

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 153 (2002)
Heft: 2

Artikel: Zur Waldinventur gehört die Überwachung der Vitalität
Autor: Schmid-Haas, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098219>

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: 01.05.2026

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

Zur Waldinventur gehört die Überwachung der Vitalität

PAUL SCHMID-HAAS

Keywords: Vitality; stability; crown defoliation; root infection; inventory; monitoring. FDK: 161 : 181.3 : 181.45 : 181.62 : 524.6

Einleitung

Der Wald ist nicht einfach ein Holzhaufen, der Wald lebt, er entwickelt sich, er verändert sich laufend in mannigfacher Weise. Daher interessiert nicht nur sein momentaner Zustand, sondern immer auch seine Entwicklung. Solche Daten sind nur erhältlich, wenn eine Waldinventur von Zeit zu Zeit wiederholt wird. Um vergleichen zu können, müssen wir jedes Mal die gleichen Merkmale mit den gleichen Definitionen erfassen. Ein für die erste Inventur optimaler Aufnahmeplan ist nicht unbedingt auch optimal für die Ermittlung der Veränderungen. Da es viel schwieriger ist, die Veränderungen genau genug zu erfassen als einen momentanen Zustand, muss von allem Anfang an darauf geachtet werden, dass die Veränderungen optimal erfasst werden; die Genauigkeit der Zustandsvariablen ist dann meist sowieso gut genug. Im Allgemeinen wird die Information über Veränderungen am effizientesten mit Fernerkundungsmethoden, die für diesen Zweck von Inventur zu Inventur gleich bleiben müssen, kombiniert mit permanenten Probeflächen im Gelände gewonnen. Alle Probeflächen sollten permanent sein, denn jede neue Probefläche, die eine permanente Fläche ersetzt, führt im Allgemeinen zu einer Verschlechterung der Effizienz. Nicht sichtbar gekennzeichnete Kontrollstichproben bleiben repräsentativ, da sie garantiert waldbaulich gleich behandelt werden wie ihre Umgebung. Vorausgesetzt ist allerdings, dass sie durch die Aufnahmen selbst nicht merklich verändert werden (z.B. Veränderung der Vegetation durch Trittschäden).

Da bei Stichprobenerhebungen nur kleine Flächen und wenige Bäume beobachtet werden müssen, ist man bei der Wahl der zu beobachtenden Grössen relativ flexibel. Trotzdem sollte man sich auf Merkmale beschränken, die mit bescheidenem Aufwand besonders wichtige Informationen liefern und die bei der nächsten Inventur wieder so erfasst werden können, dass die Resultate vergleichbar sind.

Im Folgenden soll auf einige Merkmale hingewiesen werden, die sowohl ökonomisch als auch ökologisch bedeutsam sind und trotzdem noch allzu oft vernachlässigt werden. Es handelt sich um Indikatoren für die Gesundheit und Stabilität des Waldes.

Die Vitalität des Baumes

Unter der Vitalität eines Baumes versteht man:

- sein Wachstum,
- seine Fähigkeit, auf Veränderungen seiner Umwelt zu reagieren,
- seine Überlebensfähigkeit sowie
- sein Vermehrungspotenzial.

Die Kenntnis der Vitalität wäre sowohl für ökonomisch als auch für ökologisch ausgerichtete Untersuchungen von grösster Bedeutung, doch ist sie in ihrer Komplexität schwierig zu erheben. Umso grösser müssten eigentlich die Anstrengungen sein, Methoden zur Schätzung von Vitalitätszeigern zu erarbeiten. Leider haben sich bisher die meisten Autoren damit beschäftigt, die wenigen vorgeschlagenen Methoden zu kritisieren statt bessere zu entwickeln.

Neben Art, Alter und Grösse ist der Gesundheitszustand zweifellos die wichtigste Kenngrösse für den einzelnen Baum. Er entscheidet weitgehend über die zukünftige Entwicklung des Waldes und ist daher für die Planung meistens unverzichtbar. Die Untersuchungen der letzten zwei Jahrzehnte haben eindrücklich gezeigt, dass Prognosen mit Modellen, die ohne diese Information auskommen, skeptisch beurteilt werden sollten.

Der Zuwachs

Der Zuwachs zeigt zusammen mit Informationen über die Holzqualität die ökonomische Produktion des Waldes und ist daher zentral für jede wirtschaftlich relevante Leistungskontrolle. Zugleich ist der Zuwachs ein allgemeiner Zeiger für die Vitalität und damit auch eine der wichtigsten ökologischen Kontrollgrössen. Der gemessene Zuwachs und der Zuwachsverlauf sind sodann immer die Ausgangswerte für die Prognose des zukünftigen Wachstums. Die Kenntnis des Zuwachses ist daher weder für ökonomische noch für ökologisch orientierte Kontrollen und Planungen entbehrlich.

Der Durchmesserzuwachs eines Baumes kann ermittelt werden, indem der Stamm angebohrt wird und am entnommenen Bohrkern die Jahringbreiten gemessen werden. Der Höhenzuwachs ist bei vielen Baumarten am Höhentrieb ablesbar. Schwieriger zu ermitteln sind der Volumenzuwachs des Stammes oder des ganzen Baumes, Form- und Grössenveränderungen der Krone sowie Wertveränderungen. Prinzipiell können alle Zuwächse durch wiederholte Messungen an permanent gekennzeichneten Bäumen ermittelt werden. Billiger und erst noch repräsentativ geschieht das in Kontrollstichproben (SCHMID-HAAS *et al.* 1993). In naturnahen Wäldern ist das Wiederauffinden der Probeflächen und das Wiedererkennen der einzelnen Bäume besonders unproblematisch.

Der gemessene Zuwachs stimmt im Allgemeinen bei weitem nicht mehr überein mit dem Zuwachs nach Wachstumsmodellen, Ertragstafeln oder anderen Erfahrungszahlen (KELLER 1992; BRÄKER 1996; ZINGG 1996; UNTHEIM 1996; PRETZSCH & UTSCHIG 2000). Für die letzten Jahrzehnte war der Zuwachs oft viel zu gross, weit seltener eher etwas zu klein, wobei die Ursachen längst nicht immer klar sind. Es gibt daher keine vernünftige Alternative zur effektiven Messung des Zuwachses.

Der Kronenzustand

Zusätzlich zum Zuwachs kann die Ansprache der Baumkronen zur Beurteilung des Gesundheitszustandes dienen. Neben speziellen Schäden wird seit den Achtzigerjahren vor allem die Kronenverlichtung beobachtet.

Die Kronenverlichtung kann nicht gemessen, sondern nur geschätzt werden (SCHRÖTER & ALDINGER 1985; SCHMID-HAAS 1987; DOBBERTIN *et al.* 1997). Wenn die Kronenverlichtung in 5%-Stufen geschätzt wird, kann sie trotzdem als quantitative Grösse betrachtet werden. Die Schätzung der Kronenverlichtung wird in den meisten Ländern Europas angewandt. Neudings werden Anstrengungen unternommen, die Schätzwerte nachträglich international zu standardisieren. Der ein-

zelle Beobachtungswert kann mit einem grossen zufälligen (KÖHL 1993) und einem subjektiven Fehler behaftet sein. Die Grösse dieser Fehler ist weitgehend von der Erfahrung und Instruktion der Beobachter abhängig. Um die Fehler in Grenzen zu halten, werden die Beobachter der schweizerischen Sanasilva-Inventur jedes Jahr instruiert und systematisch überprüft.

