

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 145 (1994)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Kronenverlichtung der Fichte als Indiz für mangelhafte Gesundheit und Stabilität : Fäule in den Stützwurzeln als eine der Ursachen  
**Autor:** Schmid-Haas, Paul  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-766596>

### **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:** 31.12.2025

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

# Kronenverlichtung der Fichte als Indiz für mangelhafte Gesundheit und Stabilität

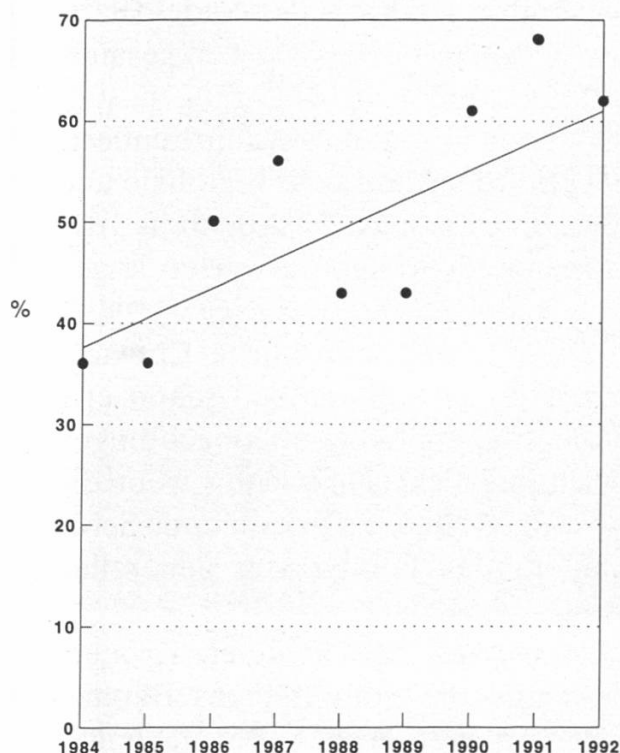
## Fäule in den Stützwurzeln als eine der Ursachen

Von Paul Schmid-Haas

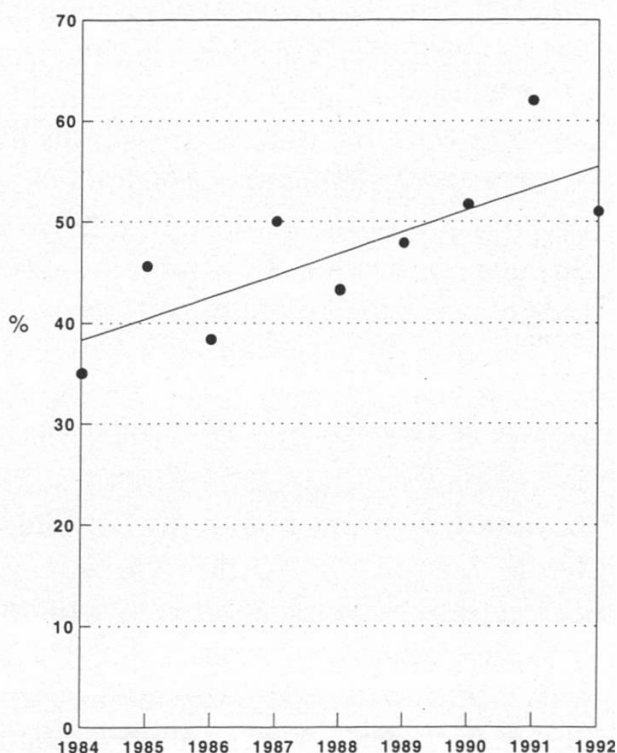
FDK 174.7 Picea: 416.3: 48

### Einleitung

Die Häufigkeit der Bäume mit einem Nadel-/Blattverlust von mehr als 10 % ist in der Schweiz seit 1985 von 36 % auf 62 % (*Abbildung 1*), diejenige der Bäume mit mindestens 30 % Nadel-/Blattverlust von 8 % auf 16 % angestiegen.



*Abbildung 1.* Die Entwicklung des gewichteten Anteils der Bäume mit mehr als 10 % Nadel-/Blattverlust in der Schweiz seit 1984, alle Baumarten (*Sanasilva*, 1992).



*Abbildung 2.* Die Entwicklung des gewichteten Anteils der Bäume mit mehr als 10 % Nadel-/Blattverlust in der Schweiz seit 1984 nach Elimination des Einflusses der Niederschlagssumme in den Monaten August bis Oktober des Vorjahres.

Die Zunahme der Nadel-/Blattverluste könnte durch die Witterung in diesen Jahren bedingt sein. *Schlaepfer* (1990) hat gezeigt, dass die Häufigkeit der Bäume in der untersten Nadel-/Blattverluststufe vor allem von der Niederschlagssumme in den Monaten August bis Oktober des Vorjahres abhängig ist. Wenn dieser Witterungseinfluss statistisch eliminiert wird, kann man überprüfen, wie sich die Häufigkeiten entwickelt hätten, wenn die Niederschläge im August bis Oktober jedes Jahr gleich gross gewesen wären (*Abbildung 2*). Der Trend ist tatsächlich etwas weniger stark und war also teilweise durch einen Witterungstrend erklärbar; weil sich aber gleichzeitig die Reststreuung verkleinert hat, ist der verbleibende statistische Zusammenhang zwischen dem Kalenderjahr und der Häufigkeit der Bäume mit mehr als 10 % Nadel-/Blattverlust nach wie vor signifikant ( $p < 0,01$  gemäss Rangtest von Kendall).

Im Sommer 1992 wiesen immer noch 83 % der Fichten 0 % bis 25 % Nadelverlust und nur wenige Bäume mehr als 40 % Nadelverlust auf (*Sana-silva*, 1992). Die Veränderungen haben sich also im wesentlichen im Bereich geringer und mässiger Kronenverlichtungen abgespielt. Da Fichten im allgemeinen zuerst alte und beschattete Nadeln verfrüht verloren haben, ist die physiologische Bedeutung dieser Veränderungen nicht klar.

Bei einer spezifischen Schädigung würde man zudem erwarten, dass auch andere Symptome auftreten, dass ein Syndrom erkennbar wäre. Bisher ist aber kein Merkmal beobachtet worden, das sich ähnlich stark wie der Nadel/Blattverlust verändert hat. Insbesondere war der Zuwachs bis 1983, soweit gesamtschweizerische Daten existieren, im Durchschnitt nicht zurückgegangen, sondern teilweise bedeutend grösser als in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts (*Bräker*, 1992, *Schlaepfer*, *Haemmerli*, 1990). Seitdem sind zwar regionale und lokale Unterschiede festgestellt worden, eine generelle Abnahme des Zuwachses, wie sie die Zunahme der Kronenverlichtungen erwarten lassen könnte, ist jedoch nicht eingetreten.

Die zunehmende Kronenverlichtung könnte eine bedrohliche Entwicklung aufzeigen, umso mehr als die Veränderungen bekanntlich schon eingesetzt haben, bevor man 1984 mit systematischen Kronenbeobachtungen begonnen hat. Andererseits wäre diese Entwicklung nicht sehr wichtig, wenn die Kronenverlichtung kein Indiz für eine schwieriger direkt zu erkennende Schädigung darstellen würde, wie das vor allem das Fehlen von generellen Zuwachseinbussen anzudeuten scheint.

Eine sorgfältige Abklärung der Bedeutung der beobachteten Kronenverlichtungen für den Gesundheitszustand und die Stabilität des Baumes drängt sich daher auf. Im folgenden soll von mehreren Untersuchungen berichtet werden, die zu diesem Zweck durchgeführt worden sind. Da Kronenverlichtungen vor allem im Baumholz und Altholz beobachtet werden, Experimente aber meist nur mit Jungpflanzen oder Baumteilen durchgeführt werden können, musste dabei meist mit nichtexperimentellen, epidemiologischen Methoden gearbeitet werden.

