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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 142 (1991)

Heft: 6

Artikel: Ursächliche Zusammenhänge zwischen Nadelverlust, Zuwachs, Sturmgefährdung und Fäule

Autor: Schmid-Haas, Paul

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766481

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: 09.07.2025

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

Ursächliche Zusammenhänge zwischen Nadelverlust, Zuwachs, Sturmgefährdung und Fäule

Von *Paul Schmid-Haas*

FDK: 181.62: 421.1: 443.3: 56

Einleitung

Nach wie vor sind wir weit davon entfernt, den Gesundheitszustand und die Stabilität des Waldes beurteilen zu können. Dazu muss der gesamte Kausalnexus, das komplexe ökologische und physiologische Ursachen-Wirkungsgeflecht, besser verstanden werden.

Neben pathologischen, chemischen und physiologischen Untersuchungen scheinen Beobachtungen über statistische Zusammenhänge zwischen Kronenverlichtung und Zuwachs, den vielleicht wichtigsten beiden Phänomenen für die Beurteilung des Gesundheitszustandes, und neuestens zwischen Kronenverlichtung und Sturmschäden zur Erkenntnis einiger physiologischer Zusammenhänge beizutragen. Insbesondere wird verständlich, warum Zuwachsunterschiede zwischen benachbarten Bäumen mit verschieden grossen Nadelverlusten, aber gleicher sozialer Stellung so gross sein können, dass sie nicht durch die unterschiedliche Nadelmasse allein erklärbar sind. Die gleichen ursächlichen Beziehungen könnten auch erklären, warum Bäume mit etwas grösseren Nadelverlusten weniger stabil gegen Stürme sein können als auf gleichem Standort stockende Bäume mit gleichen Merkmalen, aber geringeren Nadelverlusten.

Damit wird ein Glied im Kausalgeflecht besser verstanden, sowohl die Differentialdiagnose der Krankheit oder der Schädigung als auch ihre primären Ursachen bleiben aber offen.

Kronenverlichtung und Sturmanfälligkeit

Die Vorratsanteile der vom Sturm im Februar 1990 gefällten Bäume sind statistisch hoch signifikant mit der auf Infrarot-Farbluftbildern ermittelten Schadintensität korreliert *(Lätt* 1991). Im Forstbetrieb Lenzburg sind die in 89

Abteilungen angefallenen Holzmengen zu verschiedenen Standorts- und Bestandesmerkmalen in Beziehung gesetzt worden. Die auf Luftbildern von 1984 bestandesweise ermittelten Schädigungen der Baumkronen sind dazu über alle Bestände einer Abteilung gemittelt worden. Multiple Regressionsrechnungen zeigen, dass die Windfallanteile der meisten vorkommenden Baumarten (insbesondere Fichten, Tannen und Buchen) neben einer lokalen Standortsvariablen (Höhe über Meer) vor allem von der Kronenverlichtung abhängig sind.

Dieses überraschende und interessante Resultat konnte im Forstbetrieb Zofingen überprüft werden. Auch dort konnten die Resultate der Waldschadenkartierung des Kantons Aargau (Luftbilder 1984, Massstab 1 : 9000, Interpretation Ch. Dürr) mit der lokalen Verteilung der Sturmschäden verglichen werden. In den vom Betriebsleiter E. Steiner ausgeschiedenen 45 Sturmschadenflächen war die Häufigkeit der auf den Luftbildern als geschädigt angesprochenen Kronen knapp signifikant grösser als auf den übrigen Waldflächen.

Mit methodisch völlig anders gewonnenen Daten wurde der gleiche Zusammenhang in Oberentfelden untersucht. 1985 waren in einem systematischen Netz von 100 m x 100 m 274 Kontroll-Stichprobeflächen von je 500 m² ausgelegt und darin alle Baumkronen vom Boden aus auf ihre Blatt-/Nadelverluste und einige andere Merkmale angesprochen worden (*Fischer* und *Reiter* 1985).

Tabelle 1. Resultate der multiplen logistischen Regressionen mit Einzelbaumwerten ab Alter 50, Oberentfelden. Art (Vorzeichen) und Irrtumswahrscheinlichkeit p für die signifikanten Zusammenhänge mit der Windfallgefährdung 1990.