Viel schwerwiegender als zufällige Fehler, die sich bei der grossen Zahl der beobachteten Bäume weitgehend ausgleichen, wären systematische Trends von Aufnahme zu Aufnahme, weil vor allem die zeitlichen Veränderungen interessieren. Um zu verhindern, dass die Ansprachen immer strenger oder immer toleranter werden, werden die Beobachtungen nicht nur an Bäumen sondern auch an Kronenbildern aus früheren Jahren (MÜLLER & STIERLIN 1990) geübt. Damit kann weitgehend gewährleistet werden, dass zeitliche Veränderungen unverfälscht wiedergegeben werden.

Nach den Resultaten der Sanasilva-Inventur hat die relative Häufigkeit aller Waldbäume der Schweiz mit einer Kronenverlichtung von mehr als 25% von 1985 bis 2000 von 8,6% auf 29,4% zugenommen (Abbildung 1). Die Häufigkeit der Bäume mit einer mässigen bis starken Kronenverlichtung unbekannter Ursache hat sich in dieser Zeit also verdreifacht und die systematische Zunahme ist trotz der grossen Beobachtungsfehler und trotz der Schwankungen von Jahr zu Jahr statistisch hoch signifikant (Spearman Korrelation, $p < 0,001$). Interessant sind dabei nicht die Unterschiede von Jahr zu Jahr, sondern die praktisch lineare Zunahme der Kronenverlichtung, seitdem sie beobachtet wird.

Bisher sind weder natürliche noch anthropogene Faktoren bekannt, die eine derart eindeutige und starke Zunahme der Kronenverlichtung erklären könnten. Die meist zu grossen Zuwächse sprechen eher gegen eine Abnahme der Vitalität. Versuche, die Sanasilva-Resultate anzuzweifeln sind daher verständlich. Aus diesem Grund gibt es kaum andere Beobachtungen im Wald, die kritischer unter die Lupe genommen worden sind als die Kronenverlichtung. Dabei hat sich gezeigt, dass methodische Fehler die Zunahme der Kronenverlichtung auf keinen Fall erklären können.

Leider sind nicht nur die Ursachen für den Anstieg der Kronenverlichtung noch nicht erkannt, auch die Bedeutung der Kronenverlichtung für den Baum ist noch wenig untersucht. Stattdessen muss man auch von Forscherseite wiederholt Bemerkungen hören wie: «Das hat alles keine grosse Bedeutung, das ist sowieso ein nicht erklärbares Resultat.» Doch Resultate, die ein Forscher nicht erklären kann und die der bisherigen Theorie widersprechen, sind meist die interessantesten, diejenigen, die zu neuen Erkenntnissen führen können. Vorgänge wie das leicht verfrühte Abwerfen der Nadeln haben vielleicht keine gravierenden Folgen für den Baum; sie müssen aber Ursachen haben und können wichtige Zeiger für versteckte Schädigungen sein.

Der Zustand von Stock und Wurzeln

Der Stock kann mit Hilfe von Bohrungen auf Fäule untersucht werden; der Aufwand pro Baum ist aber hoch. Am Ton eines Hammerschlags sind wenigstens stark faule Stöcke zu erkennen.

Der Zustand der Wurzeln wird im Allgemeinen überhaupt nicht untersucht. Nach wie vor kennen wir keine Methode, um den Zustand der Feinwurzeln oder der in die Tiefe wachsenden Wurzeln mit vertretbarem Aufwand zu untersuchen (POLOMSKI & KUHN 1998). Die horizontale und vertikale Ausdehnung des Wurzelbereichs für den einzelnen Baum werden bei Inventuren wohl immer unbekannt bleiben. Der Gesundheitszustand von Feinwurzeln kann im Prinzip untersucht werden, indem mit Hohlbohrern kleine Wurzelproben aus vorgegebener Tiefe entnommen und im Labor auf ihre Lebenskraft untersucht werden (BRUNNER *et al.*, im Druck). Vorläufig ist aber keine Substanz bekannt, welche den Gesundheitszustand der Wurzeln einigermaßen integral abschätzen lässt und deren Konzentration relativ leicht zu ermitteln wäre.

Bei Baumarten mit oberflächlich wachsenden Stützwurzeln kann der Gesundheitszustand wenigstens für diese überprüft werden (SCHMID-HAAS 1994). In unseren Untersuchungen wurden pro Baum drei Stützwurzeln oberflächlich freigelegt und mit einem Hohlbohrer in einem Abstand von 80 cm vom Stamm senkrecht angebohrt (Abbildung 2). Bohrer dringen

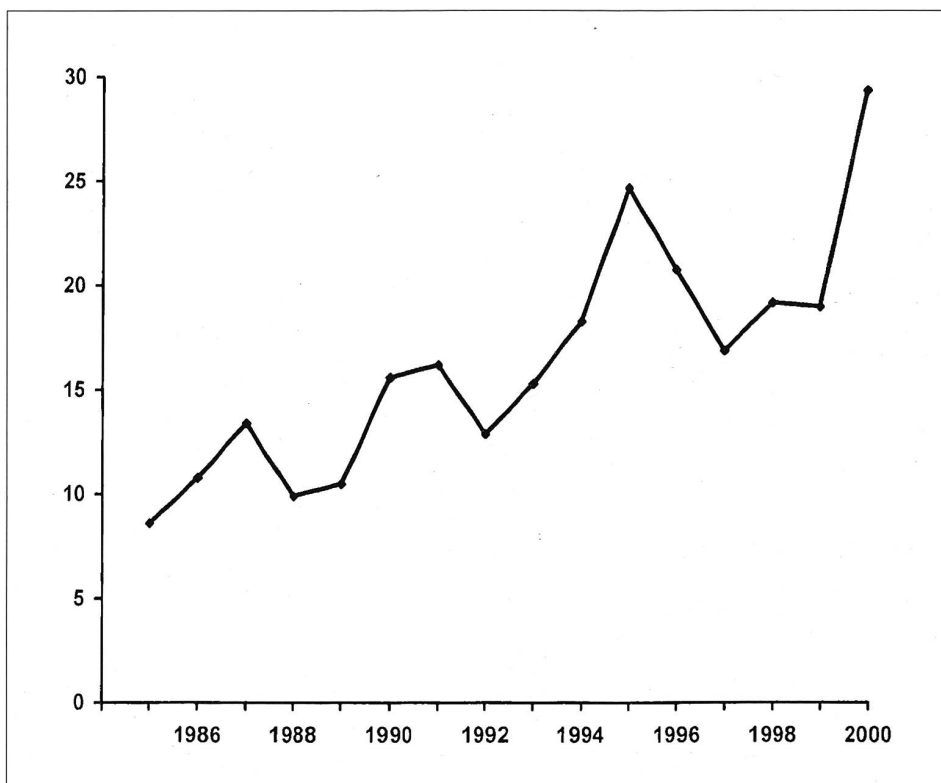


Abbildung 1: Sanasilva-Inventuren 1985–2000. Prozentualer Anteil der Bäume mit mehr als 25% Kronenverlichtung unbekannter Ursache für alle Baumarten und die ganze Schweiz.

sehr leicht in die Wurzeln ein und eine Bohrtiefe von ungefähr halber Wurzelstärke oder höchstens 10 cm Tiefe genügt. Die Bohrkernchen können an Ort und Stelle auf Fäule, Verfärbung oder Nässe überprüft und bei Bedarf im Labor genauer untersucht werden.

