Bruch besteht. Da ein Stamm dort bricht, wo das Biegemoment zuerst die Biegefestigkeit überschreitet, muss daraus gefolgert werden, dass die Schäfte so geformt sind, dass ihre Biegefestigkeit proportional zur Zunahme des Biegemoments nach unten zunimmt. Offenbar hat sich die Schaftform im Laufe der Evolution einigermassen entsprechend einer optimalen Form bezüglich Sturmfestigkeit entwickelt – sofern keine Fäule existiert. Daraus kann die Vermutung abgeleitet werden, dass Stamm- und Stockfäule früher eine untergeordnete Rolle gespielt haben und im wesentlichen rezente Erscheinungen sind.

Die Grösse der durch den Sturm ausgehobenen Wurzelstöcke

Die durch den Sturm ausgehobenen Wurzelstöcke sind sicher nicht repräsentativ für den ganzen Bestand; sie sind durchschnittlich kleiner und schwächer. Ihre Grösse kann trotzdem wichtige Hinweise auf Faktoren liefern, welche die Sturmgefährdung vergrössern oder verkleinern *(Abbildung 7)*.

Die ausgehobenen Wurzelballen der Fichte waren 10 bis 170 cm, durchschnittlich 56 cm tief. Die Wurzelballentiefe ist in erster Linie von der Baumgrösse abhängig und besonders eng mit der Baumhöhe korreliert. Zweitwichtigste Einflussgrösse ist der Bodentyp. Wie erwartet wurzeln die Bäume in staunassen Böden signifikant weniger tief als auf anderen Standorten *(Abbildung 5)*. Die übrigen Bodenarten unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. In Beständen, die seit langem nicht mehr oder noch nie durchforstet worden waren, sind ebenfalls etwas geringere Wurzelballentiefen nachweisbar.

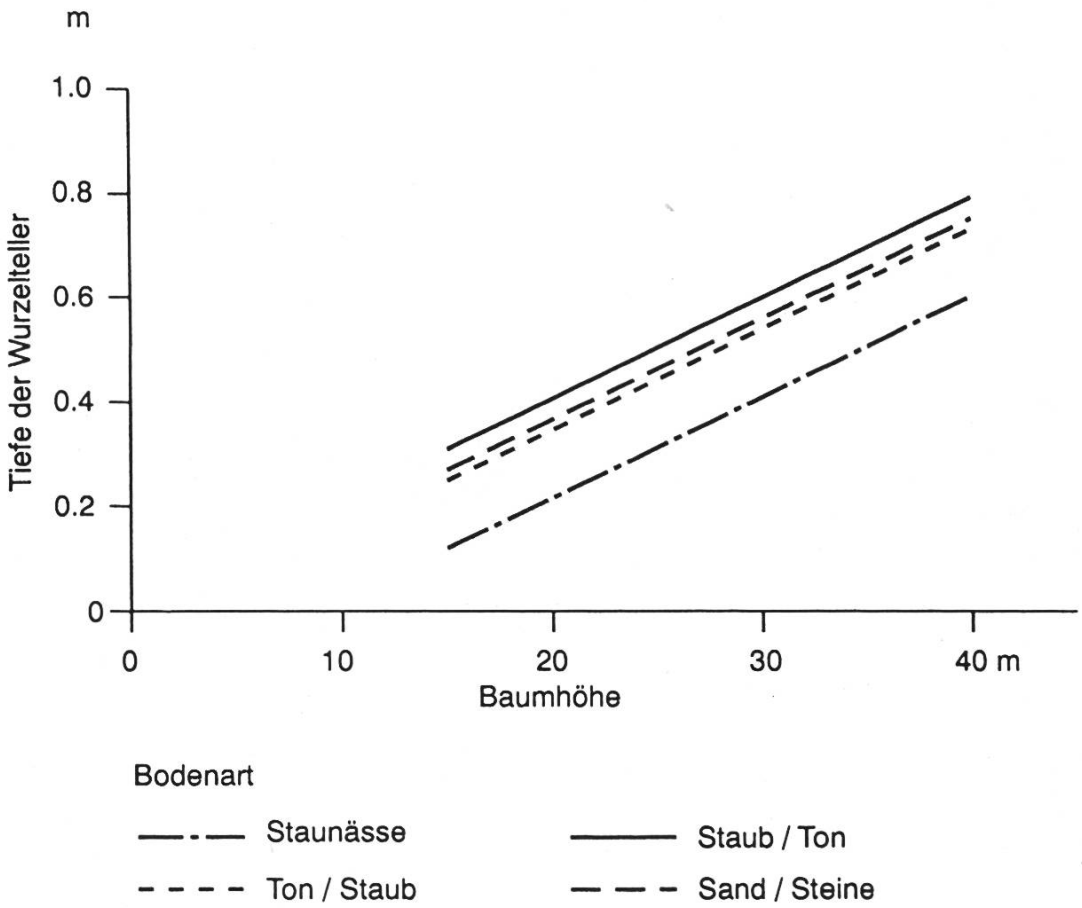

Abbildung 5. Tiefe der ausgehobenen Wurzelteller in Abhängigkeit von Baumhöhe und Bodenart (Fichte).

Die Radien der teilweise oder ganz ausgehobenen Wurzelstöcke der Fichte betrugen durchschnittlich 142 cm, maximal 390 cm. Auch die Wurzelradien sind vor allem von der Baumgrösse abhängig; sie sind am besten mit dem Durchmesser in Brusthöhe korreliert. Zweitwichtigste Einflussgrösse ist wiederum die Bodenart. Je durchlässiger der Boden, desto kleiner die Wurzelradien. Diese sind signifikant grösser auf staunassen Böden, wo die Bäume weniger tief wurzeln können und signifikant kleiner auf sandigen/steinigen Böden *(Abbildung 6)*. Als weiterer Einfluss kann die Bestockungsdichte nachgewiesen werden. Je dichter der Bestand ist, desto kleiner sind die Wurzelradien der ausgehobenen Stöcke.