Einflussgrösse	*Fichte*		*Tanne*		*Buche*
	Art (Vorzeichen)	*p*	*Art (Vorzeichen)*	*p*	
Bonität			–	<0,01	
Höhe ü.M.	+	<0,01			
Exposition	max. N	<0,01			
Neigung	–	<0,01	–	<0,01	
Alter	max. 70–90 J.	<0,02			
BHD	–	<0,01			
Soz. Stellung					
Kronenlänge					
Klebäste					
Blattverlust	+	= 0,01	+	<0,02	
Anzahl Bäume	629		314		213
davon Windfall	118		54		1
	19%		17%		<1%

Nach dem dort besonders verheerenden Sturm wurde überprüft, welche Bäume vom Sturm gefällt worden sind und welche ihn überlebt haben. Diese Einzelbaumresultate wurden mit Hilfe einer multiplen logistischen Regression mit allen bekannten Standorts-, Bestandes- und Einzelbaummerkmalen in Be-

ziehung gesetzt *(Tabelle 1)*. Da die Kronenansprache in Jungbeständen und bei unterdrückten Bäumen besonders schwierig ist, wurden nur vorherrschende, herrschende und mitherrschende Bäume in mindestens 50 Jahre alten oder ungleichaltrigen Beständen berücksichtigt. Ungefähr 18 Prozent dieser Fichten und Tannen sind vom Sturm gefällt worden. Die Sturmgefährdung ist bei beiden Baumarten etwa gleich gross und von einigen Standorts- und Bestandesmerkmalen abhängig. Bemerkenswert ist, dass ähnlich wie in der allgemeinen Sturmschadenuntersuchung *(Schmid-Haas* und *Bachofen* 1991) die Sturmgefährdung der Fichte in der Altersklasse 70 bis 90 Jahre am grössten, bei den jüngeren Beständen viel geringer und auch bei den ältesten Beständen wieder kleiner ist. Vor allem kann für beide Baumarten das wichtigste Resultat von Lenzburg und Zofingen bestätigt werden: die Sturmgefährdung nimmt mit grösser werdendem Nadelverlust statistisch signifikant zu. Die Buche hat in Oberentfelden im Gegensatz zum 10 km entfernten Lenzburg dem Sturm sehr gut standgehalten.

In mehreren Forstbetrieben konnte also bewiesen werden, dass Kronenverlichtung und Sturmgefährdung miteinander korreliert sind. Bäume mit verlichteter Krone sind etwas stärker gefährdet als Bäume mit dichter Krone, obwohl sie dem Wind eine geringere Angriffsfläche bieten. Dieses auf den ersten Blick erstaunliche Resultat besagt, dass Fichten, Tannen und vielleicht auch andere Arten mit verlichteten Kronen weniger standfest sind oder dass ihre Stämme leichter brechen.

Die Kronenverlichtung kann nicht die direkte Ursache für eine erhöhte Sturmgefährdung sein. Eine statistische Beziehung zwischen Kronenverlichtung und Sturmgefährdung ist daher nur erklärbar, wenn ein dritter Faktor sowohl mit der Kronenverlichtung als auch mit der Sturmgefährdung kausal verbunden ist. Der weitaus wichtigste bekannte Faktor für die Erhöhung der Sturmgefährdung ist die Fäulnis in Wurzeln und Stamm (Schmid-Haas und Bachofen 1991). Auch Kronenverlichtungen könnten zumindest teilweise mit Fäulnis in Wurzeln oder Stamm zusammenhängen. In Europa liegen darüber noch nicht viele Untersuchungen vor. Immerhin konnte beispielsweise in Norditalien nachgewiesen werden, dass bei der Fichte das Auftreten von Hallimasch *(Armillaria)* eng mit den Nadelverlusten korreliert ist, das Auftreten der Rotfäule *(Heterobasidion annosum)* allerdings nicht. Hingegen ist das Auftreten beider holzzerstörender Pilze mit den Nadelverlusten der Tanne korreliert *(Anselmi* und *Minerbi* 1988). Denkbar ist auch, dass Mikroorganismen im Wurzelraum das Wachstum von Feinwurzeln hemmen oder ihr Absterben beschleunigen und auf diese Art eine Verringerung der Standfestigkeit der Bäume und zugleich Nadelverluste bewirken.

Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Infektionen im Wurzelraum oder Stamm mit den Nadelverlusten würde erklären, warum Kronenverlichtung und Sturmgefährdung korreliert sind, und zudem begreiflich machen, warum sehr häufig einzelne Bäume viel schlechter aussehen als unmittelbar daneben-

stehende mit gleicher sozialer Stellung, also mit praktisch gleichen Standortsbedingungen und ursprünglich ungefähr gleicher Vitalität: der eine Baum ist zufällig infiziert worden, der andere nicht.