Für die Anwendung in zukünftigen Inventuren empfehlen wir eine leichte Modifikation. Weil man bei grossen Bäumen in einer Distanz von 80 cm vom Stamm noch in den Wurzelanlauf bohrt, ist die Distanz zur Wurzelachse im Allgemeinen zu gross. Die Bohrdistanz sollte daher mehr als 1 m betragen. Bei kleinen Bäumen kann man andererseits näher am Stamm bohren und dadurch wesentlich rascher arbeiten. Die Bohrdistanz vom Stamm sollte daher vom Durchmesser in Brusthöhe abhängig sein, beispielsweise eine Bohrdistanz von 40 cm bei Durchmessern unter 40 cm BHD und eine Bohrdistanz von 1,20 m für grosse Bäume.

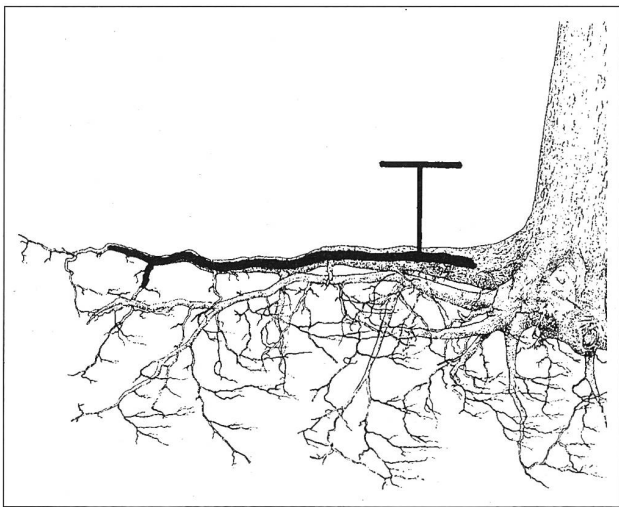


Abbildung 2: Fäule dehnt sich häufig im zentralen Bereich der Wurzel mehrere Meter weit aus und wird daher gefunden, wenn irgendwo senkrecht zur Wurzelachse gebohrt wird.

Ein bei einer Feinwurzel oder Wunde eindringender Erreger wird entweder nur wenig tief eindringen und somit nur geringen bleibenden Schaden verursachen oder bis ins Zentrum vordringen und sich dann im Innern der Wurzel meist über mehrere Meter der Wurzelachse entlang ausdehnen. Im Gegensatz zu hauptsächlich in den USA gebräuchlichen Methoden, bei denen oberflächlich nach Wunden oder Austrittsstellen von Harz gesucht wird (ALEXANDER 1989), können daher mit Bohrungen senkrecht zur Wurzelachse viele der ernsthaften Wurzelinfektionen gefunden werden. Diese neuartige, bei Fichten und Tannen auf verschiedenen Standorten erprobte Methode kann mit geringem Aufwand Aufschluss über die Verbreitung von Fäule und Nässe in den Stützwurzeln geben.

Das Bohrloch vermindert die Bruchfestigkeit der angebohrten Wurzel ein wenig. Im Gegensatz zu Stammbohrungen hat die Nachkontrolle von Bohrlöchern in den Stützwurzeln gezeigt, dass praktisch keine durch die Bohrung verursachte Fäule oder Verfärbung zu befürchten ist. Allerdings kann sich eine bereits bestehende Fäule stark ausdehnen, wenn durch die Bohrung eine Barriere durchbrochen wird. Zudem findet ähnlich wie im Stamm um das Bohrloch eine Verkernung statt. In einem linsenförmigen Gebilde, das im Wurzelquerschnitt bis zu 2 cm breit ist, ist die Leitfähigkeit gestört (Menn, Holdenrieder, Schmid-Haas, interne Berichte). Die dadurch verursachten kleinen Beeinträchtigungen der Vitalität müssen bei einer Anwendung der Methode bei einer Grosszahl von Bäumen in wissenschaftlichen Beobachtungs-

flächen berücksichtigt werden, sie spielen aber bei Stichprobenerhebungen, bei denen sowieso nur ein sehr kleiner Teil der Bäume untersucht wird, keine Rolle. Sofern die vorübergehende Verringerung des Wassernachschubs und der Stabilität bei den wenigen durch eine Inventur erfassten Bäumen trotzdem stören sollte, müsste die Untersuchung auf eine Wurzel pro Baum beschränkt werden. Insgesamt sind die Folgen des Eingriffs nach einigen Jahren so gering, dass wieder die gleichen Wurzeln angebohrt werden dürfen, um die Zunahme der Häufigkeit von Fäule zu untersuchen. Die Methode eignet sich also auch zur Überwachung der Veränderungen des Gesundheitszustandes der Stützwurzeln.

Im schweizerischen Mittelland, im Jura und in den Voralpen wurden durchschnittlich an 20% der Fichten Fäule in den Stützwurzeln festgestellt, wobei die Mittelwerte in den untersuchten Forstbetrieben zwischen 10% und 44% lagen. Als Erreger wurden teilweise *Heterobasidion annosum* und *Armillaria spp.* nachgewiesen, oft konnte der Erreger aber nicht identifiziert werden (HOLDENRIEDER *et al.* 1994). Repräsentative Werte oder gar Informationen über die Entwicklung der Fäule liegen noch nicht vor. Ebenso wenig gibt es Schätzungen über die Häufigkeit und Bedeutung der Fäule, die mit unserer Methode nicht gefunden wird.

Auf die durch Fäule in Stamm, Stock und insbesondere auch in den Wurzeln verursachten Schäden wurde bereits nach den Winterstürmen 1967 aufmerksam gemacht (BAZZIGHER & SCHMID-HAAS 1969). Nach dem schweren Sturm Vivian 1990 wurde in der Schweiz die Art der Schäden bei Streuschäden systematisch untersucht. 12% der einzeln gefällten Bäume wiesen Fäule an der Bruchstelle am Stamm auf, 11% waren im Stock gebrochen und dort faul, weitere 32% wiesen Bruchstellen an Derbwurzeln mit Fäule auf. Bei mehr als der Hälfte aller einzeln gefällten Bäume waren die Bäume an der Bruchstelle also geschwächt (SCHMID-HAAS & BACHOFEN 1991). Da meist zuerst einzelne Bäume gebrochen oder geworfen und dadurch Flächenschäden initiiert werden, können mit einer derartigen Untersuchung die primären Ursachen der gesamten Sturmschäden wenigstens teilweise abgeklärt werden (soweit die Bäume nicht, ähnlich wie bei der Anpassung der Schaftform an die Windverhältnisse festgestellt, die Gefährdung durch verstärktes Wachstum an den geschwächten Stellen ausgleichen).

Der Sturm Lothar vom Dezember 1999 hat in der Schweiz ungefähr 3% des Vorrates oder fast das Doppelte einer normalen Jahresnutzung zerstört. Diese Sturmschäden sind noch nicht definitiv analysiert. Ein erster Untersuchungsbericht bestätigt bisherige Erfahrungen: Die Sturmschäden in Kontrollstichproben mit gleichförmigen Bestockungen und mit Eingriffen in den letzten fünf Jahren waren viel grösser als in solchen mit geplenterten oder sich in Überführung befindlichen Bestockungen ohne solche Eingriffe. Alle anderen Unterschiede zwischen den untersuchten Kontrollstichproben in einem traditionellen Plenterwaldgebiet waren vergleichsweise unbedeutend (DVOŘÁK *et al.* 2001). Damit ist bestätigt worden, dass die Bestandesstruktur neben der Fäule in Stamm, Stock und Wurzeln das wichtigste Merkmal für die Schätzung der Sturmgefährdung ist.