## Kronenverlichtung und Mortalität

Zweifelloos ist die Mortalität eines der wichtigsten Masse für die Gesundheit einer Baumpopulation. In Flächen der Waldwachstumskunde mit gleichaltrigen und mit Plenterbeständen, die sich auf die ganze Schweiz nördlich der Alpen verteilen, ist jährlich die Kronenverlichtung angesprochen worden (Keller, Imhof, 1987, Keller, Stark, 1991). Alle Nadelverluste, von denen in dieser Arbeit berichtet wird, wurden nach den an Instruktionkursen für die Schweizerische Waldschadeninventur eingeübten Standards taxiert. Zusätzlich wurden die abgehenden und zwangsweise genutzten Bäume in den Jahren ohne starken Sturm registriert. Bei der Auswertung sind nur Flächen berücksichtigt worden, in denen mit Sicherheit feststand, dass nur erzwungene Nutzungen ausgeführt worden waren. Auch Flächen, in denen zu starke Konkurrenz oder Sturm das Absterben einzelner Bäume verursacht haben konnte, wurden nicht berücksichtigt. In den ausgewerteten Flächen wurden dann allerdings sämtliche Bäume berücksichtigt, da die Ursache des Ausscheidens meist sowieso nicht mit letzter Sicherheit festgestellt werden konnte und eine Verfälschung der Resultate sonst kaum zu vermeiden gewesen wäre.

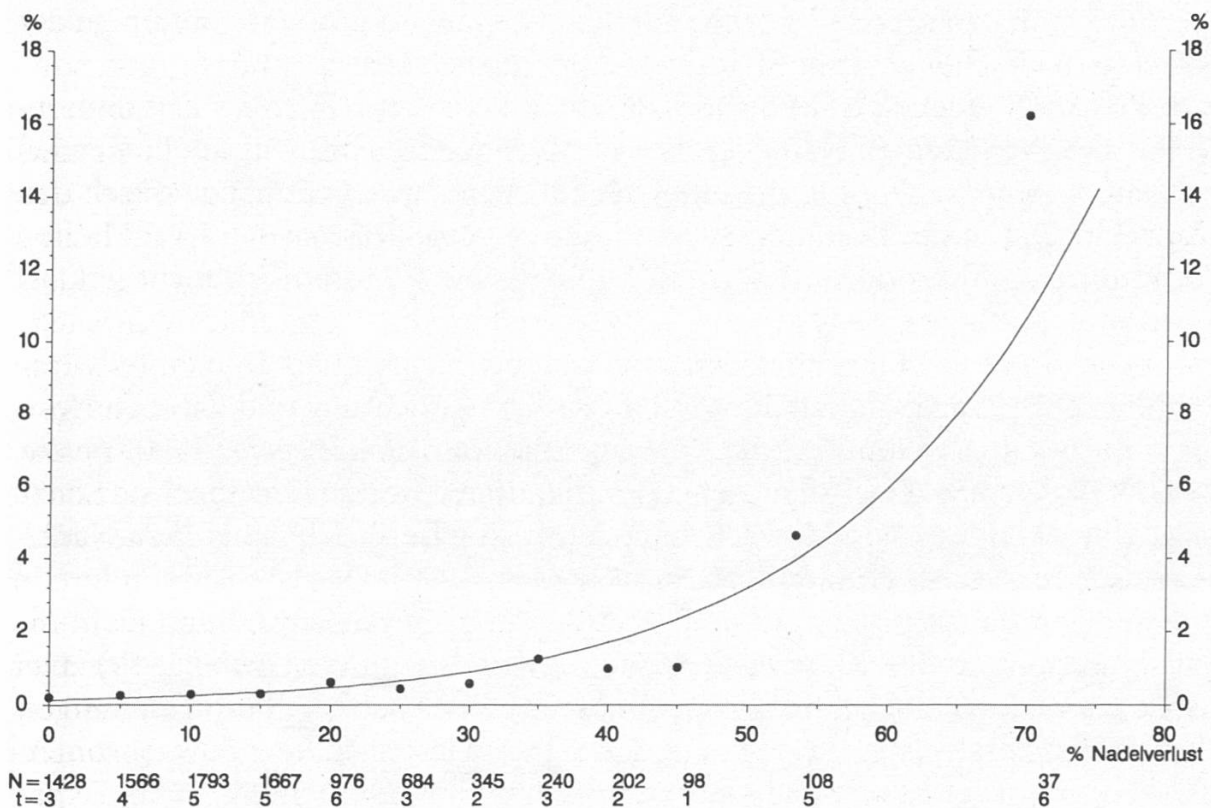


Abbildung 3. Die relative Häufigkeit der innerhalb eines Jahres absterbenden herrschenden Fichten in Abhängigkeit von den Nadelverlusten (N = Anzahl der Beobachtungen, t = Anzahl der innerhalb eines Jahres abgestorbenen Bäume), (Schmid-Haas, 1993a).



In 25 Flächen konnten 2859 Fichten während bis zu sechs Jahren beobachtet werden. Die mittlere jährliche Sterberate war bei den Fichten mit 0,5 % etwas kleiner als bei Tannen mit 1,3 % und bei Buchen mit 0,8 %. Bei grosser Kronenverlichtung steigt die jährliche Sterberate von herrschenden Fichten, ähnlich wie diejenige von Tannen und Buchen, stark an (*Abbildung 3*). Die Sterberaten können mit Hilfe einer logistischen Regression ausgeglichen werden und sind statistisch signifikant von den Nadelverlusten abhängig ( $p < 0,001$ ). Eher überraschend ist, dass die Sterberaten schon im Bereich von 0 % bis 25 % Nadelverlust Unterschiede in der Lebenserwartung und somit Vitalitätsunterschiede andeuten.

### **Kronenverlichtung und Zuwachs**

Ein weiterer Hinweis, dass die beobachteten Kronenverlichtungen doch bedeutungsvoll sein könnten, zeigt der enge statistische Zusammenhang zwischen Nadelverlust und Zuwachs von Bäumen gleicher sozialer Stellung innerhalb der gleichen Probeflächen oder Versuchsflächen. Dieser Zusammenhang wurde für einen grossen Teil der untersuchten Versuchsflächen und Forstbetriebe gefunden (*Abbildung 4*). Der Zuwachs der Fichten mit 30 % Nadelverlust war dabei oft seit Jahrzehnten nur etwa halb so gross wie derjenige der Nachbarn gleicher sozialer Stellung mit 0 % Nadelverlust.

Daneben gibt es auch Flächen, in denen kein derartig enger Zusammenhang zwischen kleinen Nadelverlusten und dem Zuwachs festgestellt werden konnte (*Abbildung 5*). Ob die unterschiedlichen Zusammenhänge durch den Standort, durch die Bestandesstruktur, durch verschiedenartige Krankheiten oder durch anthropogene Faktoren bedingt sind, konnte noch nicht geklärt werden.

Auch in den umliegenden Ländern sind bei Fichten und Tannen teilweise ähnlich enge Abhängigkeiten zwischen Kronenverlichtung und Zuwachs festgestellt worden (*Kramer, 1986, Perrier, 1989, Bert und Becker, 1990, Ferlin, 1991*). In den meisten ausländischen Publikationen werden im Gegensatz dazu allerdings keine grossen Zuwachsunterschiede im Bereich 0 % bis 25 % Nadelverluste festgestellt (*Röhle, 1987, Becker et al., 1990*). Das ist insbesondere in denjenigen Publikationen der Fall, die über den Zuwachstrend und nicht die absolute Grösse des Zuwachses berichten (*Pretsch und Utschig, 1989*). Der Zuwachstrend ist auch bei unseren Objekten meist unabhängig von kleinen bis mässigen Nadelverlusten, da die in der Schweiz festgestellten Zuwachsunterschiede meist schon seit zwei oder mehr Jahrzehnten bestehen.

Der häufig festgestellte enge statistische Zusammenhang zwischen den Nadelverlusten und dem Zuwachs kann nicht durch die fehlende Produktion der verfrüht abgefallenen, meist alten und beschatteten Nadeln erklärt wer-

den. Assimilationsmessungen zeigen bekanntlich, dass alte und beschattete Nadeln bedeutend weniger assimilieren, dass ihre  $\text{CO}_2$ -Bilanz fast ausgeglichen und ihr Beitrag zur organischen Produktion gering ist (Häsler *et al.*, 1991). Das belegen auch Astungsversuche, bei denen die dürrn und die untersten grünen Äste weggeschnitten werden. Derart behandelte Fichten zeigen nur gerade im ersten Jahr wesentlich kleinere Zuwächse als die unbehandelten Vergleichsbäume und verlieren ihre Konkurrenzkraft nicht, solange nicht ein zu grosser Teil der grünen Krone entfernt wird (Keller, Pfäffli, 1987). Bei der Entfernung von bis zu einem Drittel der Länge der grünen Krone und somit einem noch grösseren Anteil der Nadelmasse ist die Zuwachsreaktion im Stangenholzalter offenbar gering.