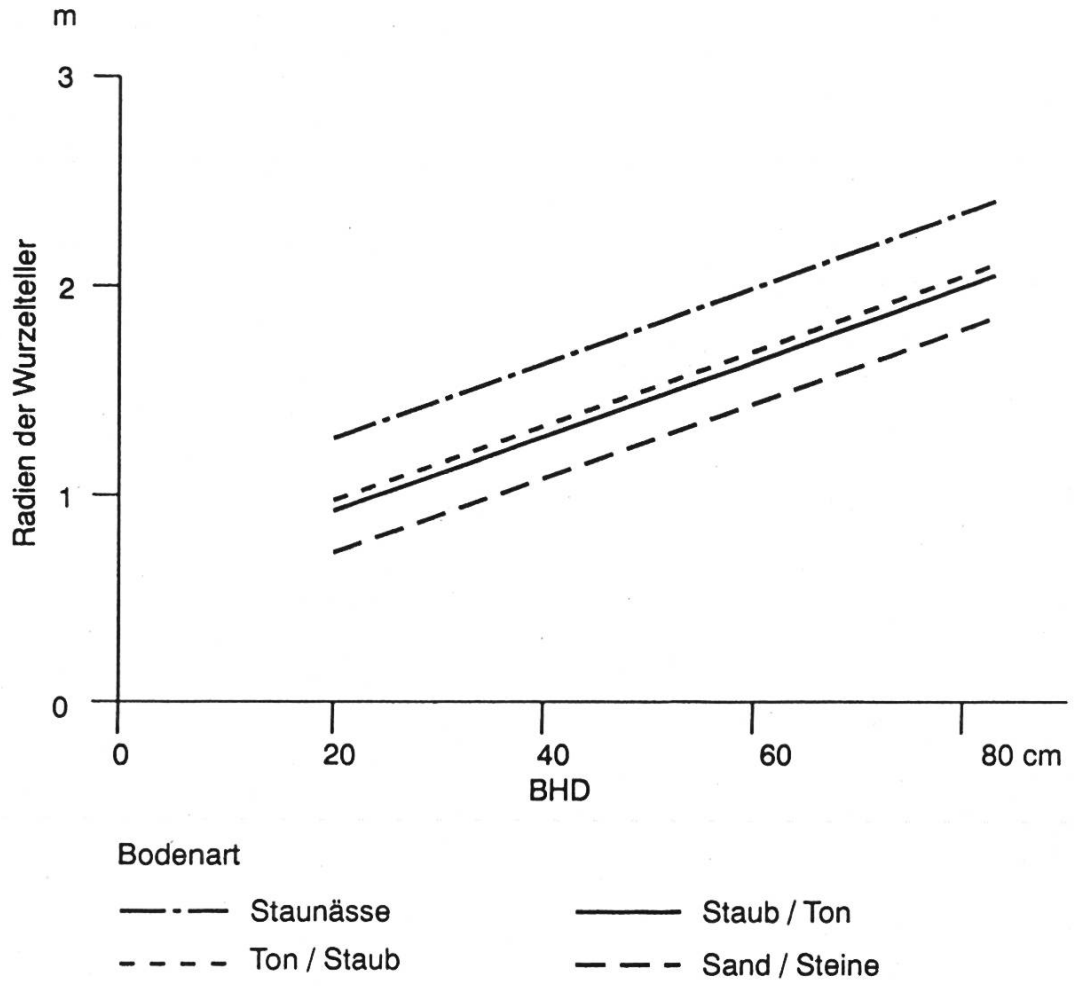

Abbildung 6. Radien der ausgehobenen Wurzelteller in Abhängigkeit von BHD und Bodenart (Fichte).

Der Inhalt und damit auch das Gewicht des Wurzelballens ist ungefähr proportional zu (Wurzelballenradius) · (Wurzelballenradius) · (Wurzelballentiefe).

Das würde zum Beispiel dann genau zutreffen, wenn der Wurzelballen die Form eines Kreiskegels annehmen würde. Diese Grösse ist ein gutes Mass für die Stabilität eines Wurzelsystems, soweit Windexponiertheit, Fäule und Scherfestigkeit des Bodens keine Unterschiede bedingen. Die multiple Regressionsrechnung beweist denn auch, dass das Wurzelballenvolumen mit der Grösse des Baumes, insbesondere dem Durchmesser in Brusthöhe, zunimmt, dass es kleiner ist in dichten Beständen und in Beständen, in denen seit langem nicht mehr eingegriffen wurde. Die Fäule hat keinen signifikanten Einfluss auf das Volumen der ausgehobenen Wurzelballen. Kein einziger Standortsfaktor hat einen signifikanten Einfluss auf das Volumen der ausgehobenen Wurzelballen, insbesondere auch nicht die Bodenart. Die unterschiedlichen Wurzelballentiefen werden also durch die Grösse der Wurzelballenradien zumindest teilweise kompensiert *(Abbildung 7)*.

Die mittlere Wurzelstocktiefe der Tanne beträgt 89 cm, ihr Radius 138 cm, die Variation zwischen den Bäumen ist viel geringer als bei der Fichte, die sich

dem Standort besser anpassen kann als die meisten anderen Baumarten *(Abbildung 7)*.

Die Buche wurzelt mit einer Ballentiefe von 63 cm bedeutend weniger tief als die Tanne, und zudem ist ihr mittlerer Wurzelballenradius mit 122 cm geringer als bei den anderen Hauptbaumarten, auch wenn der kleinere BHD der Buche berücksichtigt wird. Die schlechte Bewurzelung der Buche an einem Teil der Standorte ist offenbar der Grund dafür, dass trotz laubfreien Zustandes so viele Buchen umgelegt worden sind *(Abbildung 7)*.

Vergleich der Sturmschäden 1990 und 1967

Die Sturmschäden von 1967 hatten in der Schweiz ein ähnliches Ausmass wie diejenigen von 1990; das Hauptschadengebiet lag aber im Mittelland. Zum Vergleich der Sturmschäden 1990 mit denjenigen von 1967 werden daher nur die im Mittelland gelegenen Schadflächen herangezogen. Die Untersuchungsgebiete sind damit zwar nicht deckungsgleich, standörtlich aber einigermassen vergleichbar.

Die Baumartenverteilung war in den beiden Untersuchungsgebieten nicht die gleiche. Daher sollten die Baumartenanteile bei den geschädigten Bäumen nicht direkt verglichen werden. Besser vergleichbar sind die Schadenquotienten, die Quotienten aus den Baumartenanteilen unter den geschädigten Bäumen und den entsprechenden Baumartenanteilen im bleibenden Bestand *(Tabelle 5)*.

Bei beiden Schadenereignissen war die Fichte am anfälligsten; der Unterschied zu den übrigen Nadelbaumarten und zur Buche ist aber 1990 viel kleiner als 1967. Der Unterschied bei den übrigen Nadelhölzern ist vor allem dem Umstand zuzuschreiben, dass 1967 viel mehr Föhren erfasst worden sind als 1990. Die wichtigste Veränderung ist bei den Buchen eingetreten. Die Buche, die

Tabelle 5. Veränderung der Baumartenanteile 1967 bis 1990. Untersuchte Schadflächen im Schweizer Mittelland.