Statistische und kausale Zusammenhänge

Analyse des Kausalnexus

Verstehen kann man die Natur nur, wenn man nicht nur statistische Beziehungen, sondern auch die ursächlichen Zusammenhänge kennt. Ursachenforschung ist schwierig, weil sehr viele mögliche Einflussgrössen zu berücksichtigen und

die Zusammenhänge von Ursache und Wirkung oft sehr komplex sind. Eine statistische Beziehung zwischen zwei Grössen kann bekanntlich nicht nur durch eine direkte Beeinflussung zustande kommen, sondern auch durch verschiedene indirekte ursächliche Einflüsse, durch ein Geflecht von Ursachen, durch einen Kausalnexus. Um von einer statistischen Beziehung auf eine ursächliche zu schliessen, müssen alle indirekten Einflüsse, die ebenfalls zu dieser statistischen Beziehung führen könnten, ausgeschlossen werden.

Das ist bei einfachen Experimenten möglich, bei denen ein oder mehrere Faktoren (Behandlungen) gezielt variiert und alle anderen möglichen Einflussgrössen entweder konstant gehalten oder durch eine Zufallszuordnung einigermaßen gleichmässig auf die Behandlungsgruppen verteilt werden. Beobachtungsgrössen, die statistisch signifikant von den variierten Faktoren abhängig sind, sind kausal von diesen beeinflusst, da indirekte Einflüsse weitgehend ausgeschlossen werden können. Leider kann man bei grossen Bäumen viele Fragen nicht durch Experimente untersuchen, weil die Bäume schlicht zu gross für das Labor und die Beobachtungszeiträume zu lang sind. Daher muss man zur Abklärung vieler Fragen Experimente durch passive Beobachtungen ersetzen, ähnlich wie in der klinischen Forschung am Menschen.

Bei passiver Naturbeobachtung werden die Zusammenhänge plausibler, wenn die Zahl der möglichen Einflussgrössen durch eine geschickte Wahl der Beobachtungseinheiten und eine geeignete statistische Auswertung stark reduziert werden. In den Untersuchungen, über die in diesem Aufsatz kurz berichtet wird, wurden Bäume in vielen Stichprobeflächen von lokalen Waldinventuren sowie in Versuchsflächen der Waldwachstumskunde beobachtet. Alle Beobachtungen wurden an den gleichen Bäumen vorgenommen. Bei der Auswertung wurden jeweils nur die Bäume innerhalb der gleichen Flächen miteinander verglichen, meist durch eine Kovarianzanalyse. Dadurch konnten alle Wechselwirkungen der Standorts- und Bestockungseinflüsse mit den Einzelbaumgrössen ausgeschlossen werden. Durch die Beschränkung auf einzelne Baumarten und auf dominante Bäume wurden wichtige Einzelbaumfaktoren und durch die Beschränkung auf gepflegte Wälder auch Konkurrenzinflüsse teilweise ausgeschlossen.

Kronenverlichtung und Zuwachs

Eine geringe Kronenverlichtung verursacht im Allgemeinen keine Zuwachseinbusse, weil die verfrüht abfallenden Nadeln der ältesten Jahrgänge nur noch sehr wenig assimilieren würden, weil auch die Assimilation der beschatteten Nadeln gering ist und weil sowieso die Produktion fehlender Nadeln weitgehend durch die übrig gebliebenen kompensiert wird. In vielen Publikationen wird denn auch erwartungsgemäss nur ein geringer Zusammenhang zwischen Kronenverlichtung und Zuwachs nachgewiesen.

Umso mehr haben die von uns gefundenen engen Zusammenhänge erstaunt (SCHMID-HAAS 1990; SCHMID-HAAS *et al.* 1997). Unsere Untersuchungen wurden in sechs Forstbetrieben durchgeführt, in denen seit mindestens zwanzig Jahren Kontrollstichproben ausgelegt waren, sowie in elf gleichaltrigen und zwölf geplenterten Versuchsflächen der Waldwachstumskunde. Die meisten Standorte liegen im schweizerischen Mittelland, andere im Jura, in den Voralpen und Alpen. Insgesamt wurden 1032 mindestens sechzig Jahre alte Fichten und 425 Tannen untersucht.

In praktisch allen untersuchten Objekten war der statistische Zusammenhang bei Fichten und Tannen zwischen Kronenverlichtung und Zuwachs sehr eng, sowohl in gleichaltrigen als auch in geplenterten Wäldern. Oft war der mittlere Durchmesserzuwachs bei einer Kronenverlichtung von 25%

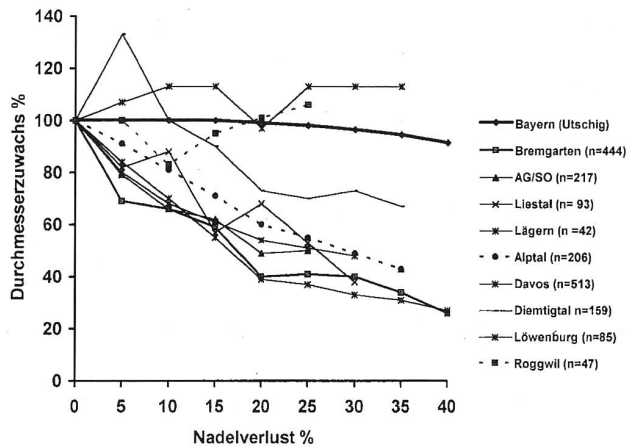


Abbildung 3: Durchmesserzuwachs von Fichten in Kontrollstichproben und Versuchsflächen.

Zuwachs in Prozent des Zuwachses von voll benadelten Fichten in der gleichen Fläche.

nur halb so gross wie bei den daneben stehenden voll benadelten Fichten oder Tannen (Abbildung 3). Schon Bäume mit geringen Nadelverlusten zeigten also kleinere Zuwächse auf, wobei die kausalen Zusammenhänge vorerst unbekannt geblieben sind. Inzwischen sind diese auf grosse Skepsis gestossenen Resultate von anderen Autoren bestätigt worden, so für Österreich (STEYRER 1996), für Norwegen (SOLBERG 1999) und auch für die Daten der gesamtschweizerischen Sanasilva-Inventur (DOBBERTIN 1998).

Kronenverlichtung und Sturmgefährdung

Man müsste erwarten, dass Bäume mit verlichteten Kronen weniger stark durch Sturm gefährdet sind als diejenigen mit dichten Kronen. Leider ist das im Allgemeinen nicht nachweisbar, weil die Kronen, die am Boden liegen, nicht gleich angesprochen werden können wie diejenigen am ungeschädigten Baum. Nur in Inventuren mit Kontrollstichproben oder in permanenten Versuchsflächen, bei denen vor einem starken Sturm viele oder alle Kronen angesprochen worden und grosse Streuschäden entstanden waren, können ungeschädigte und geschädigte Bäume miteinander verglichen werden. In den Kontrollstichproben von Oberentfelden waren vor dem Sturm von 1990 alle Kronen angesprochen worden. Fichten und Tannen mit leicht verlichteten Kronen sind dort nicht weniger oft, sondern viel häufiger vom Sturm gefällt worden waren als diejenigen mit voller Benadelung (Tabelle 1).

Tabelle 1: Sturmschaden 1990 in Kontrollstichproben Oberentfelden, in Abhängigkeit von der Kronenverlichtung.