Kronenverlichtung und Zuwachs

In den meisten jahrringanalytischen und ertragskundlichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass Fichten und Tannen mit verlichteten Kronen weniger rasch wachsen als Bäume mit dichten Kronen im gleichen Bestand. Starke Kronenverlichtungen müssen natürlich zu einer Beeinträchtigung der Biosynthese des Baumes und schliesslich zu einer Verlangsamung des Wachstums führen. Mehrere Gründe sprechen jedoch dafür, dass die beobachteten Unterschiede nicht immer durch diese direkte kausale Beziehung allein erklärt werden können (Schmid-Haas 1990):

Erstens sind die beobachteten Zusammenhänge zwischen Nadelverlust und Zuwachs vielerorts schon bei relativ geringen Kronenverlichtungen ziemlich eng. Dabei sind doch vor allem Nadeln alter Jahrgänge und stark beschattete Nadeln vorzeitig abgefallen und sowohl aus ertragskundlichen Versuchen (Günastung) als auch von Gaswechselmessungen weiss man, dass diese Nadeln höchstens einen sehr bescheidenen Beitrag zum Zuwachs geleistet hätten. Im Gegensatz zu verschiedenen Untersuchungen in den Nachbarländern sind im schweizerischen Mittelland und Jura bei Fichten und Tannen mit einem Nadelverlust von 30 Prozent durchschnittlich nur halb so grosse Zuwächse festgestellt worden wie bei unmittelbar daneben stehenden voll benadelten Bäumen gleicher sozialer Stellung. Bei sehr detailliert untersuchten Fichten und Tannen berichten auch *Dong* und *Kramer* (1985) von ähnlich engen Beziehungen aus Norddeutschland. Im französischen Jura wurden für Nadelverluste von 20 Prozent bei der Tanne Minderzuwächse von durchschnittlich 40 Prozent gefunden (*Bert* und *Becker* 1990). In einer sich über weite Teile Österreichs erstreckenden Untersuchung an Fichten entspricht einer Nadelverlustdifferenz von 10 Prozent auf 30 Prozent immerhin eine mittlere Zuwachsdifferenz von 20 Prozent (*Eckmüllner* 1988). Diese relativ geringen Nadelverluste können nicht alleinige Ursache für die grossen Zuwachsunterschiede sein.

Zweitens wurde meist nicht nur eine enge Korrelation der Nadelverluste mit dem rezenten Zuwachs, sondern auch mit dem Zuwachs vor 10, 20 und mehr Jahren gefunden, obwohl bei der Fichte erst seit wenigen Jahren grössere Nadelverluste festgestellt worden waren. Die zeitliche Abfolge entspricht also nicht der postulierten ursächlichen Beziehung.

Drittens war der mittlere Zuwachs der Fichte in vielen Betrieben des schweizerischen Mittellandes wie auch in weiten Regionen Süddeutschlands seit Jahrzehnten grösser als normal. Die voll benadelten Fichten müssen die

Zuwachseinbussen der verlichteten Bäume also mindestens kompensiert haben.

Das Fehlen von Nadeln scheint daher nur teilweise die Ursache für den geringeren und oft immer kleiner werdenden Zuwachs von Fichten mit verlichteten Kronen zu sein.

Umgekehrt könnte ein während Jahren klein bleibender Durchmesserzuwachs in einer Stresssituation Anlass zu erhöhten Nadelverlusten geben. Nach *Shortle* und *Smith* (1988) bleibt die Anzahl der Jahrringe, die noch nicht verkernt sind, ungefähr konstant. Die physiologisch aktive Querschnittsfläche des Splintholzes ist daher ungefähr proportional zur mittleren Jahrringbreite. Da die Splintholzfläche bekanntlich eine grosse Bedeutung sowohl für den Stofftransport als auch als Speicher von Reservestoffen hat *(Bamber* und *Fukazawa* 1985), können Bäume mit grossem Zuwachs und damit grosser Splintholzfläche in einer Stresssituation besser reagieren und verlieren vielleicht aus diesem Grunde weniger Nadeln. Damit könnte der Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Zuwachs teilweise erklärt werden, offen bliebe aber auch in diesem Fall die Frage, warum die Zuwächse von Bäumen gleicher sozialer Stellung innerhalb eines homogenen Bestandes seit Jahrzehnten so verschieden waren.