	Bleibender Bestand		*Geschädigte Bäume*		*Schadenquotienten*	
	1967	*1990*	*1967*	*1990*	*1967*	*1990*
	%	%	%	%		
Fichte	73	65	83	70	1,1	1,1
Tanne	6	14	6	14	1,0	1,0
übriges Nadelholz	13	5	7	5	0,5	1,0
Buche	6	10	3	10	0,5	1,0
übriges Laubholz	2	6	1	1	0,5	0,2
	100	100	100	100		
Anzahl Bäume	9503	889	969	165		

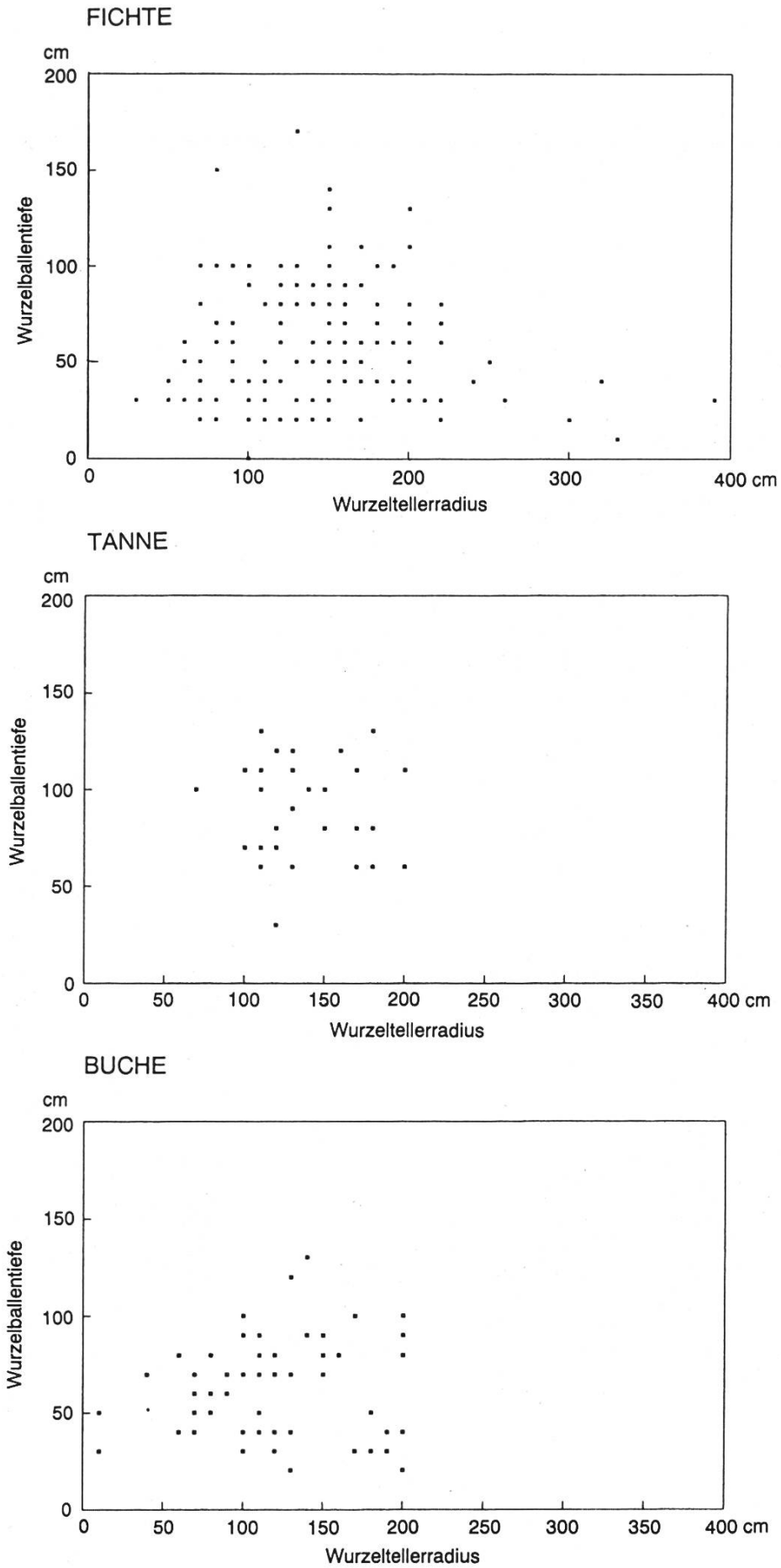

Abbildung 7. Dimensionen der ausgehobenen Wurzelballen von Fichte, Tanne und Buche.

1967 noch zu den widerstandsfähigsten Baumarten gezählt werden konnte, ist 1990 etwa gleich stark geschädigt worden wie die Tanne und die übrigen Nadelhölzer und unvergleichlich viel stärker als die übrigen Laubhölzer *(Tabelle 5)*.

Im Forstbetrieb Lenzburg wurden bei ungefähr gleich grossem Gesamtschaden 1990 etwa viermal mehr Buchen gefällt als 1967, und die Buchen erwiesen sich als nicht mehr viel stabiler als die Fichten (Lätt, 1991). Hingegen gibt es andere Forstbetriebe, in denen praktisch keine Buchen geschädigt worden sind.

Beim Vergleich der Schadenarten bei der Fichte fällt auf *(Tabelle 6)*, dass der relative Anteil der Stammbrüche 1990 dreimal so gross ist wie 1967 (35% statt 11%). Die anderen Unterschiede können als Folge dieser Differenz oder als zufällige Unterschiede interpretiert werden.

56 Prozent aller Schäden können 1967 auf Fäule als Teilursache zurückgeführt werden, 55 Prozent sind es 1990. Bei der Fichte sind die entsprechenden Anteile 63 bzw. 66 Prozent. Während die Fäuleanteile bei den Stockbrüchen (95% bzw. 100%) und den Wurzelbrüchen (65% bzw. 64%) praktisch gleich gross geblieben sind, haben sie bei den Stammbrüchen signifikant von 33 auf 55 Prozent zugenommen. Die relative Zunahme der wegen Fäule gebrochenen Fichtenstämme ist um so gewichtiger, als die Häufigkeit der Stammbrüche insgesamt stark zugenommen hat *(Abbildung 8)*.