Nadelverlust	0-5%	10-15%	20-25%
Anzahl Fichten vor dem Sturm	909	236	17
Durch den Sturm gefällte Fichten	92	43	8
Relative Häufigkeit	10%	18%	47%

Um den Einfluss von Standorts- und damit von Windstärkeunterschieden auszuschalten, wurden für diese Signifikanzprüfung Differenzen innerhalb der Probeflächen benützt. In jeder Probefläche wurde die mittlere Kronenverlichtung der herrschenden und mitherrschenden Fichten und Tannen einseits für die ungeschädigten und andererseits für die vom Sturm gefällten Bäume berechnet. Der Test von Wilcoxon zeigt, dass diese Differenzen statistisch signifikant ($p < 0,05$) von 0 abweichen (SCHMID-HAAS 1994). Eine analoge Beziehung konnte mit flächenbezogenen Daten in Lenzburg nachgewiesen werden (LÄTT 1991).

Kronenverlichtung und Stockfäule

Stürme übertragen mehr Energie auf dichte als auf verlichtete Kronen. Bäume mit verlichteten Kronen müssen in Stamm, Stock oder Wurzeln geschwächt sein, wenn sie stärker vom Sturm bedroht sind. Der hohe Anteil von Fäule in den Stöcken legte die Vermutung nahe, dass Kronenverlichtung und Stockfäule korrelieren. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden in einem grossen Teil der Stichproben und Versuchsflächen zusätzlich Stockbohrungen ausgeführt. An 733 untersuchten Fichten konnte mit einmaliger Bohrung 145 (20%) Mal Fäule im Stock nachgewiesen werden. Bei Stockfäule von Fichte war die mittlere Kronenverlichtung nicht im Geringsten erhöht. Stockfäule hat also keinen Einfluss auf die Kronenverlichtung und die Kronenverlichtung ist auch statistisch kein Indiz für Stockfäule (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mittlerer Durchmesserzuwachs und Nadelverlust der Fichte in Kontrollstichproben und Versuchsflächen, in Abhängigkeit von Stockfäule.

	Ohne Stockfäule	Mit Stockfäule	Differenz	Signifikanz
Durchmesserzuwachs in mm/Jahr	4,5	4,6	+2%	Keine
Nadelverlust in %	17,5	16,3	-7%	Keine
Anzahl Bäume	588	145		

Zuwachs und Stockfäule

Eine analoge Auswertung zeigt, dass Fichten mit und ohne Stockfäule den gleichen mittleren Durchmesserzuwachs aufweisen. Stockfäule beeinflusst also auch den Zuwachs nicht, jedenfalls nicht, solange sie nicht auf den Splint übergreift (Tabelle 2).

Kronenverlichtung und Wurzelfäule

Als gemeinsame Ursache für Kronenverlichtung und Sturmgefährdung musste demnach eine Schwäche im Wurzelbereich vermutet werden. Leider war es nicht möglich, den Zustand der Feinwurzeln mit einem geringen Aufwand pro Baum zu untersuchen. Daher wurden wenigstens die Stützwurzeln auf Fäule (oder Nässe) untersucht. Auch in den Stützwurzeln wurde bei 20% der Fichten Fäule festgestellt. Stock- und Wurzelfäule kamen aber nur teilweise bei den gleichen Bäumen vor; bei 10% der Fichten wurde Fäule in Stock und Wurzeln festgestellt, bei 10% nur im Stock und bei weiteren 10% nur in mindestens einer der Stützwurzeln.

Im Gegensatz zur Stockfäule korreliert die Fäule in den Stützwurzeln bei Fichten statistisch signifikant mit der Kronenverlichtung (Kovarianzanalyse, $p < 0,01$). Fichten, bei denen in mindestens einer der drei Stützwurzeln Fäule festgestellt wurde, hatten durchschnittlich eine um 27% grössere Kronenverlichtung (Tabelle 3). Damit ist bewiesen, dass die Kronenverlichtung der Fichte ein Zeiger für den Zustand der

Tabelle 3: Mittlerer Durchmesserzuwachs und Nadelverlust der Fichte in Kontrollstichproben und Versuchsflächen, in Abhängigkeit von Wurzelfäule.

	Ohne Wurzelfäule	Mit Wurzelfäule	Differenz	Signifikanz
Durchmesserzuwachs in mm/Jahr	4,2	3,6	-14%	$p < 0,01$
Nadelverlust in %	16,5	21,0	+27%	$p < 0,01$
Anzahl Bäume	825	207		

Wurzeln ist. Nur genauere Wurzeluntersuchungen könnten zeigen, wie gut dieser Zeiger ist. Jedenfalls ist kein besserer bekannt.

Zuwachs und Wurzelfäule

Auch der Durchmesserzuwachs der Fichten ist statistisch signifikant mit der Fäule in den Stützwurzeln korreliert (Kovarianzanalyse, $p < 0,01$). Fichten mit Fäule in den Stützwurzeln zeigten im Durchschnitt aller Stichproben und Versuchsflächen einen 14% kleineren Zuwachs (Tabelle 3).

Kronenverlichtung und Mortalität

In zehn gepflanzten und 22 gleichaltrigen, regelmässig gepflegten Versuchsflächen in Mittelland, Jura, Voralpen und Alpen der Schweiz wurden von 1985 bis 1991 die Kronen von Fichten, Tannen und Buchen beurteilt und die Bäume dann auf ihr Überleben oder Ausscheiden beobachtet. Nach den insgesamt 19 663 Beobachtungen waren pro Jahr 0,5% der Fichten, 1,3% der Tannen und 0,8% der Buchen abgestorben, wenn die Folgen des Sturms Vivian von 1990 nicht berücksichtigt werden. Die Ausfallrate war bei allen drei Baumarten statistisch signifikant von der Kronenverlichtung abhängig, jedoch nicht nachweisbar vom Standort, von der waldbaulichen Behandlung, der Kronenlänge oder von der sozialen Klasse (herrschend und mitherrschend) (SCHMID-HAAS 1993). Die Resultate der schweizerischen Sanasilva-Inventur mit weiteren 23 589 Kronenbeobachtungen in permanenten Stichprobeflächen bestätigen, dass die Kronenverlichtung das wichtigste Merkmal für die Prognose des Baumsterbens ist und dass die Mortalität schon bei geringer Kronenverlichtung leicht ansteigt (DOBBERTIN & BRANG 2001). Ähnliche Ergebnisse melden NEUMANN & STEMBERGER (1990) für Österreich sowie BRAUN & SCHRÖTER (1997) für Tannen in Süddeutschland.

Zeiger oder Ursachen

Die vorliegenden Ergebnisse sind im Einklang mit den in Abbildung 4 wiedergegebenen Hypothesen, nach denen Stamm- und Stockfäule für die Sturmgefährdung wesentlich mitverantwortlich ist, Fäule in den Wurzeln ebenfalls kausal die Sturmgefährdung vergrössert, darüber hinaus aber auch den Zuwachs verlangsamt, die Kronenverlichtung fördert und auch die nicht durch Stürme verursachte Mortalität erhöht. Diese kausalen Beziehungen sind weitgehend für die festgestellten Korrelationen zwischen Zuwachs und Kronenverlichtung sowie zwischen Sturmgefährdung und Kronenverlichtung verantwortlich, denn es ist nicht anzunehmen, dass die

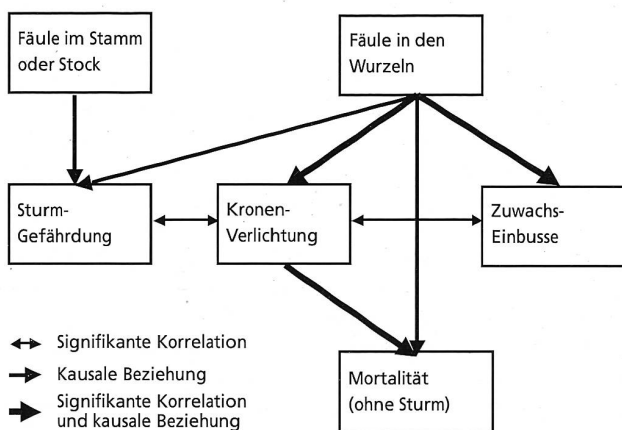


Abbildung 4: Statistische und kausale Beziehungen (Hypothese).