Der teilweise enge statistische Zusammenhang zwischen Nadelverlust und Zuwachs kann aber auch ohne eine direkte ursächliche Beziehung zwischen diesen beiden Grössen entstanden sein. Ein unbekannter Faktor oder eine individuelle Eigenschaft der Bäume kann einen seit Jahren kleineren Zuwachs bewirkt und in einer Stresssituation zu einem grösseren Nadelverlust geführt haben. Die beobachteten Beziehungen wären damit eher besser erklärbar.

Eine gemeinsame Ursache

Die Vermutung liegt nahe, dass Nadelverluste, Zuwachs und Sturmanfälligkeit zumindest teilweise von einem gemeinsamen Faktor gesteuert werden. Dabei muss es sich um eine Eigenschaft handeln, die grosse individuelle Reaktionsunterschiede bewirken kann. Für die Sturmanfälligkeit kommt nur eine Eigenschaft in Frage, welche die Standfestigkeit oder die Bruchfestigkeit der Stämme beeinflusst. Eine besonders plausible Erklärung können Infektionen im Wurzel- oder Stammbereich durch Fäulepilze oder Mikroorganismen liefern, die das Wurzelsystem oder den Stamm wesentlich schwächen. Von einer Infektion wird ein Baum ziemlich zufällig betroffen oder verschont. Grosse Unterschiede zwischen ähnlich veranlagten Bäumen wären damit erklärbar.

Fäulen in Stamm und Derbwurzeln haben fast die Hälfte der grossen Sturmschäden von 1990 mitverursacht (Schmid-Haas und Bachofen 1991). Weniger

bekannt ist, wieso Fäule den Zuwachs und den Nadelverlust so stark beeinflussen kann. Eine kurze Übersicht über die Literatur zeigt aber, dass mehrere physiologische Erklärungen existieren.

Fäule, die sich im Splintholz ausbreitet, reduziert die physiologisch wirksame Querschnittsfläche des Stammes und engt damit die Reaktionsfähigkeit des Baumes ein. Dieser Einfluss dürfte ungefähr proportional zum befallenen Splintholzanteil zunehmen und kann daher für sich allein die relativ engen Zusammenhänge zwischen Sturmgefährdung und Nadelverlust respektive Zuwachs und Nadelverlust nicht erklären.

Bei vielen Baumarten und Befall durch verschiedene Arten von Pilzen wurde eine Barrierenbildung festgestellt, welche die weitere Ausbreitung des Pilzes verhindern soll *(Tippett* und *Shigo* 1981). *Tomiczek* (1990) zeigt, dass die Fichte bei der Barrierenbildung gegen Kernfäule grosse Mengen an Kalium und Kalzium einlagert und erklärt damit, warum der von *Sinner* und *Rehfuss* (1972) festgestellte Zusammenhang zwischen Kaliummangel in den Nadeln und Fäulebefall im Stamm entstehen kann. Im Nasskern der Weisstanne und der Balsamtanne stellen Shortle und *Bauch* (1986) ebenfalls doppelt so hohe Konzentrationen von Kalium als im übrigen Stamm fest. Verkernung und Fäule in den Derbhwurzeln scheinen ähnliche Wirkungen zu zeigen wie im Stamm.

Einerseits mag also ein Zuwachsrückgang zu einer Verkleinerung der Splintholzfläche führen, zu rasche Verkernung oder Fäule können das Splintholz zusätzlich reduzieren, anderseits können Abwehrmechanismen des Baumes gegen Pilze zu Mangelerscheinungen, insbesondere zu Kaliummangel in den Nadeln, führen.

Besonders drastisch könnte sich ein reduziertes Wachstum oder ein zu rasches Absterben der Feinwurzeln auf Zuwachs und Reaktionsvermögen des Baumes auswirken. Über diese Prozesse, deren Untersuchung im Bestand besonders schwierig ist, ist noch wenig bekannt *(Blaschke* 1986, *Courtois* 1990, Courtois und *Ruschen* 1987, *Eichhorn* 1991, *Schönhar* 1986). Dabei genügt es schon, wenn sich beim normalen Wachsen und Absterben die Mykorrhizierung der Feinwurzeln verändert. *Estivalet et al.,* 1990, um nur ein Beispiel zu nennen, finden bei Fichtensämlingen, dass eine schädliche Mikroflora, vermutlich Pilze, bei zu geringem Ca-Gehalt oder zu tiefem pH des Bodens die Mykorrhizierung verschlechtert und somit die Nährstoffaufnahme vermindert. Genau genommen dürfen sich derartige Untersuchungen allerdings nicht auf Sämlinge beschränken, denn das Phänomen der Kronenverlichtungen wird vor allem in älteren Waldbeständen beobachtet und muss daher auch dort untersucht werden.