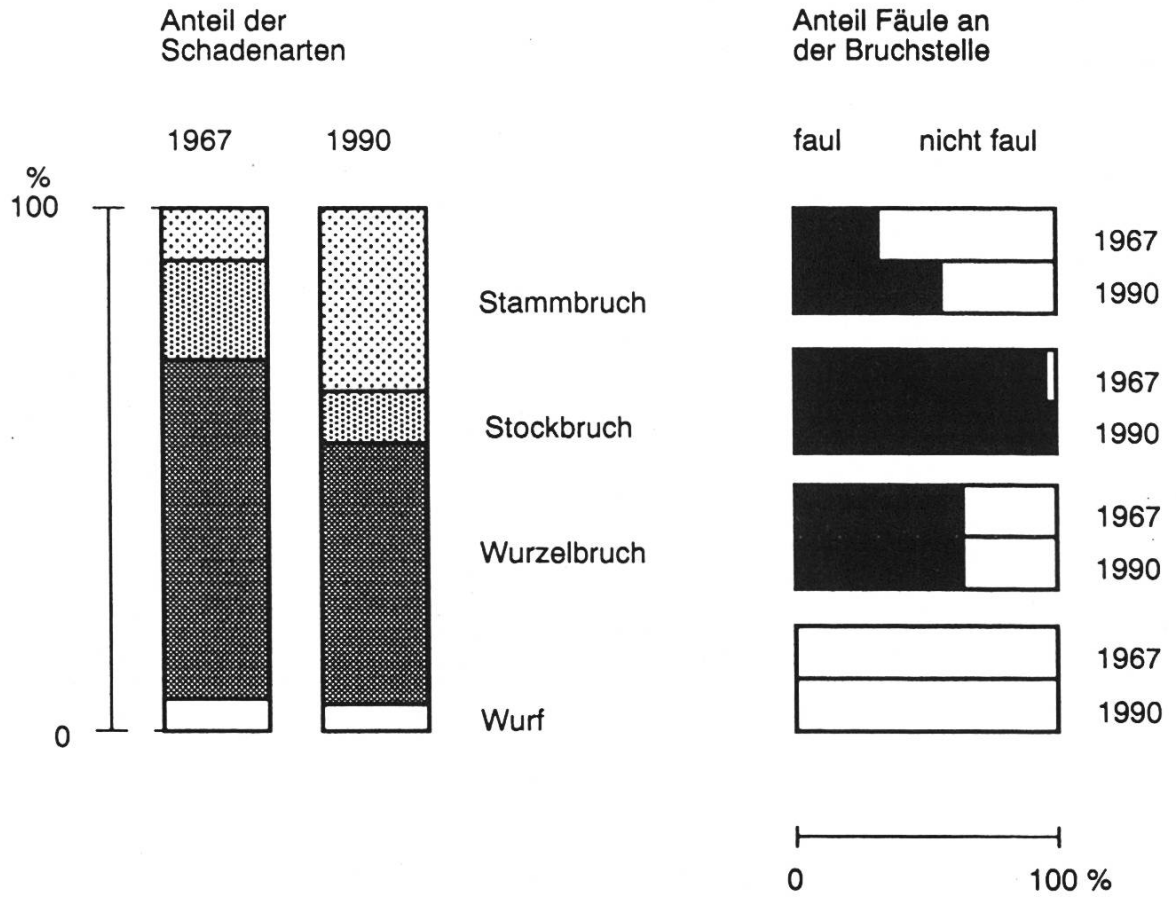

Abbildung 8. Veränderung der Anteile der Schadenarten und der Fäule 1967 bis 1990, geschädigte Fichten im schweizerischen Mittelland.

Der Unterschied in den Anteilen der Schadenarten kann teilweise auf eine Schwächung der Stämme von 1967 auf 1990 zurückgeführt werden, denn offensichtlich sind heute mehr Stämme faul als früher.

Wenn nur die geschädigten Fichten betrachtet werden, bei denen an keiner Bruchstelle Fäule festgestellt wurde, bleibt immer noch ein signifikanter Anstieg der Stammbrüche von 20 auf 43 Prozent. Der Anteil der Wurzelbrüche bei nicht faulen Bäumen war 1967 deshalb grösser, weil der Wassergehalt der Böden zu diesem Zeitpunkt ausserordentlich hoch war, wie alle Berichterstatter aus dieser Zeit übereinstimmend melden (Bosshard, 1967). Zudem hatten 1967 mehrere, sehr lange anhaltende Stürme die Wurzeln mit der Zeit gelockert. Andererseits war 1990 die maximale Windstärke offenbar bedeutend grösser als 1967.

Tabelle 6. Veränderung der Anteile der Schadenarten und der Fäule 1967 bis 1990, geschädigte Fichten im Schweizer Mittelland.

	Anteile der Schadenarten		*Fäule an Bruchstellen*		*Anteile der Schadenarten ohne Fäule*	
	1967	*1990*	*1967*	*1990*	*1967*	*1990*
	%	%	%	%	%	%
Stammbruch	11	35	33	55	20	41
Wurzelbruch	66	49	65	64	62	46
Stockbruch	17	11	95	100	2	0
Wurf	6	5	–	–	16	13
	100	100	63	66	100	100
Anzahl Bäume	802	121	508	75	294	46

Die genauere Analyse der Schäden bei der Fichte

Im folgenden soll nur noch die Fichte betrachtet werden, da die anderen Baumarten in unserer Untersuchung zu wenig stark vertreten sind.

Einflüsse auf die Anteile der Schadenarten

Mit einer multiplen logistischen Regression *(Schlaepfer et al.* 1985) wurde zuerst untersucht, welche Merkmale den grössten Einfluss auf die relative Häufigkeit von Stamm- und Stockbrüchen unter allen Schädigungen haben.

Erste und wichtigste Einflussgrösse ist die Bodenart; auf vernässten Standorten ist die relative Häufigkeit von Würfen und Wurzelbrüchen besonders gross, auf Kies- und Sandböden kleiner als auf den anderen Standorten. Bei gegebener Bodenart nehmen Stammbrüche mit der Baumhöhe zu. Sie sind darüber hinaus etwas häufiger in Südexpositionen und etwas weniger häufig in

westlich exponierten Lagen. Schliesslich sind Stammbrüche zwar etwas häufiger in dichten Beständen, aber etwas weniger häufig in Beständen, die noch nie oder schon lange nicht mehr durchforstet worden sind.

Diese Resultate sind schwierig zu interpretieren. Insbesondere muss beachtet werden, dass sie nicht direkt die Gefährdung für Stammbrüche oder für Wurzelbrüche, sondern nur die Relation zwischen diesen beiden aufzeigen können. Wo Stamm- und Stockbrüche relativ häufig sind, sind Wurzelbrüche und Würfe relativ selten. Das kann also bedeuten, dass die Stämme dort besonders bruchgefährdet sind oder aber dass die Bäume besonders gut verankert sind und deshalb fast nur Stammbrüche eintreten können.

Der wichtigste Zusammenhang zwischen Schadens- und Bodenart wird daher in *Tabelle 7* etwas genauer aufgezeigt. Beim Vergleich aller geschädigten Fichten ist der Anteil der Stamm- und Stockbrüche aus staunassen Böden etwa 20% kleiner und auf Sand/Steinböden etwa 20% grösser als auf normal durchlässigen Böden.

Wenn nur die nicht durch Fäule mitverursachten Schäden betrachtet werden, verschwindet der Unterschied zwischen Sand/Kies- und Staub/Sandböden; auf staunassen Böden ist der Anteil der Stammschäden aber noch kleiner. Beim Vergleich der Schäden, welche die Fäule sichtbar mitverursacht hat, wird andererseits der Anteil der Sturmschäden auf Sand/Steinböden ausserordentlich hoch, der Unterschied zwischen staunassen und normal drainierten Böden wird unbedeutend.

Die Erklärung für die Abweichungen bei staunassen Böden scheint klar: auf diesen Standorten wurzeln die Bäume sehr viel weniger tief und werden viel leichter mit einem Teil des Wurzelballens ausgehoben als auf anderen Standorten. Wenn angenommen wird, dass die Stämme auf vernässten Standorten durchschnittlich gleich stabil sind wie auf normal drainierten, kann gefolgert werden, dass auf diesen Standorten etwa fünfmal mehr Wurzelbrüche und Würfe vorkommen.

Für Sand/Steinböden müssen weitere Abklärungen zeigen, ob dort die Stämme besonders anfällig oder die Standfestigkeit besonders gross ist. Fäulnis ist offenbar für diesen Unterschied verantwortlich.

Tabelle 7. Prozentuale Anteile der Stamm- und Stockbrüche an allen Schäden der Fichte, nach Bodenart und Fäule.