Kronenverlichtung selbst zu einer erhöhten Sturmgefährdung führt oder dass schon geringe Kronenverlichtungen für massive Zuwachseinbussen verantwortlich sind. Eine geringe Kronenverlichtung ist vielmehr «nur» ein Zeiger für eine Schwächung im Wurzelbereich.

Trotz dieser Erkenntnisse bleiben viele Fragen offen und können nur spekulativ beantwortet werden. Eine starke Zunahme der Fäule in den letzten Jahrzehnten könnte die immer stärker werdende Kronenverlichtung erklären. Aber niemand hat bislang untersucht, ob sich die Fäule in dieser Zeit ausgebreitet hat. Unsere Sturmschadenuntersuchungen scheinen eher zu zeigen, dass Fäule bei der Fichte schon 1967 ähnlich häufig vorkam. Nicht auszuschliessen ist allerdings, dass durch Stürme und ordentliche Nutzungen viele Fichten mit Wurzelfäule ausgefallen sind und neue Infektionen die Häufigkeit der Fäule wieder angehoben haben. Auch die primären Ursachen für Fäule der Fichte und Nässe der Tanne sind nicht geklärt. Sie könnten durch Bodenverdichtung oder Wurzelverletzungen bei der Holzernte, durch das Eindringen von Wurzelpilzen in die Stöcke frisch geernteter Bäume und über Wurzelverwachsungen in benachbarte Bäume, durch von Immissionen verursachte Bodenveränderungen mannigfacher Art oder durch klimatische Faktoren erklärt werden. Konkrete Hinweise gibt es zu wenig.

Kein Widerspruch besteht zwischen dem hohen Zuwachs und der seit bald zwanzig Jahren systematisch zunehmenden Kronenverlichtung. Gewisse Komponenten der Luftverschmutzung, z.B. Stickstoff, können sehr wohl gleichzeitig den Zuwachs und die Kronenverlichtung fördern und die Zuwachsförderung könnte die durch Wurzelfäule verursachten Einbussen mehr als kompensiert haben. Bekanntlich können Immissionen auch das Gleichgewicht zwischen dem Wachstum von Krone, Stamm und Wurzeln stören (MATYSSEK *et al.* 1994) und dadurch die Sturmgefährdung zusätzlich vergrössern.

Unabhängig davon, wie die Hypothesen noch modifiziert und ausgebaut werden müssen, lassen die bisher gewonnenen Resultate Schlüsse für die Waldinventur zu:

1. Die Ansprache der Kronenverlichtung war zumindest in unseren Aufnahmen gut, denn grosse Korrelationen können nur entstehen, wenn die korrelierten Merkmale eng zusammenhängen und die zufälligen Mess- oder Ansprachefehler zudem klein sind.
2. Aus ähnlichen Überlegungen folgt, dass die bei Fichten und Tannen gefundenen Wurzelschäden einen wesentlichen Teil aller Wurzelschwächen und Wurzelschäden darstellen. Ebenso klar scheint uns, dass die Forschung noch bedeutende Verbesserungen in der Aufdeckung von Wurzelschäden bringen kann.

Folgerungen für die Waldinventur

Bei der Planung jeder Inventur ist es notwendig, auch schon an die nächste Inventur zu denken, weil fast alle Inventuren von Zeit zu Zeit wiederholt werden müssen. Die Resultate von aufeinander folgenden Inventuren sind nur vergleichbar, soweit die gleichen Merkmale mit den gleichen Definitionen erfasst werden. Veränderungen sind mit Hilfe der Fernerkundung effizient erfassbar, sofern bei mindestens zwei aufeinander folgenden Inventuren mit den gleichen Methoden gearbeitet wird oder mit Probeflächen im Gelände, sofern diese wieder aufgefunden und die Probebäume wiedererkannt werden können. Kontrollstichproben können ohne sichtbare Kennzeichen wieder aufgefunden und darin kann jeder einzelne Baum wieder erkannt werden. Damit ist eine repräsentativ bleibende Überwachung der Wald- und Einzelbaumentwicklung möglich.

Bei fast allen Inventuren ist es sinnvoll und notwendig, auch Merkmale zur Schätzung der Vitalität des Waldes zu erfassen. Unter der Vitalität eines Baumes versteht man sein Wachstum, seine Reaktions- und Überlebensfähigkeit sowie sein Vermehrungspotenzial, Eigenschaften, die man für fast jede Beurteilung eines Waldes kennen möchte. Die zunehmenden verheerenden Sturmschäden zeigen, wie wichtig auch Aussagen über die Stabilität des Waldes sind.

Der Zuwachs ist sowohl ein Mass für die ökonomische Produktion des Waldes als auch ein wichtiges Merkmal für die Schätzung der Vitalität; der Zuwachs in den vergangenen Jahren ist ein guter Schätzwert für den zukünftigen Zuwachs. Der Durchmesserzuwachs kann in Kontrollstichproben frei von subjektiven Einflüssen bei allen bleibenden Bäumen gemessen werden.

Die Ungleichförmigkeit einer Bestockung vergrössert die Sturmstabilität. Einzelne Bäume werden immer etwas labiler sein als die übrigen und vom Sturm zuerst gefällt werden. Bei ungleichförmiger Bestockung entstehen aus diesen Streuschäden offenbar weniger rasch Flächenschäden. Die lokale Ungleichförmigkeit in Bezug auf Baumarten und Durchmesser wird bei jeder Inventur sowieso erfasst und muss nur entsprechend ausgewertet werden.

Der Gesundheitszustand von Stamm, Stock und Wurzelwerk sowie das Grössenverhältnis zwischen Wurzeln und oberirdischem Teil sind für die Sturmstabilität eines Baumes ausschlaggebend. Leider ist noch keine effiziente Methode bekannt, mit der Grösse, Struktur und Gesundheitszustand des ganzen Wurzelwerks geschätzt werden können. Doch schon die Kontrolle des Stockes mit einem Hammer und vor allem der Stützwurzeln durch Bohrungen können bei gefährdeten Baumarten wichtige Informationen über die Stabilität liefern. Da Fäule in den Wurzeln im Gegensatz zu Stockfäule auch den Zuwachs beeinflusst, wird damit gleichzeitig auch Information für die Zuwachsprognose gewonnen.

Eine starke Kronenverlichtung verursacht natürlich eine Einschränkung des Wachstums und der Reaktionsfähigkeit des Baumes. Ausgedehnte Untersuchungen haben aber nachgewiesen, dass sogar schon eine schwache Kronenverlichtung einen verminderten Zuwachs und eine grössere Sturmanfälligkeit anzeigt. Eine möglichst gut standardisierte quantitative Schätzung der Kronenverlichtung ist daher eine wichtige und lohnende Ergänzung für jede Inventur.

Zur Vereinfachung der Inventur, zur Senkung des Aufwandes und zur Vermeidung grosser Standortsveränderungen in den Probeflächen sollte man die Merkmale, die nicht objektiv erfasst werden können, nicht weiter berücksichtigen.