Infektionen im Wurzelraum oder Stamm können eine erhöhte Sturmanfälligkeit und grosse Zuwachsunterschiede zwischen benachbarten Bäumen ohne weiteres erklären. Insbesondere bei Stresssituationen, beispielsweise in einer Trockenperiode, können sie Anlass zu grossen und sehr unterschiedlichen Nadelverlusten geben.

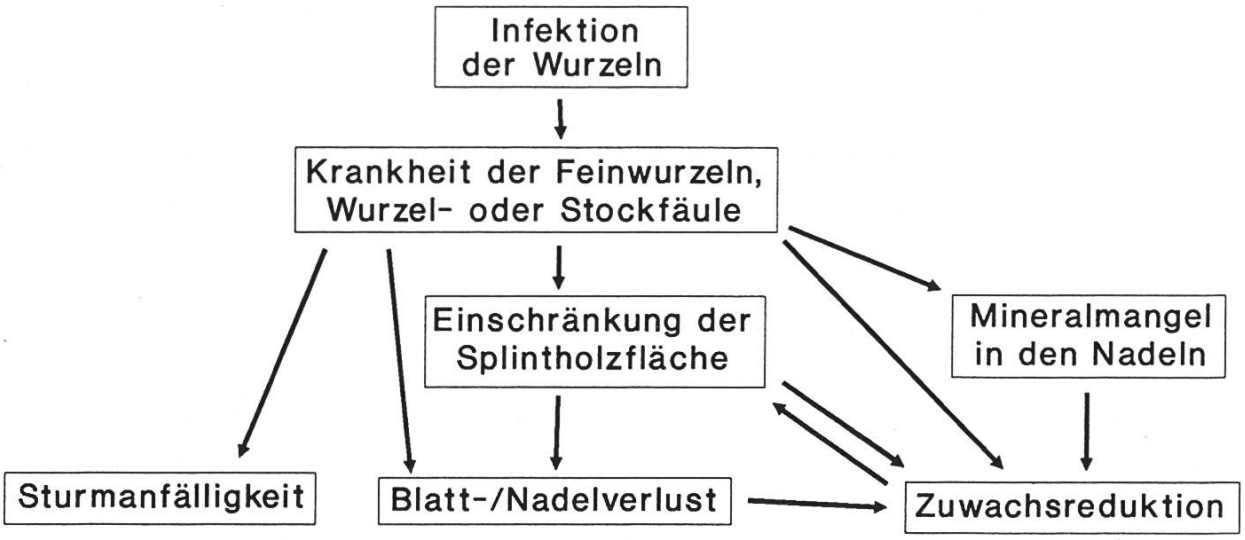

Abbildung 1. Ursächliche Beziehungen: Eine Infektion im Wurzelbereich könnte erklären, warum Zuwachs, Kronenverlichtung und Sturmanfälligkeit eng korreliert sind und warum die Unterschiede zwischen Bäumen gleicher sozialer Stellung im gleichen Bestand oft so gross sind.

Die genaue Physiologie der Prozesse ist nicht bekannt, vieles bleibt zu überprüfen. Aber die Hypothese, wie sie in *Abbildung 1* graphisch dargestellt ist, würde eine Vielzahl von Beobachtungen an Fichten besser erklären als irgend eine bekannte Alternative. Bei anderen Baumarten wären ähnliche Erklärungen möglich.

Die primären Ursachen, welche die Infektion und damit all die bekannten Schadphänomene gefördert haben, wären damit allerdings nach wie vor nicht geklärt.