Es ist denkbar, dass parallel zum verfrühten Nadelfall die verbleibenden Nadeln geschädigt und in ihrer Produktion beeinträchtigt werden. Untersuchungen der Korrelation zwischen dem Nadelverlust und der Nettoassimilation der verbleibenden Nadeln bei verschiedenen stark verlichteten Kronen, bei denen der Gasaustausch einer grösseren Zahl von Bäumen gemessen werden müsste, sind keine bekannt.

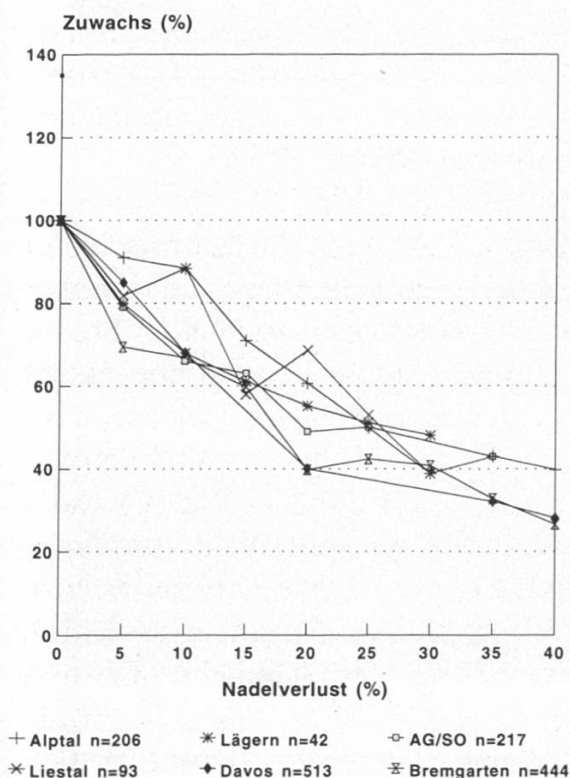


Abbildung 4. Zuwachs des Durchmessers in Bruthöhe von Fichten in Abhängigkeit von den Nadelverlusten (in Prozent des Zuwachses der Bäume gleicher sozialer Stellung innerhalb der gleichen Versuchs- oder Probeflächen mit 0% Nadelverlust), gleichaltriges Baumholz (Keller, Stark, 1991, Schmid-Haas, 1990).

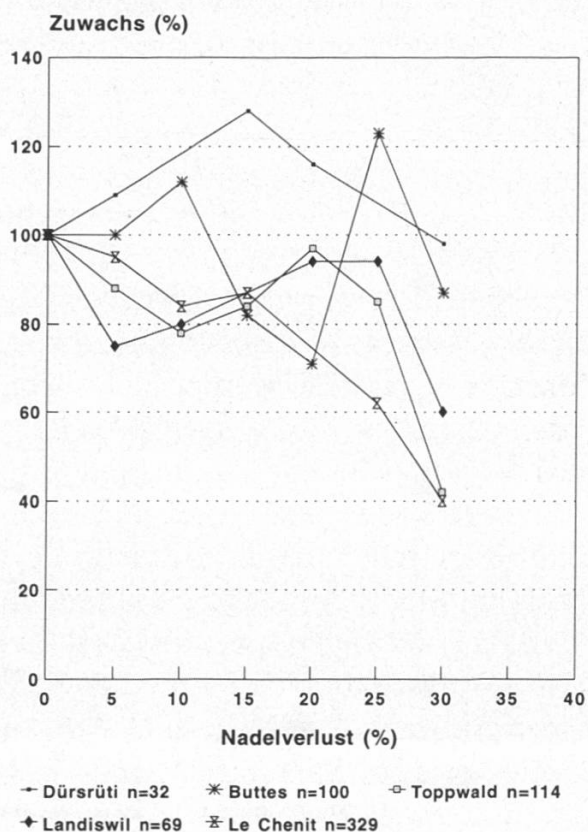


Abbildung 5. Zuwachs des Durchmessers in Bruthöhe von Fichten in Abhängigkeit von den Nadelverlusten (in Prozent des Zuwachses der Bäume gleicher sozialer Stellung innerhalb der gleichen Versuchs- oder Probeflächen mit 0% Nadelverlust), Plenterwald (Keller, Imhof, 1987).

Noch wichtiger als der Zuwachs der einzelnen Bäume ist der Gesamtzuwachs aller Bäume pro Flächeneinheit. Selbstverständlich würden, wenn es keine Bäume mit Nadelverlusten gäbe, nicht einfach alle Bäume so viel leisten wie jetzt diejenigen mit 0 % Nadelverlust. Die Konkurrenz zwischen den Bäumen wäre dann grösser, so dass alle Bäume etwas weniger rasch wachsen würden als diejenigen mit 0 % Nadelverlust in Wirklichkeit gewachsen sind. Erst wenn die Bestockung zu locker oder wenn ein zu grosser Anteil der Bäume geschädigt ist, wird das Produktionspotential des Standorts nicht mehr voll ausgenützt. Der Einfluss auf den Gesamtzuwachs ist daher aus den Einzelbaumzuwachsen nicht genau herleitbar. Da infolge kleiner Lücken oder zufälliger Häufung geschädigter Bäume das Produktionspotential relativ rasch nicht mehr auf der gesamten Fläche voll ausgenützt werden kann, wäre der Zuwachs ohne Schädigung in den letzten Jahrzehnten durchschnittlich aber doch noch etwas grösser gewesen, als er ohnehin schon war.

Auch wenn die ursächlichen Zusammenhänge nicht restlos geklärt sind, sollte kleinen Nadelverlusten, die eng mit dem langjährigen Durchmesserzuwachs von sonst in jeder Hinsicht vergleichbaren Bäumen korreliert sind, eine grössere Bedeutung zugeschrieben werden als Nadelverlusten ohne statistische Beziehung zum Zuwachs.

### **Kronenverlichtung und Stabilität**

Neue Erkenntnisse haben die Untersuchungen über die Sturmschäden 1990 gebracht. Der Schädigungsgrad der Baumkronen gemäss Luftbildinterpretation war im Forstbetrieb Lenzburg AG signifikant positiv mit der Sturmgefährdung korreliert (*Lätt, 1991*). Dieses Resultat hat umso mehr überrascht, als der Wind Bäume mit dichten Kronen ja stärker angreift als diejenigen mit lockerer Krone und somit eigentlich eine negative statt eine positive Korrelation zwischen Kronenverlichtung und Sturmgefährdung erwartet werden müsste. Der statistische Zusammenhang liess sich aber im Wald von Zofingen AG bestätigen (persönliche Mitteilung E. Steiner). Die gesamtschweizerische Waldschadeninventur zeigt trotz der relativ kleinen Anzahl erfasster und vom Sturm gefälltter Bäume für die ganze Schweiz ein ähnliches Resultat (*Abbildung 6*).