Allgemeine landesweite Waldinventuren sollten in Zukunft immer durch Ansprachen der Kronenverlichtung und Wurzelbohrungen ergänzt werden. Auch die Aussagekraft für schon bisher erhobene Merkmale wird dadurch wesentlich vergrössert. Sofern die Inventur in verschiedenen Jahreszeiten erfolgen muss, sollte die Kronenansprache wenigstens bei allen wintergrünen Baumarten erfolgen. Bei der folgenden Inventur müssten die Regionen dann in der gleichen Jahreszeit aufgenommen werden, damit die Resultate vergleichbar werden. Sofern befürchtet wird, dass die Wurzelbohrungen das Gedeihen der betroffenen Bäume beeinflussen, müssten Bäume ausserhalb der Probeflächen ausgewählt werden. An diesen zusätzlichen Bäumen sollten dann allerdings auch alle anderen wichtigen Merkmale erfasst werden. Gleichzeitig ist das die Gelegenheit, das Alter einiger ausgewählter Bäume zu bestimmen. Das Alter ist das vielleicht wichtigste Merkmal für jedes Lebewesen und sollte bei Bäumen auch in nicht genau gleichaltrigen Bestockungen nicht länger vernachlässigt werden. Viele Inventurdaten sind schlecht interpretierbar, wenn das Alter der Bäume nicht bekannt ist.

Auch die jährlichen Inventuren mit Kronenansprachen (in der Schweiz Sanasilva-Inventur) können durch eine Untersuchung der Stützwurzeln ergänzt werden, die dann in einigen Jahren wiederholt wird. Hier sind Wurzeluntersuchungen und die Altersbestimmung sogar besonders wichtig, weil diese Inventuren ja primär den Gesundheitszustand erfassen sollen.

Wir empfehlen dringend, zukünftig auch bei jeder regionalen Waldinventur die Kronenverlichtung zu überwachen und Stützwurzeln auf Fäule oder Nässe zu kontrollieren. Die damit zu gewinnenden Kenntnisse über die Vitalität und Stabilität und deren Veränderung sind derart wichtig, dass sich der zusätzliche Aufwand lohnen wird.

Zusammenfassung

Die Vitalität beeinflusst die zukünftige Entwicklung des Waldes. Ihre Kenntnis ist daher für jede ökonomische und ökologische Planung unverzichtbar. Prognosen mit Modellen, die ohne derartige Informationen auskommen, sollten jedenfalls skeptisch beurteilt werden.

Einer der besten Indikatoren für die Vitalität ist der Zuwachs. Zusätzlich wird vor allem die Kronenverlichtung erfasst. Zwar ist die Schätzung der Kronenverlichtung mit einem grossen zufälligen Fehler behaftet, und zudem weiss man, dass nur starke Kronenverlichtungen wesentliche Leistungseinbussen verursachen. Andererseits ist seit Jahren bekannt, dass die Kronenverlichtung bei Fichten und Tannen schon im Bereich 0–25%, also bei den sogenannt ungeschädigten Bäumen, statistisch signifikant mit dem Zuwachs und mit der Sturmgefährdung korrelieren. Bäume mit 25% Kronenverlichtung weisen häufig nur halb so viel Zuwachs auf wie benachbarte Bäume mit 0% Kronenverlichtung und sind gleichzeitig doppelt so stark sturmgefährdet. Die Kronenverlichtung ist daher ein unentbehrlicher Zeiger für die Vitalität. Die Qualität der Schätzung ist allerdings weitgehend von der Erfahrung und Instruktion der Beobachtenden abhängig. Noch wichtiger als die absolute Grösse ist ihre Veränderung im Laufe der Zeit. Es ist alarmierend, dass sich die relative Häufigkeit aller Waldbäume der Schweiz mit mehr als 25% Kronenverlichtung von 1985 bis 2000 verdreifacht hat.

Die grossen Sturmschäden der letzten Jahre haben erneut gezeigt, dass vor allem die Homogenität der Bestockung und die Fäule in Stock und Wurzeln zur Sturmgefährdung beitragen. Bohrkernentnahmen aus den Stützwurzeln von Fichten und anderen anfälligen Baumarten zur Kontrolle von Wurzelinfektionen können daher einen Beitrag zur Beurteilung der Baumstabilität leisten. Gleichzeitig wird dadurch ein wichtiger ursächlicher Faktor für Zuwachseinbussen und Kronenverlichtung erfasst.

Selbstverständlich ist es nicht möglich, die Vitalität des Waldes umfassend zu beurteilen und zu überwachen. Mit Zuwachsmessungen, Ansprachen der Kronenverlichtung und Wurzelbohrungen können aber entscheidende Informationen gewonnen werden.

Summary

Monitoring vitality is an important task for forest inventories

We are interested in a continuous and healthy forest cover. Therefore vitality and stability of trees should be taken into account in most inventories. These factors influence the future development of the forest and are indispensable for economical as well as ecological planning. Forecasts on the basis of models that do not make use of this information are not always reliable.

Increment is one of the best indicators of vitality. In addition, crown defoliation should be estimated, even though this estimator has a large random error and it is well known that only heavy crown defoliations cause an essential loss of productivity. On the other hand, it has also been known for some time that even small crown defoliation rates are correlated with subsequent mortality. Moreover, for Norway spruce and silver fir in the range 0–25% crown defoliation is strongly correlated with diameter increment, if trees are compared strictly within sample plots. Surprisingly, crown defoliation is also an indicator of diminished storm stability. No other quantitative estimator for crowns is as reliable and, despite the initial difficulties in its estimation, crown defoliation is an important indicator for vitality. Changes over time are even more valuable than the absolute value. It is alarming that the number of trees with crown defoliation of more than 25% tripled in Switzerland between 1985 and 2000 – a statistically highly significant increase.

Storm damage analysis has shown that infections in butt and roots considerably increase future storm risk. A relatively simple examination of the supporting roots for infections now turns out to be an efficient method to assess tree stability. Further investigation shows strong correlations between infections in the supporting roots of Norway spruce and silver fir and increment and crown defoliation. Evidently, infections in the roots may show the cause of the correlations of crown defoliation and the rate of mortality, increment and storm stability.

It is, of course, not possible to monitor vitality and stability in a comprehensive way. However, decisive information on the sustainability of the growing stock can be gained with clearly justifiable costs. These possibilities have not been fully exploited.

Translation: JOSEF SCHÖNENBERGER

Résumé

Le contrôle de la vitalité est un élément important de l'inventaire forestier

La vitalité influence le développement futur de la forêt. La connaissance de cette donnée est indispensable à toute planification économique et écologique. C'est pourquoi il faudrait porter un jugement sceptique sur toute prévision basée sur des modèles se passant de ce type essentiel d'information.

L'accroissement est l'un des meilleurs indicateurs de la vitalité. En complément et avant tout, il convient de prendre en compte la défoliation des couronnes, dont l'estimation reste entachée d'importantes sources d'erreurs dues au hasard. On sait en outre que seuls les états de défoliation avancés causent de sérieuses pertes de production. Une corrélation statistiquement significative a été établie il y a quelques années, pour l'épicéa et le sapin, entre la défoliation (à un niveau de 0 à 25% déjà, ce qui correspond à la catégorie des arbres soi-disant non endommagés) et l'accroissement ainsi que la vulnérabilité aux tempêtes. L'accroissement des arbres défoliés à raison de 25% n'atteint souvent que la moitié de celui des individus exempts de défoliation (0%), ceux-là étant simultanément deux fois plus menacés par les coups de vent. La défoliation est par conséquent un indicateur indispensable de l'évaluation de la vitalité. La qualité de l'estimation dépend dans une large mesure de l'expérience et de la formation des observateurs. Il est alarmant de constater qu'en Suisse la fréquence relative des arbres dont le taux de défoliation dépasse 25% a triplé entre 1985 et 2000.