Résumé

Relations de causes à effets entre la perte foliaire, l'accroissement, la pourriture et les dangers consécutifs aux tempêtes

L'appréciation de l'état sanitaire et de la stabilité de la forêt s'articule autour des nombreuses relations de causes à effets qu'il importe de mieux connaître. L'hypothèse est émise qu'une infection développée dans la zone racinaire provoquerait un ralentissement de la croissance, aggraverait la défoliation de l'arbre soumis à des stress et diminuerait sa stabilité sous l'effet des tempêtes. Cette conjecture rendrait concevable, tout au moins en ce qui concerne les épicéas et les sapins, certains faits difficilement explicables que sont les relations statistiques entre la perte foliaire, l'accroissement et les dangers consécutifs aux tempêtes. Elle explique aussi pourquoi des arbres occupant la même position sociale qui avaient grandi les uns à côté des autres à un rythme semblable, présentent aujourd'hui des houppiers de densités très différentes. Les questions relatives aux causes primaires restent cependant sans réponse.

Traduction: *Monique Dousse*

Anselmi, N., Minerbi, S. (1989): Root Rots Involved in Forest Decline in Italy. Proceedings of the Seventh International Conference on Root and Butt Rots. Forestry Canada, Pacific Forestry Centre, Victoria BC, 503–512.

Bamber, R. K., Fukazawa, F. (1985): Sapwood and Heartwood: A Review. Forestry Abstract *46,* 567–580.

Bert, G. D., Becker, H. M. (1990): Vitalité actuelle et passée du sapin *(Abies alba* Mill.) dans le Jura. Etude dendroécologique. Ann. sci. for. *47,* 395–412.

Blaschke, H. (1986): Vergleichende Untersuchungen an Feinwurzeln und Mykorrhizen von Fichten in Waldschadensgebieten. Forstw. Cbl. *105,* 477–487.

Courtois, H. (1990): Endophytische Mikropilze in Fichtenfeinwurzeln. Allg. Forst- u. J.-Ztg. *161,* 189–198.

Courtois, H., Ruschen, G. (1987): Haben wurzelinfizierende Mikropilze Einfluss auf das «Waldsterben»? Allg. Forst- u. J.-Ztg. *158,* 189–194.

Dong, P. H., Kramer, H. (1985): Beziehungen zwischen Zuwachs und Kronenparametern in immissionsgeschädigten Nadelholzbeständen. Deutscher Verband Forstl. Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde, Tagung Kälberbron 1985, 15/1–25.

Eckmüllner, O. (1988): Neuartige Waldschäden. Benadelung und Zuwachs von Fichte. Kooperationsabkommen Forstwirtschaft–Platte–Papier, Wien, 24 S.

Eichhorn, J., Grabowski, H. (1991): Immissionsbelastung des Bodenlebens und der Baumwurzeln. AFZ, 70–73.

Estivalet, D., Perrin, R., Le Tacon, F., Bouchard, D. (1980): Nutritional and microbiological aspects of decline in the Vosges Forest area (France). Forest Ecology and Management *37,* 233–248.

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

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

Schmid-Haas, P. (1990): Kronenverlichtung und Waldwachstum. Schweiz. Z. Forstwes. *141,* 189–209.

Schmid-Haas, P., Bachofen, H. (1991): Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen. Schweiz. Z. Forstwes. *142,* 477–504.

Schönhar, S. (1986): Infektionsversuche an Fichten- und Kiefernkeimlingen mit aus kranken Fichtenfeinwurzeln isolierten Pilzen. Allg. Forst- u. J.-Ztg. *157,* 97–98.

Shortle, W. C., Bauch, J. (1986): Wood characteristics of *Abies balsamea* in the New England states compared to *Abies alba* from sites in Europe with decline problems. IAWA Bulletin n. s. 7, 375–387.

Shortle, W. C., Smith, K. T. (1988): Aluminium-Induced Calcium Deficiency Syndrome in Declining Red Spruce. Science 240, 1017–1018.

Sinner, K. F., Rehfuss, K. E. (1972): Wirkungen einer *Fomes annosus*-Kernfäule auf den Ernährungszustand älterer Fichten *(Picea abies* Karst.). Allg. Forst- u. J.-Ztg. *143,* 74–80.

Tippett, J. T., Shigo, A. L. (1981): Barriers to decay in conifer roots. Eur. J. For. Path. *11,* 51–59.

Tomiczek, C. (1990): Forstpathologische Erhebungen im Gebiet der Glein (III), Wurzel- und Stammfäulen – eine mögliche Ursache von Nährelementmangel in Fichtennadeln. Mitt. forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 163/III, 71–97.

Verfasser: PD Dr. Paul Schmid-Haas, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.