Eine genauere Analyse war dank einer Waldinventur mit Kontrollstichproben in Oberentfelden möglich, bei der fünf Jahre vor dem Sturm die Kronen aller Bäume angesprochen worden waren (*Fischer, Reiter, 1985*): In diesen Probeflächen, in denen übrigens nur an zwei von mehr als tausend Fichten Nadelverluste von mehr als 25 % festgestellt wurden, sind 118 von 587 (20 %) mehr als 60 Jahre alten herrschenden oder mitherrschenden Fichten vom Sturm gefällt worden. Der Zusammenhang zwischen Sturmgefährdung



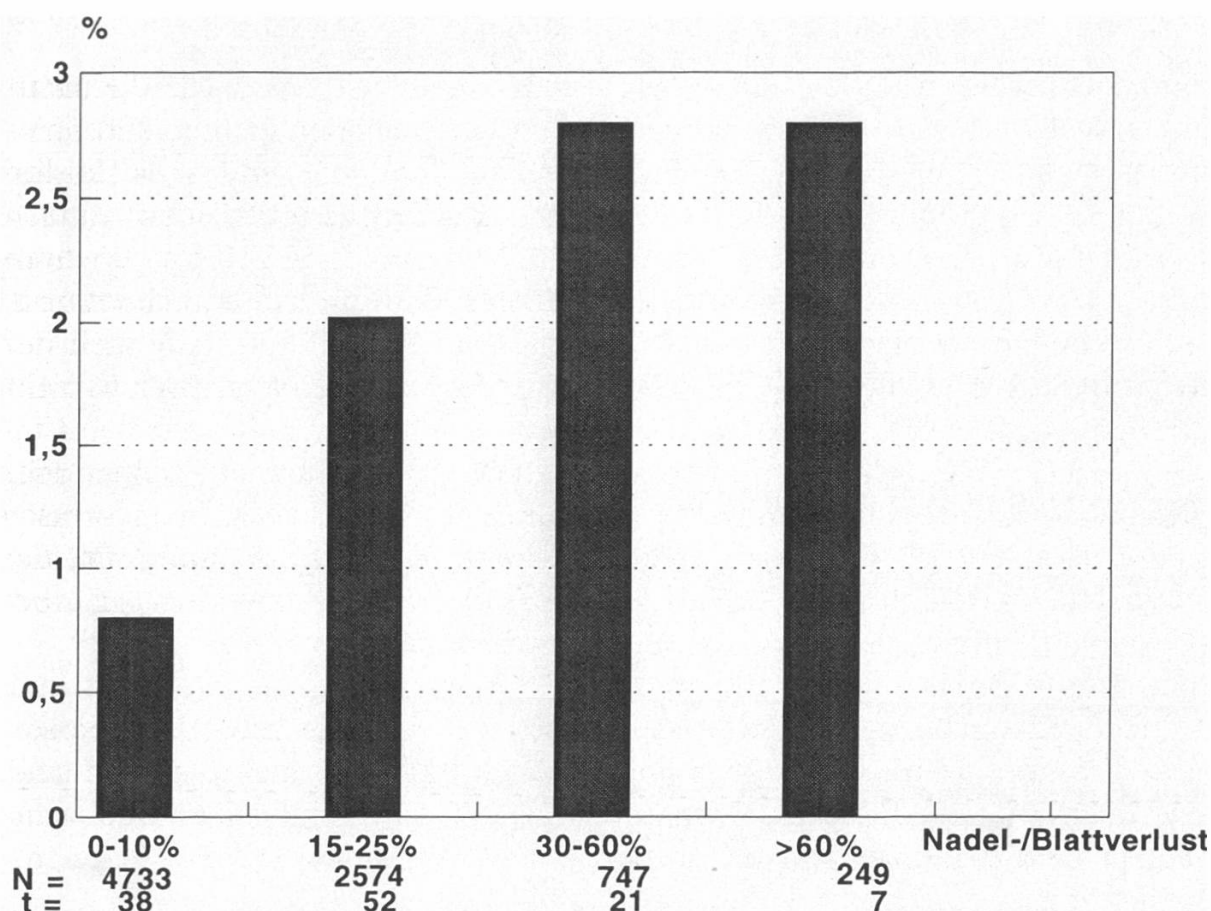


Abbildung 6. Die relative Häufigkeit der vom Sturm Ende Februar 1990 in der Schweiz gefällten Bäume in Abhängigkeit von den Nadel-/Blattverlusten im Vorjahr (Sanasilva, 1990).

und Nadelverlust ist auch in diesem Beispiel statistisch signifikant (Chi-quadrat-Test,  $p < 0,05$ ). Bei Tannen ist dieser Zusammenhang ebenfalls signifikant ( $p < 0,05$ ).

Um den möglicherweise störenden Einfluss von Standorts- und Bestockungsunterschieden sowie von sozialer Stellung und Kronenlänge zu eliminieren, wurde eine multiple logistische Regression gerechnet. Diese hat sowohl für Fichte als auch für Tanne einen signifikanten Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Sturmgefährdung aufgezeigt ( $p < 0,05$ ), der nicht mehr durch die in der Auswertung erfassten Merkmale Bonität, Höhe über Meer, Exposition, Neigung, Alter, Durchmesser, soziale Stellung und Kronenlänge bedingt sein kann (Schmid-Haas, 1991).

Da Bestände immer auch etwas verschieden windexponiert sind und die Bewindung sowohl die Sturmgefährdung als auch die Kronenverlichtung beeinflusst haben konnte, wäre es möglich, dass der statistische Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Sturmgefährdung noch durch Bewindungsunterschiede, welche durch die Standortmerkmale nicht erfasst wurden, verursacht worden war. Deshalb musste die Beziehung zwischen Nadelverlust und Sturmgefährdung auch für nahe beieinander stehende Bäume



untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden in jeder Probefläche die mittleren Nadelverluste der herrschenden und mitherrschenden Fichten und Tannen berechnet, einerseits für die vom Sturm gefälltten und andererseits für die nichtgefallten Bäume. Für die Differenzen zwischen diesen beiden Mittelwerten wurde der Vorzeichen-Rangtest von Wilcoxon durchgeführt. Obwohl nur in 44 von insgesamt 274 Probeflächen beide Mittelwerte berechnet und somit eine Differenz gebildet werden konnte, sind die mittleren Nadelverluste der vom Sturm gefälltten Bäume auch bei diesem Vergleich statistisch signifikant grösser ( $p < 0,05$ ).

Auch für in den gleichen Probeflächen stockende Fichten und Tannen mit gleicher sozialer Stellung ist die Sturmgefährdung bei kleiner Kronenverlichtung also statistisch signifikant grösser als ohne Kronenverlichtung. Dieser statistische Zusammenhang ist fast nur erklärbar, wenn Bäume mit geringer Kronenverlichtung häufiger als diejenigen ohne Kronenverlichtung im Stammfuss oder in den Wurzeln geschwächt sind.

Eine Schwäche im unteren Baumbereich ist eher die Ursache als die Folge des vorzeitigen Abfallens eines relativ kleinen Teils von mehrheitlich alten und beschatteten Nadeln. *Kučera* (1989) folgert auf Grund seiner Beobachtungen, dass zuerst der Wassertransport gestört wird und erst später Kronenverlichtungen auftreten.

Selbstverständlich kann eine gleichzeitige Schädigung von Krone und unterem Baumbereich nicht ausgeschlossen werden. Wie *Matyssek, Günthardt-Goerg* und *Keller* (1992) zeigen, können Luftschadstoffe bei jungen Laubbäumen neben der Beeinträchtigung der Assimilation und der Vergrösserung der Blattverluste gleichzeitig auch eine Veränderung des Wurzel-Spross-Verhältnisses zuungunsten der Wurzel und eventuell des unteren Stammteiles bewirken. Ähnliche Veränderungen des Wurzel/Spross-Verhältnisses treten bei Stickstoffdüngungen auf. Eine derartige Veränderung bringt eine Destabilisierung der Bäume und Bestände und damit eine Erhöhung des Sturmrisikos mit sich. Ein ähnlicher ursächlicher Zusammenhang könnte auch bei Fichten die Korrelation mit der Sturmgefährdung erklären. In geschädigten Fichtenbeständen wurde denn auch gleichzeitig mit einer Verlangsamung teilweise eine Verlagerung des Zuwachses vom Stammfuss in höhere Stammregionen beobachtet, aber nur bei schwer geschädigten Fichten und erst in den letzten Jahren vor dem Absterben (*Röhle*, 1987). Unsere Beobachtungen in Sturmschadenflächen haben, im Gegensatz zur Buche und einigen anderen Laubbaumarten, nicht zur Vermutung geführt, dass sich bei Fichten die Wurzelmassen verkleinert hätten. Vergleichbare Wurzelmessungen an nicht geschädigten Fichten oder aus früheren Sturmschadenuntersuchungen liegen aber nicht vor.