Les importants dégâts dus aux tempêtes survenus ces dernières années ont montré une fois de plus que l'homogénéité du boisement ainsi que la pourriture au pied et dans les racines contribuent au premier chef à accroître la vulnérabilité. Les prélèvements effectués dans les contreforts d'épicéas et d'autres espèces sensibles dans le but de mettre à jour d'éventuelles infections racinaires, peuvent contribuer à l'estimation de la stabilité des arbres. Il est ainsi tenu compte d'un facteur

qui, simultanément, contribue grandement à expliquer les pertes de production et la défoliation des houppiers.

Il n'est bien entendu pas possible d'estimer et d'assurer le suivi de la vitalité de l'ensemble de la forêt. Cependant, des informations déterminantes peuvent être obtenues par les mesures d'accroissement, par l'estimation de la défoliation ainsi que par des prélèvements au niveau des racines.

Traduction: CLAUDE GASSMANN

Literatur

- ALEXANDER, S.A. (1989): Annosus root disease hazard rating, detection and management strategies in the southeastern United States. In: Proceedings of the Symposium on Research and Management of Annosus Root Disease in Western North America. General Technical Report PSW 116: 111–116.
- BAZZIGHER, G., SCHMID-HAAS, P. (1969): Sturmschaden und Fäule. Schweiz. Z. Forstwes. 120: 521–535.
- BRÄKER, O.U. (1996): Growth Trends of Swiss Forests: Tree-Ring Data, Case Study Toppwald. In: Spiecker, H. et al., Growth Trends in European Forests. Springer, Berlin, Heidelberg, 372 pp.
- BRAUN, A., SCHRÖTER, H., 1997: Entwicklung der Vitalität von Tannen auf Dauerbeobachtungsflächen. AFZ/Wald 52: 1372–1375.
- BRUNNER, I., BRODBECK, S., WALTHER, L. (im Druck): Fine root chemistry, starch concentration, and vitality of subalpine conifer forests in relation to soil pH.
- [DOBBERTIN, M.] (1998): Anhang. In: Brang, P. (Redaktion), Sanasilva-Bericht 1997. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 345: 83–102.
- DOBBERTIN, M., HUG, C., SCHWYZER, A. (1997): Aufnahmeanleitung für die Sanasilva-Inventur. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf (unveröffentl.).
- DOBBERTIN, M., BRANG, P. (2001): Crown defoliation improves tree mortality models. Forest Ecology and Management 141, 3: 271–284.
- DVOŘÁK, L., BACHMANN, P., MANDALLAZ, D. (2001): Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen. Schweiz. Z. Forstwes. 152, 11: 445–452.
- HOLDENRIEDER, O., BAUMANN, E., SCHMID-HAAS, P. (1994): Isolation of decay fungi from increment cores: frustrating experience from Switzerland. In: Proceedings of the Eighth International Conference on Root and Butt Rots, IUFRO S2.06.01, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 577–581.
- KELLER, W. (1992): Bonität in Fichten-Folgebeständen ehemaliger Fichten-Versuchsflächen der WSL. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde (Hrsg.): Beiträge zur Jahrestagung 1992 in Grillenburg/Sachsen: 123–129.
- KÖHL, M. (1993): Quantifizierung der Beobachterfehler bei der Nadel-/Blattverlustschätzung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 164, 5: 83–92.
- LÄTT, N. (1991): Zum Zusammenhang zwischen Kronenschäden und Windfallholzanteil. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 109–131.
- MATYSSEK, R., REICH, P., OREN, R., WINNER, W.E. (1994): Response mechanisms of conifers to air pollutants. In: Smith, W.K., Hinkle, T.M. (eds.): Ecophysiology of Coniferous Forests., Academic Press, San Diego: 255–308.
- MÜLLER, E., STIERLIN, H.R. (1990): Sanasilva-Kronenbilder mit Nadel- und Blattverlustprozenten. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (Hrsg.), 2. überarbeitete Auflage, Birmensdorf.
- NEUMANN, M., STEMBERGER, A. (1990): Über Ausmass und Verteilung der Mortalität: Gegenüberstellung von Ergebnissen der Waldzustandsinventur mit früheren Untersuchungen. Centr.bl. Ges. Forstwes. 107: 63–99.
- POLOMSKI, J., KUHN, N. (1998): Wurzelsysteme. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (Hrsg.), Verlag Paul Haupt, Bern u.a., 290 S.
- PRETZSCH, H., UTSCHIG, H. (2000): Wachstumstrends der Fichte in Bayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung 49, 170 S.
- SCHMID-HAAS P. (1990): Kronenverlichtung und Waldwachstum. Schweiz. Z. Forstwes. 141: 189–209.
- SCHMID-HAAS, P. (1987): Inventur und Überwachung des Gesundheitszustandes des Waldes. Schweiz. Z. Forstwes. 138: 837–853.
- SCHMID-HAAS, P. (1990): Kronenverlichtung und Waldwachstum. Schweiz. Z. Forstwes. 141: 189–209.
- SCHMID-HAAS, P. (1993): Kronenverlichtung und Sterberaten bei Fichten, Tannen und Buchen. Forstwiss. Cent.bl. 112: 325–333.
- SCHMID-HAAS, P. (1994): Kronenverlichtung der Fichte als Indiz für mangelhafte Gesundheit und Stabilität – Fäule in den Stützwurzeln als eine der Ursachen. Schweiz. Z. Forstwes. 145: 371–387.
- SCHMID-HAAS, P., BACHOFEN, H. (1991): Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 477–504.
- SCHMID-HAAS, P., BAUMANN, E., HOLDENRIEDER, O., KELLER, W., RAMP, B., STEPIEN, E. (1997): Infektionen der Stützwurzeln, Kronenverlichtung und Zuwachs bei Fichten und Tannen. Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 72, 2: 131–244.
- SCHMID-HAAS, P., BAUMANN, E., WERNER, J. (1993): Kontrollstichproben: Aufnahmeinstruktion. 3. überarbeitete Auflage. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 186, 135 S. (auch auf Französisch und Englisch).
- SCHRÖTER, H.J., ALDINGER, E. (1985): Beurteilung des Gesundheitszustandes von Fichte und Tanne nach der Benadelungsdichte. AFZ/Wald 40, 438–442.
- SOLBERG, S. (1999): Crown condition and growth relationships within stands of *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research 14, 4: 320–327.
- STEYRER, G. (1996): Auswahl und Prüfung von Zuwachsparametern als Waldzustandsindikatoren – Einfluss des Kronenzustandes auf den Zuwachs. Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn in Wien 93: 121–135.
- UNTHEIM, H. (1996): Zur Veränderung der Produktivität von Waldstandorten. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 198, 239 S.
- ZINGG, A. (1996): Diameter and Basal Area Increment in Permanent Growth and Yield Plots in Switzerland. In: Spiecker, H. et al.: Growth Trends in European Forests. Springer, Berlin, Heidelberg, 372 pp.

Autor

PD Dr. PAUL SCHMID-HAAS, Naturforscher (früher WSL Birmensdorf, ETH Zürich, Universität Basel), Edenstrasse 14, CH-8593 Kesswil; E-Mail: schmid-haas@bluewin.ch.