		Bodenart				
		Staunässe	*Ton/ Staub*	*Staub/ Sand*	*Sand/ Steine*	*Total*
Alle Fichten	(n = 363)	27	47	49	67	49
Fichten ohne Fäule	(n = 181)	17	49	60	57	49
Fichten mit Fäule	(n = 182)	36	46	39	76	48

Fäule bei Stammbrüchen

Von den 110 Stammbrüchen der Fichte sind etwa 29% durch eine vom Stammfuss bis zur Bruchstelle durchgehende Fäule verursacht, während ungefähr 6% wegen einer nur lokalen Fäulnis an der Bruchstelle entstanden sind. 83% aller Stammbrüche mit Fäule sind also durch eine von der Basis hochgewachsene Kernfäule mitverursacht. Dieses Ergebnis bestätigt das auf den ersten Blick überraschende Resultat von *Tomiczek* (1990), der unter den Stammfäulen der Fichte sogar 88% vom Stammfuss ausgehende, nur 6% lokale Wundfäule sowie 6% unbekannte Infektionsorte diagnostizierte.

Um abzuklären, von welchen Merkmalen die Häufigkeit von Fäule bei Stammbrüchen abhängt, wurde wiederum zuerst eine schrittweise multiple Regression gerechnet. Die Fäulehäufigkeit ist signifikant vor allem von der Hangneigung und darüber hinaus leicht vom mittleren Durchmesser des Bestandes und von der Bodenart abhängig. Alle anderen Zusammenhänge können durch diese Abhängigkeiten erklärt werden und verbessern die multiple Regression nicht mehr signifikant.

Fäule im Stamm *(Abbildung 9)* ist weitaus am häufigsten in ebenen und weniger als 20% geneigten Lagen. Dieser Unterschied ist ausschliesslich auf Kernfäulen zurückzuführen. In flachen Lagen ist Fäulnis zudem häufiger auf staunassen und tonigen als auf durchlässigeren Böden. An steilen Hängen ist die lokale Wundfäulnis häufiger, insbesondere auf steinigen Böden.

Die enorme Zunahme der Stammfäulnis seit 1967 und ihre grosse Häufung bei Neigungen bis 20% legen den Verdacht nahe, dass diese Art der Fäule zumindest teilweise durch Verletzungen an Stammfuss und Derbwurzeln bei der Holzernte verursacht wurden *(Butora* und *Schwager,* 1986; *Meng,* 1978). Zu denken ist an die ersten Jahrzehnte der Mechanisierung, als bei geringer Strassendichte und völligem Fehlen von Rückegassen in flachen Lagen, jeder Stamm einzeln mit oft wenig geeigneten Traktoren aus dem Bestand herausgeschleppt wurde. Seither kann die Fäule langsam hochgewachsen sein. Die starke zeitliche Veränderung und die sehr charakteristische Abhängigkeit von der Neigung wären dadurch erklärbar. Zudem ist einzusehen, dass Verletzungen von Derbwurzeln in länger vernässten Böden häufiger vorkommen als bei gut drainierten Böden.

Das vermehrte Auftreten von lokalen Wundfäulen auf den steileren Hängen könnte auf Steinschlag oder Reistschäden zurückgeführt werden.

Fäule bei Wurzelbrüchen

Wiederum werden Wurzelbrüche und Würfe gemeinsam betrachtet. Eine multiple logistische Regression für die Fäule an wichtigen Bruchstellen der Wurzeln zeigt, dass diese Fäulehäufigkeit vor allem von der Höhe über Meer und

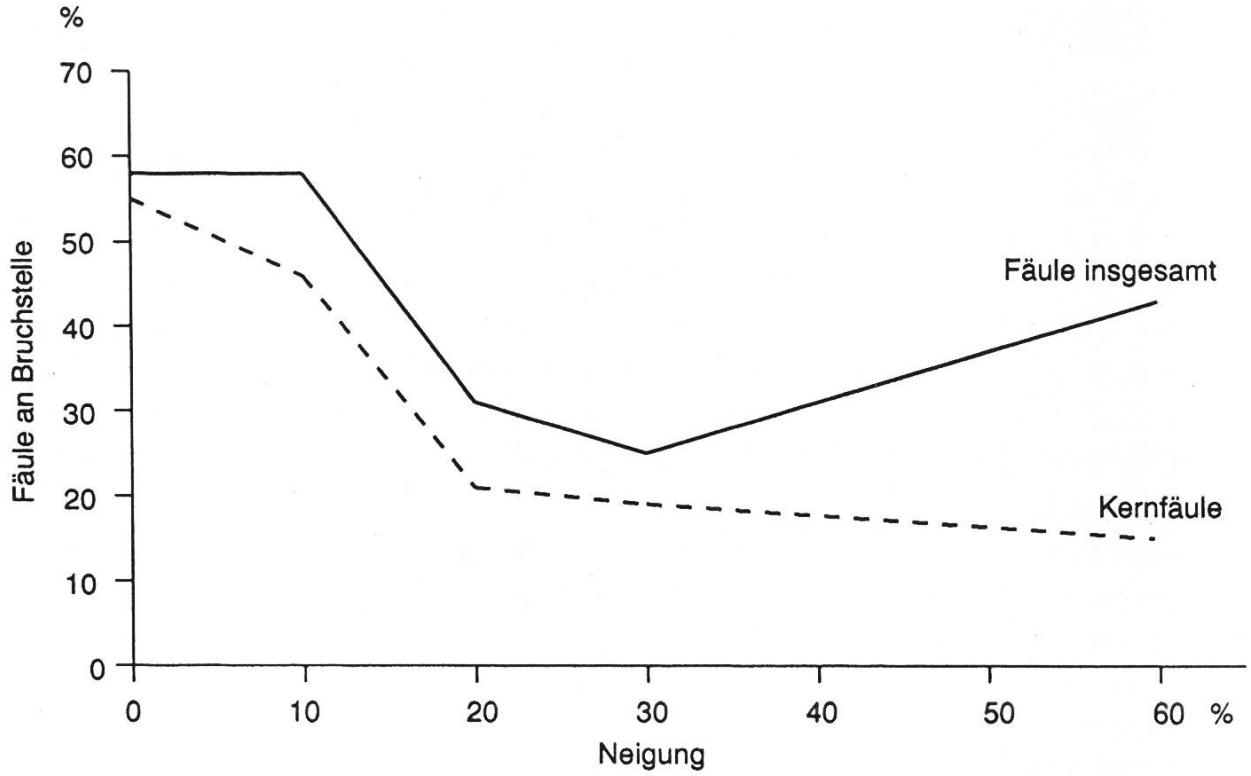

Abbildung 9. Fäule an Bruchstellen bei Stammbrüchen von Fichten (n = 155).
«Fäule insgesamt» = An der Bruchstelle wurde Fäule festgestellt.
«Kernfäule» = Die Fäule an der Bruchstelle ist von der Basis hochgewachsen.

dem mittleren Durchmesser des Bestandes abhängig ist. Wesentlich ist die Abnahme der Fäulehäufigkeit oberhalb von 1000 m ü. M. Insbesondere die bei Stammfäulen entscheidenden Merkmale Geländeneigung und Bodenart haben beide keinen signifikanten Einfluss auf die Fäulehäufigkeit bei Wurzelbruch *(Abbildung 10)*.