In den bisher publizierten Untersuchungen konnten keine Schädigung im Wurzelbereich und kein Befall durch Insekten, Pilze oder andere Organismen nachgewiesen werden, die diese Zusammenhänge erklären würden. Die

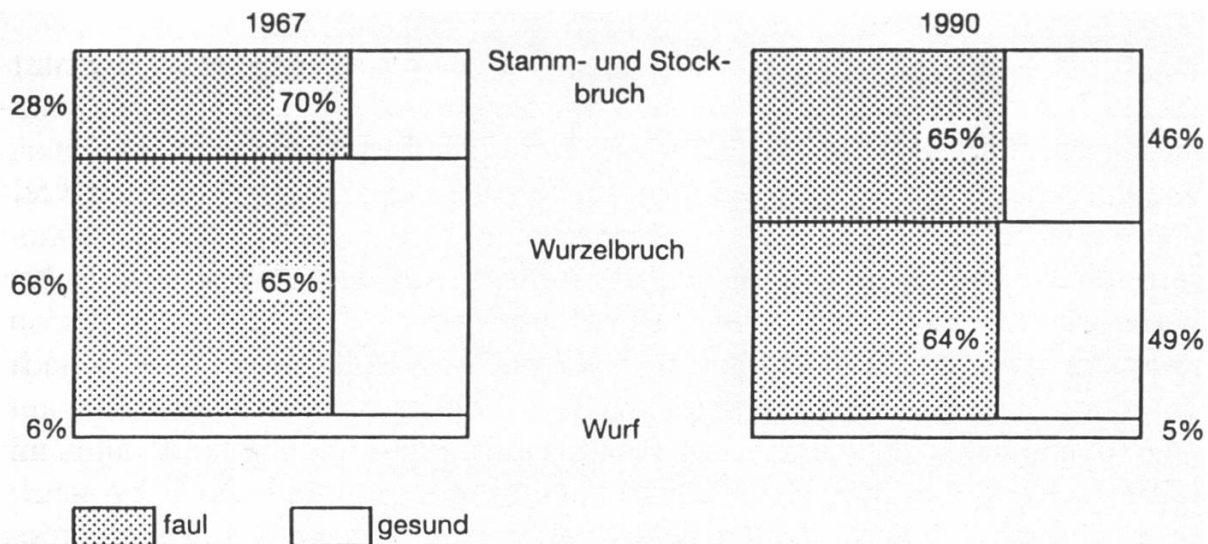


Abbildung 7. Die Darstellung zeigt einerseits die relativen Häufigkeiten der Stamm- oder Stockbrüche, der Wurzelbrüche und der Würfe an einzeln vom Sturm gefällten Fichten im schweizerischen Mittelland, andererseits die relative Häufigkeit, mit der an Bruchstellen Fäule als mitverantwortliche Ursache für den Bruch festgestellt werden konnte, vergleichbare Resultate 1967 (Bazzigher und Schmid-Haas, 1969) und 1990 (Schmid-Haas und Bachofen, 1991).

Untersuchungen waren allerdings nicht zahlreich und nicht immer überzeugend.

Von S. Egli (persönliche Mitteilung) wurden in den von uns in Suhr untersuchten Probeständen sowie auf ähnlichen Standorten allgemein eine gute Mykorrhizierung und keine auffälligen Unterschiede festgestellt.

Fichten sind sehr sturmgefährdet, obwohl gesunde Fichten dort, wo die Wurzeln nicht tief in den Boden eindringen können, durch breite Wurzelteller eine befriedigende Standfestigkeit erreichen. Das Wurzelwerk der Fichte passt sich dem Standort eher besser an als dasjenige der meisten anderen Baumarten. In den untersuchten Streuschadenflächen im schweizerischen Mittelland waren 1990 wie schon 1967 jedoch mehr als 60 % aller einzeln vom Sturm gefällten Fichten an wichtigen Bruchstellen in Stamm, Stock oder Wurzel faul (Abbildung 7). Bei diesen Bäumen war Fäule im Stock oder in den Derbwurzeln mitverantwortlich für den Sturmschaden. Ein ähnlicher Einfluss wird ihr bei den Flächenschäden zugeschrieben (Initialisierungseffekt). Das führt zur Hypothese, dass Fäule auch mit der Kronenverlichtung zusammenhängen und somit die Korrelation zwischen Nadelverlusten und Sturmgefährdung erklären könnte.

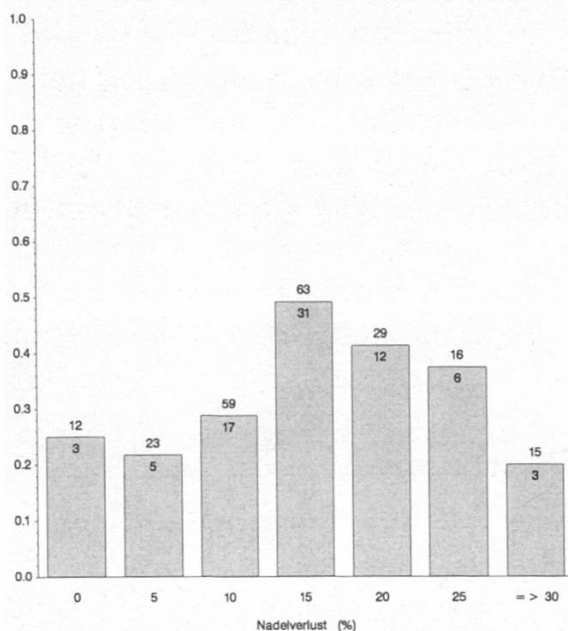
### Kronenverlichtung und Fäule im Stock

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde ein Projekt, in dem lokale Zuwachsunterschiede und ihre Ursachen untersucht worden waren, etwas erweitert. In Kontroll-Stichproben der Forstbetriebe von Suhr AG, Rogg-

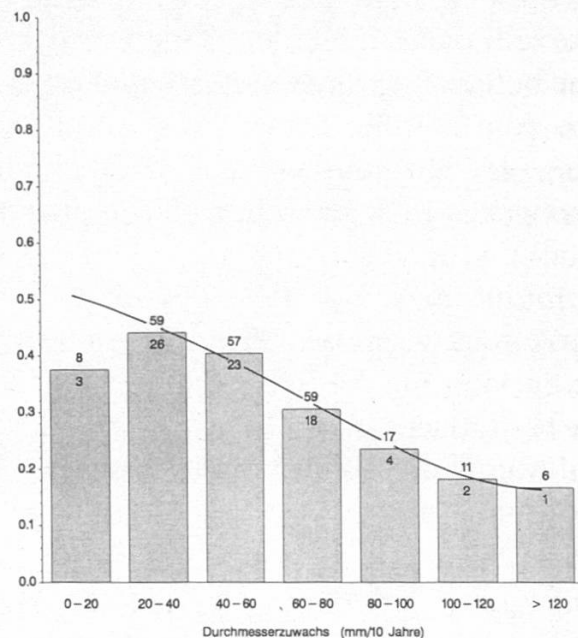
wil BE, Neuendorf SO, Niederbuchsiten SO und Kestenholz SO (Oberförster H. Meier, F. Aebi und A. Blöchliger) war der Zuwachs jedes einzelnen Baumes in zwei Perioden von ungefähr zehn Jahren bereits bekannt, der Standort von W. Keller überprüft sowie Boden- und Nadelanalysen vorgenommen worden. In 64 Probeflächen wurden 217 dominante Fichten im Alter von mindestens 60 Jahren genauer untersucht. Von diesen wurden 1991 je zwei Bohrkern aus dem Stock entnommen. Der Bohrer wurde 25 cm über dem Boden zwischen zwei Wurzelanläufen angesetzt und die Bohrung zirka 15° nach unten mindestens bis ins Mark geführt. Der Bohrkern wurde gutachtlich auf beginnende Holzzersetzung oder Verfärbung angesprochen und dann an O. Holdenrieder an der ETH Zürich zur Artenbestimmung der Pilze übergeben. Durch möglichst aseptisches Arbeiten ist es gelungen, Kontaminationen weitgehend zu vermeiden. Folgeschäden durch die Übertragung von Fäulepilzen sollten durch Aussprühen der Bohrlöcher mit einem Fungizid (Travazid) und sofortiges Schliessen der Wunden durch Baumharz ausgeschlossen werden.

Bei 77 von 217 Stämmen (35 %) konnte an mindestens einem der beiden Bohrspäne okular Fäule festgestellt werden, wobei es sich vorwiegend um Fäule im Kern des Stammfusses und nicht um offensichtliche Wundfäule gehandelt hat.

Die Auswertung hat zwar eine Korrelation zwischen Fäulebefall und Zuwachs ergeben (*Abbildung 9*), der Zusammenhang zwischen Fäulebefall im Stock und Nadelverlusten ist jedoch statistisch nicht signifikant (*Abbildung 8*).



*Abbildung 8.* Die relative Häufigkeit, mit der an mindestens einem von zwei bis ins Mark reichenden Bohrkernen aus dem Stock von 217 Fichten Fäule festgestellt wurde, in Abhängigkeit vom Nadelverlust.



*Abbildung 9.* Die relative Häufigkeit, mit der an mindestens einem von zwei bis ins Mark reichenden Bohrkernen aus dem Stock von 217 Fichten Fäule festgestellt wurde, in Abhängigkeit vom Durchmesserzuwachs in Brusthöhe.



Die Hypothese, dass Fäule im Stock ursächlich mit dem Nadelverlust zusammenhänge, kann also nicht bestätigt werden.

Die Fäuleerreger wurden von Holdenrieder isoliert und identifiziert. Aus 77 Bohrkernen mit sichtbarem Fäulebefall konnten 12 *Heterobasidion annosum*, 5 *Armillaria* und 7 andere Basidiomyceten (insgesamt 31 Prozent) isoliert werden. Bei weiteren 21 Bohrkernen wurden *Mortierella spp.* festgestellt. Es ist noch nicht klar, warum häufig keine Erregerart identifiziert werden konnte (Holdenrieder et al., 1993).

### **Kronenverlichtung und Fäule in den Wurzeln**

Obwohl die Hoffnung gering war, den statistischen Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Sturmgefährdung doch noch erklären zu können, wurden im folgenden Jahr die gleichen Bäume auch noch auf Fäule in den Wurzeln untersucht. Die Inventarisierungsmethode für Fäule in Derbwurzeln musste zuerst entwickelt werden, da bisher offenbar nur im U.S. National Vegetation Survey ähnliche für Waldinventare geeignete Untersuchungen an Wurzeln durchgeführt worden sind (Alexander, Carlson, 1988, Alexander, 1989).

Beginnend an einem Wurzelanlauf wurde eine der meist oberflächlich und radial vom Stamm weglaufenden Wurzeln freigelegt, ohne sie zu verletzen. Ungefähr 80 cm vom Stamm entfernt wurde die Stützwurzel senkrecht angebohrt. Der Bohrkern musste mindestens bis ins Mark der Wurzel reichen und sollte nicht durchgehend sein, weil unter der Wurzel liegende Steine den Bohrer beschädigen könnten. Der Bohrkern wurde okular auf Fäule, anderweitige Verfärbungen und Anomalien taxiert und sofort steril verpackt. Ungefähr 150 cm vom Stamm entfernt wurde ein zweiter Bohrkern auf gleiche Art entnommen und taxiert. Auf diese Weise wurden bis zu vier Stützwurzeln in etwa 80 cm und 150 cm Entfernung vom Stamm untersucht, sofern in der betreffenden Distanz noch keine Fäule festgestellt werden konnte.

Diese Inventurmethode ist in verschiedener Hinsicht ähnlich wie diejenige des US National Vegetation Survey und weist daher vermutlich auch ähnliche Nachteile auf. Nach Baker et al. (1993) kann man mit dieser Methode nur einen Teil der Wurzelfäulen finden und der zu findende Anteil ist je nach Region sehr verschieden. Ein abschliessendes Urteil über die beiden Methoden und ihre Weiterentwicklungen sollte jedoch erst gefällt werden, wenn die gewonnene Information besser gewertet und der Arbeitsaufwand damit verglichen werden kann. Gewisse Verbesserungen sind möglich; ein Verzicht auf Inventuren von Fäule in den Wurzeln könnte jedoch zu weitaus gravierenderen Fehlentscheiden führen als eine notgedrungen unvollständige Inventur.

Im Gegensatz zur Fäule in den Stöcken ist der statistische Zusammenhang zwischen Fäule in den Stützwurzeln und den Nadelverlusten sehr eng und sta-



tistisch signifikant (logistische Regression,  $p < 0,001$ ). 77 % aller Fichten mit mindestens 25 % Nadelverlust sind in den Stützwurzeln faul, aber nur 25 % der Fichten mit einem Nadelverlust von höchstens 5 % (Abbildung 10). Die Beziehungen würden noch etwas enger, wenn auch die Häufigkeit der festgestellten Fäulen, das Ausmass der einzelnen Fäulestellen sowie die nicht als faul taxierten Verfärbungen berücksichtigt würden. Die Hypothese, dass Fäule ursächlich mit dem Nadelverlust zusammenhängt, kann für die Fäule in den Wurzeln im Gegensatz zur Fäule im Stock überraschend gut bestätigt werden.

Auch der statistische Zusammenhang zwischen dem Zuwachs und Fäule in den Stützwurzeln ist viel enger als bei Fäule in den Stöcken (Abbildung 11).

Die Fäuleerreger wurden von Holdenrieder isoliert und identifiziert. Aus 25 Bohrkernen konnte *Heterobasidion annosum*, aus 20 *Armillaria* spp. und aus 12 weitere Basidiomyceten isoliert werden, insgesamt aus 57 von 136 (42 %) sichtbar von Fäule befallenen Bohrkernen. Aus weiteren 17 Bohrkernen wurden *Mortierella* spp. isoliert (Holdenrieder *et al.*, 1993). Da zu wenig häufig Erreger identifiziert werden konnten, ist kein statistischer Zusammenhang zwischen dem Vorkommen einzelner Erreger und dem Nadelverlust nachweisbar.

Fäule in den Stützwurzeln kann die Zusammenhänge physiologisch ohne weiteres erklären, weil einerseits der Wassertransport beeinträchtigt wird und andererseits Abwehrmechanismen des Baumes gegen Pilze zu Mangelerscheinungen in den Nadeln führen können (Schmid-Haas, 1991a). Kernfäule im

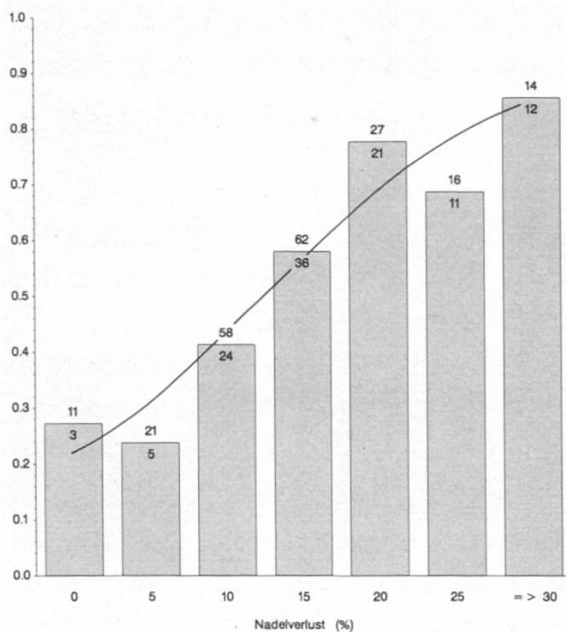


Abbildung 10. Die relative Häufigkeit, mit der an mindestens einem von acht kleinen Bohrkernen aus den Wurzeln von 209 Fichten Fäule festgestellt wurde, in Abhängigkeit vom Nadelverlust (logistische Regression).