Die geringen Abhängigkeiten lassen keine Folgerungen auf die primären Ursachen zu; zudem ist diese Art der Fäulnis in den letzten 24 Jahren gleich häufig geblieben. Jedenfalls spricht nichts dafür, dass auch die Wurzelfäule wesentlich durch Verletzungen bei der Holzernte verursacht worden wäre.

Korrektur der Fäulehäufigkeit bei Wurzelbrüchen

Bei Wurzelbrüchen werden die Wurzelballen auf der Unterseite des abgebrochenen und umgelegten Wurzelstockes gestaucht. Die Bruchstellen sind daher nicht alle sichtbar. Die Bäume müssen aus diesem Grund oft als «unbestimmt» statt als «faul» oder «nicht faul» angesprochen werden. Bei Fichten mit Wurzelbrüchen war das bei 48 von 134 oder 36% der Fall. Bei den bisherigen Auswertungen sind alle Wurzelbrüche, bei denen man keine Fäule feststellen konnte, zu denjenigen ohne Fäule gezählt worden.

Man könnte annehmen, dass Fäule an Bruchstellen bei denjenigen Bäumen, die man nicht taxieren konnte, gleich häufig vorkommt wie bei den-

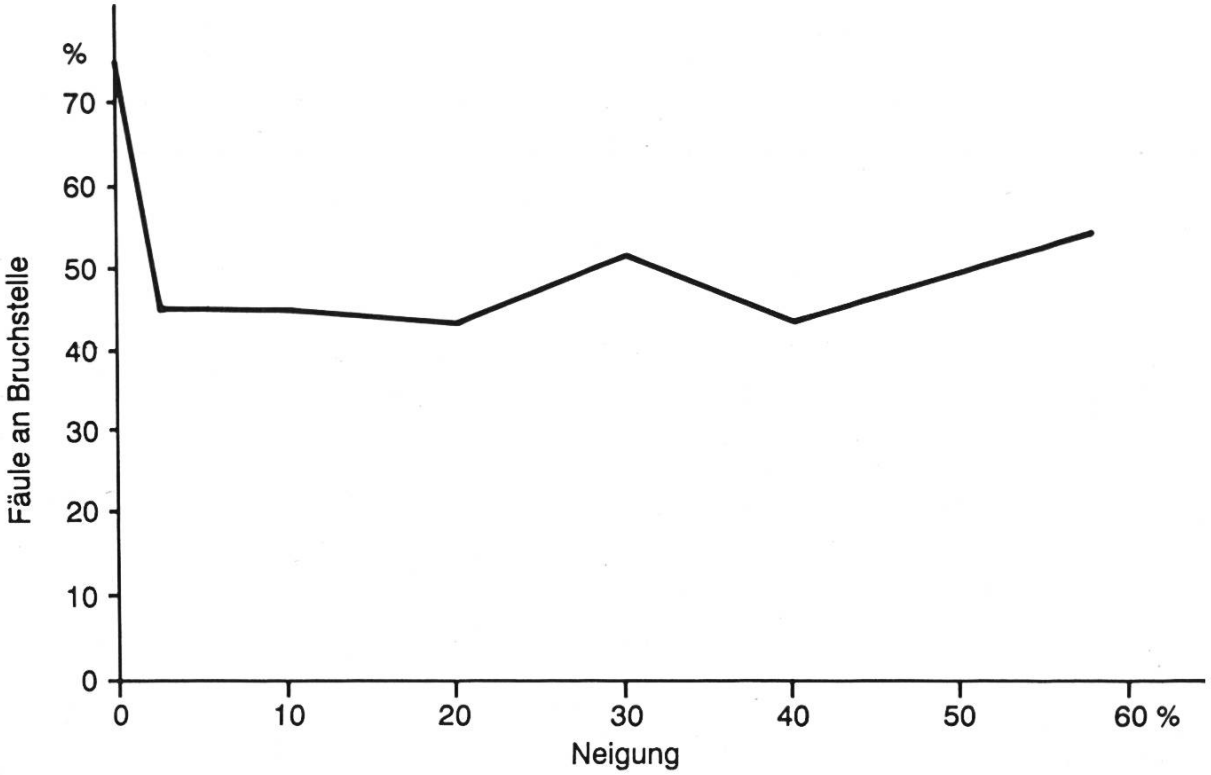

Abbildung 10. Fäule an Bruchstellen bei Wurzelbrüchen und Würfen von Fichten (n = 184).

jenigen, die man taxiert hat, dass der Unterschied also nur darin bestehe, dass man bei den einen Bäumen die Bruchstellen einsehen konnte und bei den anderen nicht. Ein Blick auf *Tabelle 8* zeigt, dass das nicht stimmt, weisen doch 57% (49 von 86) der definitiv klassierten Bäume Fäule am Ernteschnitt auf, aber nur 33% (16 von 48) der als «unbestimmt» klassierten. Die Häufigkeit von Fäule am Ernteschnitt ist im Gegenteil bei den als «unbestimmt» taxierten Bäumen nicht viel grösser als bei den als «nicht faul» taxierten.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung bestätigt dies: w sei die Wahrscheinlichkeit, dass ein als «unbestimmt» taxierter Baum in Wirklichkeit zu den an Bruchstellen faulen Bäumen gehört, p(faul), p(nicht faul), p(unbestimmt) seien die Wahrscheinlichkeiten, dass ein Baum der Kategorie «faul», «nicht faul» respektive «unbestimmt» am Ernteschnitt Fäule aufweise. Da ein Baum der Kategorie «unbestimmt» in Wirklichkeit an den Bruchstellen faul oder nicht faul sein muss, gilt nach den Grundgesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung:

$$p(\text{unbestimmt}) = w \cdot p(\text{faul}) + (1-w) \cdot p(\text{nicht faul})$$

und somit:

$$w = (p(\text{unbestimmt}) - p(\text{nicht faul})) \;/\; (p(\text{faul}) - p(\text{nicht faul}))$$

oder, wenn als Schätzwerte für die Wahrscheinlichkeiten p die relativen Häufigkeiten für Fichte aus *Tabelle 8* eingesetzt werden:

$$\hat{w} = (\hat{p}(\text{unbestimmt}) - \hat{p}(\text{nicht faul})) \;/\; (\hat{p}(\text{faul}) - \hat{p}(\text{nicht faul})) =$$

$$(16/48 - 4/14) \;/\; (45/72 - 4/14) = 0{,}140$$

Ungefähr 14% der als unbestimmt taxierten Fichten sollten also als faul, 86% als nicht faul klassiert werden. Insgesamt sind somit nicht nur 54% der Fichten mit Wurzelbrüchen faul, sondern ungefähr 60%. Bei den übrigen Baumarten darf bei allen als unbestimmt taxierten Bäumen angenommen werden, dass sie an den Bruchstellen nicht faul sind.