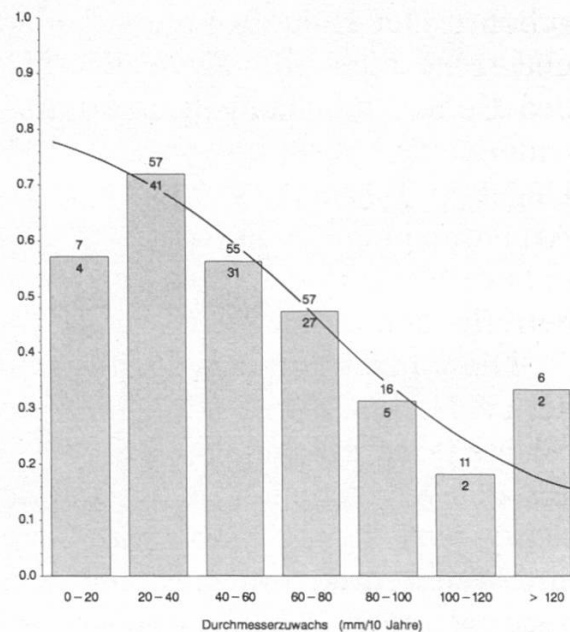


Abbildung 11. Die relative Häufigkeit, mit der an mindestens einem von acht kleinen Bohrkernen aus den Wurzeln von 209 Fichten Fäule festgestellt wurde, in Abhängigkeit vom Durchmesserzuwachs in Brusthöhe (logistische Regression).

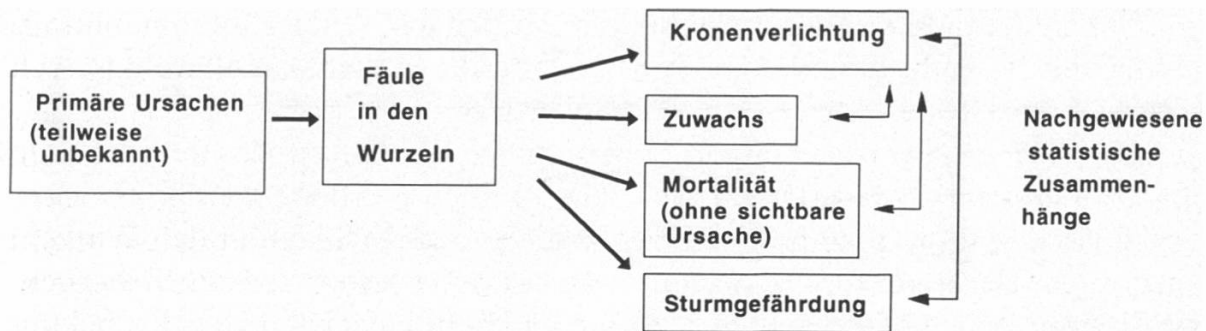


Abbildung 12. Ursächliche und statistische Zusammenhänge: Fäule in den Wurzeln kann die statistisch signifikanten Korrelationen zwischen den Nadelverlusten einerseits und dem Zuwachs, der jährlichen Sterberate sowie der Sturmgefährdung anderseits erklären, auch wenn die Nadelverluste diese Grössen nicht direkt beeinflussen. Eine gleichzeitige Schädigung von Wurzeln und Krone kann nicht ausgeschlossen werden.

Stock mag anderseits geringe Schäden verursachen, solange der Splint nicht betroffen ist. Da Fäuleerreger teilweise aus kleinen Absenkern direkt in den Stock einwachsen und anderseits Wurzelfäulen oft auf Stützwurzeln beschränkt bleiben, ist auch erklärbar, dass die Beobachtung von Stockfäulen kein richtiges Bild über das Ausmass von Fäulen in Stützwurzeln geben kann.

Die engen statistischen Beziehungen legen nahe, dass Fäule in den Wurzeln für einen wesentlichen Teil der bisher nicht verstandenen Nadelverlust- und Zuwachsunterschiede zwischen nebeneinander stehenden Fichten gleicher sozialer Stellung verantwortlich ist (Abbildung 12). Die mancherorts zudem festgestellten grossen Zuwachs- und Nadelverlustunterschiede zwischen Probeflächen oder Waldteilen können hingegen meist nicht auf entsprechende Unterschiede in der Fäulehäufigkeit zurückgeführt werden (Schmid-Haas, 1991 b).

## Folgerungen

Die grossen Unterschiede in der Kronenverlichtung und die bisher unverständlich grossen Zuwachsunterschiede von nebeneinander stehenden und früher offenbar ähnlich wüchsigen Fichten sind dadurch erklärbar, dass die einen im Wurzelbereich infiziert wurden und die anderen nicht. Auch die leichte Abhängigkeit der Mortalität von geringen Kronenverlichtungen ist durch die Fäulehäufigkeit erklärbar. Ursächliche Beziehungen zwischen Fäule in den Wurzeln einerseits und dem Zuwachs sowie der Kronenverlichtung anderseits können den engen statistischen Zusammenhang zwischen dem Zuwachs und kleinen Nadelverlusten erklären.

Fäule in den Wurzeln erhöht die Sturmgefährdung und ist für den statistischen Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Sturmgefährdung verantwortlich.

Die Bedeutung mehrerer Phänomene und statistischer Zusammenhänge kann heute besser verstanden werden. Die offenen Fragen sind allerdings noch zahlreich; einige sollen speziell erwähnt werden:

In welchem Ausmass können Fäulen die beobachteten Zusammenhänge erklären und wie oft werden mit der angewandten Methode die entscheidenden Fäulen überhaupt gefunden? Sind auch andere Schäden in den Wurzeln zu berücksichtigen? Welche weiteren Faktoren müssten zusätzlich berücksichtigt werden? Auf welchen Standorten und bei welcher Art von Bestockungen spielt die Fäule in den Wurzeln eine derart wichtige Rolle, wo ist diese Bedeutung geringer? Bestehen in den Alpen ähnliche Zusammenhänge wie im schweizerischen Mittelland? Warum nahmen die Nadelverluste relativ rasch zu, während der Fäuleanteil bei den vom Sturm einzeln geschädigten Fichten von 1967 und 1990 gleich und der Zuwachs im allgemeinen hoch geblieben ist? Und schliesslich: Welches sind die wichtigsten Primärfaktoren, was hat die Fäulen in den Wurzeln gefördert (Standortseigenschaften, die extreme Trockenperiode am Ende der vierziger Jahre, starke Durchforstungen, Wurzelverletzungen bei vorangehenden Stürmen oder bei der Holzernte, Immissionen)? Wie sind die grossen lokalen Unterschiede im Zuwachs pro Flächeneinheit, die nicht auf Standorts- und Bestockungsunterschiede und vermutlich auch nicht auf Fäule zurückgeführt werden können, zu erklären?

Bis zur Beantwortung dieser Fragen sind die wichtigsten allgemeinen Folgerungen:

- Bei Fichten können bereits Nadelverluste unter 30 % ein Indiz für eine eingeschränkte Gesundheit und eine verminderte Stabilität sein. Die Aussage, dass Nadelverluste bis 25 % kein Indiz für eine Schädigung darstellen, ist in dieser Allgemeinheit falsch.
- Die an sich geringen Kronenverlichtungen zeigen, dass der Gesundheitszustand vieler Fichtenbestände unbefriedigend ist.
- Die durch Fäule stark erhöhten Sturmschäden zeigen, dass die Stabilität unbefriedigend ist.
- Die seit Jahren beobachtete Zunahme der Kronenverlichtungen könnte zeigen, dass sich sowohl der Gesundheitszustand des Waldes als auch seine Stabilität ständig verschlechtern.
- Eine sorgfältige Überwachung des Waldzustandes ist weiterhin notwendig, eine intensivere Erforschung der Bedeutung der beobachteten Symptome ist dringend.

#### **Verdankung**

Diese Studien konnten nur dank der wertvollen Hilfe meiner Vorgesetzten, mehrerer Mitarbeiter und Kollegen sowie vieler Praktiker, vor allem aus den Kantonen Aargau, Solothurn, Zug, Schwyz, Glarus, Bern, Zürich, Thurgau, Baselland und Jura durchgeführt werden. Ihnen allen, den kantonalen Forstämtern, Kreisförstern, Leitern technischer Forstbetriebe und Förstern, danken wir für die grosszügige Förderung unserer Anliegen.



## Résumé

### **La transparence du houppier des épicéas, l'indice d'un manque de santé et de stabilité La pourriture des racines traçantes, l'une des causes de cette transparence**

Si les taux de pertes foliaires étaient déjà élevés en 1984, ils ont systématiquement augmenté depuis lors dans notre pays. Nul ne sait ce que ce phénomène représente vraiment pour la forêt ni quelle est la cause de ces modifications. D'où l'importance primordiale d'approfondir ce domaine, ne serait que pour les essences les plus importantes.

Plusieurs recherches ont analysé les interactions s'exerçant entre la perte foliaire des épicéas, leur croissance, leur mortalité ou leur vulnérabilité face aux ouragans. Il fut clairement établi qu'une petite perte foliaire inférieure à 25 % pourrait être un indice d'endommagement car à ce niveau déjà, il existe une corrélation entre la défoliation et d'autres facteurs tels que la mortalité, la croissance ou la résistance d'un arbre sous l'effet du vent. Les analyses en matière de tempêtes ont aussi montré que les arbres cyclonés souffrent souvent d'une faiblesse localisée dans la partie inférieure du fût ou dans les racines. Mais de quel genre de faiblesse s'agit-il? Les recherches poursuivies en Suisse et à l'étranger n'avaient jamais permis de le déceler, pas plus que nos propres analyses sur la pourriture de la base du fût. Or, les recherches sur la pourriture des racines traçantes montrent que cette faiblesse peut expliquer une grande part des influences qui nous étaient restées insondables jusqu'à ce jour.

Nombre de questions sont encore à résoudre certes. Mais ces études montrent que la santé et la stabilité des peuplements d'épicéas sont source d'inquiétude dans une bonne partie de la Suisse et que les transparences de houppiers méritent d'être suivies avec une extrême attention.

Traduction: *Monique Dousse*



## Literatur

- Alexander, S.A. (1989): *Annosus* root disease hazard rating, detection, and management strategies in the Southeastern United States. In: Monterey, Proceedings of the Symposium on Research and Management of *Annosus* Root Disease in Western North America 1989. General Technical Report PSW-116: 111–116.
- Alexander, S.A.; Carlson, J. A. (1988): Visual damage survey pilot test. Project manual. National Vegetation Survey. Forest Pathology Laboratory. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg VA, 55 p.
- Baker, F. A.; Shaw, C. G.; Omdal, D. W.; Wargo, P. M. (1993): Evaluation of the root disease indicator used in the Forest Health Monitoring Program. Poster presented at the IUFRO Conference on Root and Butt Rots, Sweden and Finland 1993.
- Bazzigher, G.; Schmid-Haas, P. (1969): Sturmschaden und Fäule. Schweiz. Z. Forstwes., 120, 10: 521–535.
- Becker, M.; Bräker, O. U.; Kenk, G.; Schneider, O.; Schweingruber, F. H. (1990): Kronenzustand und Wachstum von Waldbäumen im Dreiländereck Deutschland–Frankreich–Schweiz in den letzten Jahrzehnten. Allgem. Forst Zeitschrift, 263–273.
- 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.
- Bräker, O. U. (1992): Erkenntnisse aus Zuwachsuntersuchungen. In: Forum für Wissen 1992. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 55–58.
- Ferlin, F. (1991): Some characteristics of dieback phenomena of Norway spruce and its growth response to air pollution stress (slowenisch). Zbornik gozdarstva in lesarstva 37, 125–156.
- Fischer, U.; Reiter, C. (1985): Waldschadeninventur, OBG Oberentfelden 1985. Vervielfältigung, 15 S.
- Häsler, R.; Savi, C.; Herzog, K. (1991): Photosynthese und stomatäre Leitfähigkeit der Fichte unter dem Einfluss von Witterung und Luftschadstoffen. In: Stark, M. (Hrsg.): Luftschadstoffe und Wald. NFP 14, Bd. 5. Verlag der Fachvereine Zürich. 143–168.
- Holdenrieder, O.; Baumann, E.; Schmid-Haas, P. (1993): Inventories for rot in butt and main lateral roots in Norway spruce forests. Proceedings IUFRO Conference on Root and Butt Rots, Sweden and Finland 1993.
- Keller, W.; Imhof, P. (1987) a: Zum Einfluss der Durchforstung auf die Waldschäden. 1. Teil: Erste Ergebnisse von Waldschadenuntersuchungen in Buchen-Durchforstungsflächen der EAFV. Schweiz. Z. Forstwes., 138, 1: 39–54.
- Keller, W.; Imhof, P. (1987) b: Zum Einfluss der Durchforstung auf die Waldschäden. 2. Teil: Erste Ergebnisse von Waldschadenuntersuchungen in Plenterversuchsflächen der EAFV. Schweiz. Z. Forstwes., 138, 4: 243–320.
- Keller, W.; Pfäffli, F. (1987): Zuwachsverhältnisse in zwei Fichtenbeständen nach Grünastung. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Mitt. 63, 1: 55–84.
- Keller, W.; Stark, M. (1991): Wachstum und Kronenverlichtung auf den Beobachtungsflächen Lägern, Alptal und Davos. In: Stark, M. (Hrsg.): Luftschadstoffe und Wald. NFP 14, Bd. 5. Verlag der Fachvereine Zürich. 31–36.
- Kramer, H. (1986): Beziehungen zwischen Kronenschadbild und Volumenzuwachs bei erkrankten Fichten. Allg. Forst- Jagdztg. 157, 2: 22–27.
- Kučera, L. J. (1989): Biologische und technologische Eigenschaften des Holzes geschädigter Fichten. Schweiz. Z. Forstwes., 140, 3: 203–215.
- Lätt, N. (1991): Zum Zusammenhang zwischen Kronenschäden und Windfallholzanteil. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 109–131.
- Matyssek, R.; Günthardt-Goerg, M. S.; Keller, T. (1992): Physiological effects of air pollutants in low concentration on trees. In: Air pollution and interactions between organisms in forest ecosystems. Proceedings, IUFRO-Working Party P 2.05, Tharandt/Dresden 1992. Dresden, Technische Universität. 76–86.
- Perrier, P. (1989): Etude de la croissance radiale de l'épicéa (*Picea abies*) sur un échantillonnage du transect Jurassien 2220: relations avec le phénomène actuel du dépérissement forestier. Laboratoire de Chrono-Ecologie, U. F. R. des Sciences et Techniques, F-25030 Besançon.
- Pretsch, H.; Utschig, H. (1989): Das «Zuwachstrend-Verfahren» für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefer-Weiserflächen in den bayerischen Schädgebieten. Forstarchiv 60, 188–193.

- Röhle, H. (1987): Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluss der neuartigen Waldkrankheiten. Forstl. Forsch.ber. Münch., 83, 112 S.
- Sanasilva-Waldschadenbericht (1990). Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 29 S.
- Sanasilva-Waldschadenbericht (1992). Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 31 S.
- Schlaepfer, R. (1990): Wissenschaftlicher Kommentar zu den Ergebnissen der schweizerischen Waldschadeninventur 1990. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (Vervielfältigung). 7 S.
- Schlaepfer, R.; Haemmerli, F. (1990): Das «Waldsterben» in der Schweiz aus heutiger Sicht. Schweiz. Z. Forstwes., 141, 3: 163–188.
- Schmid-Haas, P. (1990): Kronenverlichtung und Waldwachstum. Schweiz. Z. Forstwes., 141, 3: 189–209.
- Schmid-Haas, P. (1991) a: Ursächliche Zusammenhänge zwischen Nadelverlust, Zuwachs, Sturmgefährdung und Fäule. Schweiz. Z. Forstwes. 142, 6: 505–512.
- Schmid-Haas, P. (1991) b: Monitoring the state of health as a tool for causal research in forest decline. In: IUFRO and ICP-Forests Workshop on Monitoring Air Pollution Impact On Permanent Sample Plots, Data Processing and Results Interpretation, Prachatice, CSFR 1991. 94–101.
- Schmid-Haas, P. (1993) a: Kronenverlichtung und Sterberaten bei Fichten, Tannen und Buchen. Forstwiss. Cent.bl. 112, 6: 325–333.
- Schmid-Haas P. (1993) b: Assessing the stability of Norway spruce by forest inventories. Proceedings IUFRO Conference on Wind and Wind-Induced Damage, Edinburgh 1993 (in print).
- Schmid-Haas, P.; Bachofen, H. (1991): Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen. Schweiz. Z. Forstwes., 142, 6: 477–504.

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

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