Tabelle 8. Fäule bei Wurzelbrüchen, Anzahl Fichten.

		Bruchstellen			
		faul	*nicht faul*	*unbestimmt*	*alle*
	faul	45	4	16	65
Ernteschnitt	nicht faul	27	10	32	69
	alle	72	14	48	134

Bei den von Anfang an als nicht faul taxierten Bäumen konnten wesentliche Bruchstellen eingesehen werden, und dort waren die Wurzeln gesund. Trotzdem wurde bei 30% dieser Bäume Fäule am Ernteschnitt festgestellt. Der Fäulepilz dürfte bei der Mehrzahl dieser Bäume in einer Wunde an einer Wurzel eingedrungen sein. Entweder wurden an diesen Bäumen aber nur gesunde Wurzeln gebrochen oder die Fäulnis an einer Bruchstelle wurde übersehen. Letzteres dürfte die Ausnahme sein.

Folgerungen

1. Der Wald hilft sich in vielen Beziehungen selbst, wenn man ihm Zeit lässt

So sind windexponierte, herrschende Bäume in stufigen Beständen nicht stärker gefährdet, weil Stamm und Wurzeln entsprechend stärker ausgebildet werden. Aus dem gleichen Grund sind im einschichtigen Bestand Bäume mit langen Kronen und grossen Abständen zu den Nachbarbäumen offenbar nicht stärker gefährdet als Bäume mit kurzen Kronen im dicht geschlossenen Bestand, obwohl letztere dem Wind viel kleinere Angriffsflächen bieten und von den Nachbarn besser geschützt sind. Wo der Untergrund eine tiefe Verwurzelung nicht zulässt, kann zumindest die Fichte entsprechend breitere Wurzelteller bilden und die Stabilität mit Hilfe von Wurzelverwachsungen zusätzlich erhöhen. Die Form der Stämme unterhalb der Krone ist geradezu optimal in bezug auf Sturmfestigkeit, solange nicht Fäulnis ihre Festigkeit entscheidend verändert. Mit dieser Untersuchung war es nicht möglich nachzuweisen, dass stufige Bestände weniger gefährdet sind als einschichtige, vermutlich, weil die Unterschiede nicht sehr gross sind. Waldbaulich wichtig ist hingegen, dass die räumliche Ordnung beachtet wird, damit dem Wind nicht Tür und Tor geöffnet

wird und dass grobe Eingriffe in die bestehenden Strukturen vermeiden werden, besonders auch in geschlossenen einschichtigen Beständen. Wiederholte Durchforstungen in Jungbeständen und sehr zurückhaltende Eingriffe im hohen Alter können auch unter diesen Gesichtspunkten empfohlen werden. Vorzeitige Verjüngungen können die Sturmgefährdung nicht generell reduzieren, weil die ältesten Bestände nicht die labilsten sind. Der relativ feine schweizerische Waldbau hat sich bewährt und vielleicht weit grössere Schäden vermieden.

2. *Die Stammfäule der Fichte hat seit 1967 sehr stark zugenommen und das Ausmass der Sturmschäden wesentlich mitbestimmt*

Das könnte eine Spätfolge von Verletzungen an Stammfuss oder Derbwurzeln bei der Holzernte sein.

Massnahmen zur Vermeidung von Ernteschäden (Wahl geeigneter Verfahren und Rückemittel, Z-Baum-Markierung, Abweisereinsatz) sind selbst dann wirtschaftlich, wenn nur die Holzentwertung durch Fäule berücksichtigt wird (Butora, Schwager, 1986). Noch viel wichtiger werden sie, wenn die Sturmgefährdung in Rechnung gestellt wird. Die Behandlung von Wunden und Stökken durch chemische Schutzmittel ist ein wichtiges Mittel zur Vermeidung von Infektionen, auch wenn die Fachleute über das optimale Vorgehen noch nicht einig sind.

3. *Die Wurzelfäule der Fichte ist noch häufiger als die Stammfäule und 1990 wie schon 1967 eine der wichtigsten Ursachen für die Grösse der Schäden.*

Sie ist fast völlig unerforscht. Unklar ist, ob auch sie eine rezente Erscheinung ist und sich in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts ausgebreitet hat, obwohl sie in den letzten 20 Jahren ungefähr konstant geblieben ist. Die primären Ursachen sind nicht bekannt. Jedenfalls spricht nichts dafür, dass auch die Wurzelfäule durch Verletzungen bei der Holzernte wesentlich gefördert worden wäre.

Vorläufig kann nur empfohlen werden, weniger Fichten zu pflanzen, vor allem dort, wo im alten Bestand besonders viele Bäume faul waren.

4. *Die Buche war 1967 eine widerstandsfähige Baumart; 1990 war sie, zumindest in Teilen des schweizerischen Mittellandes, beinahe so anfällig wie Fichte und Tanne.*

Geworfene Buchen weisen oft ein auffallend kleines Wurzelwerk auf; die primäre Ursache ist rätselhaft.

Bisher wurde angenommen, dass in Zukunft ein grosser Teil der Sturmschäden vermieden werden könnte, wenn nur weniger auf Fichte und Tanne verjüngt würde. Wenn aber andere wichtige Baumarten ihre Stabilität innerhalb 24 Jahren derart verändern können, muss sogar dieses einfache Rezept hinterfragt werden.

5. *Bäume mit verlichteten Kronen sind sturmanfälliger als Bäume mit geringem Nadel-/Blattverlust (Lätt 1991, Schmid-Haas 1991).*

Infektionen in Wurzeln oder Stamm könnten diesen Zusammenhang erklären. Die primären Ursachen bleiben aber unbekannt.

6. *Krankheiten spielen im Wald eine viel grössere Rolle, als man meint. Viele sind im Innern des Baumes oder im Wurzelbereich und deshalb nicht sichtbar. Die Verschlechterung des Gesundheitszustandes und die Verringerung der Stabilität, welche die Stürme von 1967 und 1990 offenbart haben, müssen zu grösster Sorge Anlass geben.*

Soweit die primären Ursachen bekannt sind (unsorgfältige waldbauliche Eingriffe, Verwundungen bei der Holzernte), müssen sie in Zukunft so weitgehend wie möglich vermieden werden, wo man weder die primären Ursachen noch die physiologischen Zusammenhänge kennt, muss endlich die Forschung intensiviert werden.

Verdankungen

Die lokalen und kantonalen Forstdienste im Aufnahmegebiet haben uns ausnahmslos sehr bereitwillig unterstützt. Allen, auch den Mitarbeitern im Hause, sei für ihre wertvolle Hilfe gedankt.

Résumé

Les dangers menaçant les arbres et les peuplements abîmés par les tempêtes

Des relevés par échantillonnage ont été effectués dans 73 peuplements parsemés de dégâts consécutifs aux tempêtes afin d'étudier les dangers auxquels sont exposés ces arbres et peuplements. Les résultats ont été comparés avec un projet analogue réalisé en 1967, ce qui a permis d'estimer les modifications qui se sont produites au cours des 23 dernières années:

- La pourriture du tronc de l'épicéa s'est fortement aggravée depuis 1967 et toute l'ampleur des dégâts consécutifs aux tempêtes y a largement contribué.
- La pourriture des racines de l'épicéa est encore plus fréquente que celle du tronc. En 1990, tout comme en 1967 déjà, elle représente l'une des causes principales de l'étendue de ces dégâts.
- En 1967, le hêtre était une essence résistante; en 1990 elle est devenue presque aussi vulnérable que les épicéas et sapins, tout au moins dans certaines parties du Plateau suisse.

Des analyses complémentaires montrent que les arbres souffrant de transparence du houppier sont plus sensibles aux conséquences des tempêtes que ceux atteints d'une légère perte foliaire. Les infections aux racines et au tronc pourraient expliquer ce phénomène.

Traduction: *Monique Dousse*

Literatur

Abetz, P. (1976): Reaktionen auf Standraumerweiterungen und Forderungen für die Auslesedurchforstung bei Fichte. Allg. Forst- und J.-Ztg., *147:* 72–75.

Abetz, P., Prange, H. (1976): Schneebruchschäden vom März 1975 in einer Kiefern-Versuchsfläche mit geometrischen und selektiven Eingriffen in der Nordbadischen Rheinebene. Allg. Forstz., *31:* 583–586.

Bazzigher, G., Schmid-(Haas) P. (1969): Sturmschaden und Fäule. Schweiz. Z. Forstw. *120,* 10: 521–535; Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes., Ber. 29: 1–15.

Bosshard, W. (1967): Erhebungen über die Schäden der Winterstürme 1967. Schweiz. Z. Forstw., *118,* 12: 806–820.

Butora, A., Schwager, G. (1986): Holzernteschäden in Durchforstungsbeständen. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes., Ber., 288: 1–51.

Drescher, W. (1965): Aus der Bestands- und Ertragsgeschichte von Beständen des südlichen Hochschwarzwalds. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württembergs, *19,* 58 S. + 34 Abb.

Eggenberger, U. (1985): Charakterisierung der Plenterverfassung in Wäldern des Bergsturzgebietes von Flims. Schweiz. Z. Forstw., *136,* 6: 503–513.

Fischer, U., Reiter, Chr. (1985): Waldschadeninventur, OBG Oberentfelden 1985, Vervielfältigung, 15 S.

Fritsche, K. (1933): Sturmgefahr und Anpassung. Tharandter Forstliches Jb., *84,* 1: 1–94.

Heger, A. (1948): Die Sicherung des Fichtenwaldes gegen Sturmschäden. Neumann Verlag, Radebeul und Berlin, 76 S.

Keller, W. (1978): Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *54,* 1: 3–98.

Kohlstock, N., Lockow, K. (1981): Mathematisch-statistische Untersuchungen über die Sturmgefährdung rationell gepflegter Kieferjungbestände – ein Beitrag zur Erhöhung der Betriebssicherheit. Beitr. Forstwirtsch., S. 1–7.

Lätt, N. (1991): Zum Zusammenhang zwischen Kronenschäden und Windfallholzanteil. Schweiz. Z. Forstwes. *142:* 109–131.

Leibundgut, H. (1969): Erhöht eine starke Durchforstung die Windwurfgefahr? Schweiz. Z. Forstw. *120:* 110–112.

Lessel-Dummel, A. (1981): Der Kiefernschneebruch 1968 und 1975 im Pfälzer Wald. Diss. Univ. Freiburg. 235 S.

Marsch, M. (1986): Untersuchungen der Stabilität von Einzelbäumen und Beständen gegen abiotische Schadfaktoren, insbesondere Sturm und Schnee. Techn. Univ. Dresden, Sekt. Forstwirtsch. Tharandt. Preprint 21-01-86, 1986.

Mayer, H. (1980/81): Zur Optimierung ökologischer, waldbaulicher und ökologischer Faktoren in der Forstwirtschaft Österreichs. Int. Holzmarkt, S. 6–8 und S. 12–19.

Meng, W. (1978): Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart, Band 53, 159 S.

Prien, S., Leydolph, M. (1974): Ursachen und begünstigende Faktoren für Sturmschäden im Mittelgebirge. Beitr. Forstwirtsch., S. 69–76.

Prpič, B. (1969): Über den Einfluss von Stammform und Standort auf die Sturmfestigkeit der Fichte. Schweiz. Z. Forstwes., *120:* 145–154.

Putz, W. (1968): Die Windwurfkatastrophe im Bereich der Forstverwaltung Gusswerk. Allg. Forstztg. Wien. S. 147–148.

Richter, J. (1990): Lassen sich waldbauliche Konsequenzen aus den Sturmschäden im Januar/Februar 1990 ableiten? Allg. Forstz. München, 30–31, S. 766–768.

Rottmann, M. (1986): Wind und Sturmschäden im Wald, Frankfurt am Main: J. D. Sauerländer's Verlag, 128 S.

Schlaepfer, R., Mandallaz, D., Commarmot, B., Günter, R., Schmid, B. (1985): Der Gesundheitszustand des Waldes im Revier Schaffhausen. Schweiz. Z. Forstw. *136,* 1: 1–18.

Schmid-Haas, P., Masumy, S. A., Niederer, M., Schweingruber, F. H., (1986): Zuwachs- und Kronenanalysen an geschwächten Tannen. Schweiz. Z. Forstwes., *137,* 10: 811–832.

Schmid-Haas, P., Ursächliche Zusammenhänge zwischen Nadelverlust, Zuwachs, Sturmgefährdung und Fäule. Schweiz. Z. Forstwes., *142:* 505–512.

Thomasius, H. (1980): Wissenschaftliche Grundlagen der «Rahmenrichtlinien zur Behandlung bruchgeschädigter Fichten- und Kiefernbestände». Soz. Forstwirtschaft, S. 364–373.

Thomasius, H. (1990): Vorkommen, Bedeutung und Bewirtschaftung der Fichte in der DDR. Forstw. Cbl. *109:* 138–151.

Tomiczek, Ch. (1990): Forstpathologische Erhebungen im Gebiet der Glein (I), Wurzel- und Stammfäuleuntersuchungen an Fichten. Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 163. Heft, Band III: 39–57.

Wagner, Ch. (1914): Die Grundlagen der räumlichen Ordnung im Walde. Tübingen: Laupp. 384 S.

Wangler, F. (1974): Die Sturmgefährdung der Wälder in Südwestdeutschland. – Eine waldbauliche Auswertung der Sturmkatastrophe 1967. Diss. Univ. Freiburg, 226 S.

Wölfle, M. (1950): Waldbau und Forstmeteorologie. München: BLV, 68 S.

Zingg, A. (1988): Schweizerisches Landesforstinventar 1982–1986, Anleitung für die Feldaufnahmen. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 304: 1–117.

Verfasser: Dr. Paul Schmid-Haas und Hansheinrich Bachofen, dipl. Forsting. ETH, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, (WSL), CH-8903 Birmensdorf.