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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 141 (1990)

Heft: 3

Artikel: Das "Waldsterben" in der Schweiz aus heutiger Sicht

Autor: Schlaepfer, Rodolphe / Haemmerli, Frank

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-764971

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: 17.07.2025

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

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

141. Jahrgang | März 1990 | Nummer 3

Das «Waldsterben» in der Schweiz aus heutiger Sicht

Von *Rodolphe Schlaepfer* und *Frank Haemmerli* Oxf.: 48:181.4:945.4
(Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, CH-8903 Birmensdorf)

1. Einleitung

Die Waldschadenforschung im In- und Ausland hat in den letzten Jahren eine Fülle von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zum «Waldsterben» hervorgebracht. Eine an Bedeutung zunehmende Aufgabe der Wissenschaft ist es, die Einzelresultate zu ordnen, miteinander zu verknüpfen und in einen ganzheitlichen Rahmen zu stellen. In diesem Sinne ist der vorliegende Beitrag ein Versuch, aufzuzeigen, was wir heute über das «Waldsterben» in der Schweiz wissen, und welche Fragen offen sind.

2. Begriff «Waldsterben»

Im Wald traten schon immer und treten auch heute klassische Waldschäden auf, die mit Bestimmtheit auf eine abiotische, biotische oder anthropogene Ursache zurückgeführt werden können. Beispiele dazu sind extreme Witterungseinflüsse (Sturm, Schnee, Trockenheit), Massenvermehrungen von Insekten oder Pilzen, die Waldbeweidung oder Schwefeldioxid-Immissionen im Nahbereich von Kohlekraftwerken (Rauchschäden).

Dazu kommen klassische Baum- und Walderkrankungen, an deren Zustandekommen mehrere Krankheitsursachen gleichzeitig oder nacheinander beteiligt sind. Beispiele für solche Komplexkrankheiten sind das Tannensterben oder das Buchensterben, die bereits im letzten Jahrhundert von Zeit zu Zeit beobachtet wurden *(Leibundgut* 1988). Der Wissenschaft ist es bis heute nicht gelungen, in diesen Fällen eindeutig nachzuweisen, welche von den vermuteten Ursachen die Vitalitätsverminderung einleiten und welche davon letale Folgen zeitigen.

Zusätzlich zu solchen Schäden mit zumeist lokalem Charakter wird heute in Teilen Europas, Nordamerikas und Asiens eine komplexe Erkrankung der

Wälder beobachtet. Das Phänomen, das viele Baumarten betrifft und sich in erster Linie in einer verminderten Benadelung oder Belaubung der Baumkronen äussert, wird «Waldsterben» oder «neuartige Waldschäden» genannt.

Diese beiden Begriffe werden heute von verschiedenen Kreisen kritisiert, weil sie als Schlagwörter zuviel Spielraum für Interpretationen lassen, die zum Teil nicht dem aktuellen Kenntnisstand der Forschung entsprechen. Es ist deshalb notwendig, das Phänomen zu umschreiben. Wir verstehen darunter eine Verschlechterung des Gesundheitszustandes des Ökosystems Wald (besonders der Bäume), deren Ursachen nicht eindeutig identifizierbar sind.

Diese Definition ist unvollständig. Entscheidend ist aber, dass nicht nur die Bäume, sondern das ganze Beziehungsgefüge im Wald mit den vielfältigen Prozessen und Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Elementen von der Verschlechterung betroffen sein können. Ferner kann eine fortschreitende Vitalitätsverminderung zu einem Absterben des Waldes (also zu einem Waldsterben im engeren Sinn) führen, vorausgesetzt, dass die belastenden Faktoren keine Regenerations- oder Anpassungsvorgänge im Ökosystem Wald mehr zulassen.

3. Beobachtung und Untersuchung des «Waldsterbens»

3.1 Grundsätzliche Schwierigkeiten

Die Beobachtung und Untersuchung des «Waldsterbens», besonders die Erforschung seiner Ursachen, sind wegen der folgenden Besonderheiten grundsätzlich erschwert (*Schlaepfer* 1988, *Christ* und *Volz* 1988):

- Das Ökosystem Wald besteht aus vielen Elementen (Boden, Wasser, Luft, Vegetation, Fauna, Mikroorganismen), die in komplexen und häufig wenig bekannten Beziehungen stehen.
- Die Faktoren, die das Ökosystem Wald beeinflussen können, sind mannigfaltig und können sowohl biotischer, abiotischer wie anthropogener Art sein. Sie können den Wald schwächen («disponierende» Faktoren), sichtbare Schäden verursachen («auslösende» Faktoren) oder die Schadenentwicklung lenken («mitbestimmende» Faktoren). Ihre Wirkungen sind meistens voneinander nicht unabhängig. Es bestehen zwischen ihnen Wechselwirkungen, Synergien (Verstärkungen), aber auch Hemmungen. In den meisten Fällen muss mit multifaktoriellen Einwirkungen gerechnet werden.
- Die Wirkung der Einflussfaktoren ist nicht nur von der Konzentration, das heisst von der Intensität, abhängig, sondern auch von der Dauer der Einwirkung. So kann das Ökosystem Wald unsichtbare, latente Schäden erleiden, die auf eine langfristige Wirkung von kleinen Schadstoffbelastungen zurückzuführen sind (vgl. *Keller* 1977).

- Zusammensetzung, Struktur und Dynamik des Ökosystems Wald sind von Region zu Region verschieden und werden stark von den Standortsfaktoren (zum Beispiel Boden, Licht, Temperatur, Niederschlägen, usw.) beeinflusst. Ebenso stark variieren in Raum und Zeit die Immissionen.
- Viele pflanzenphysiologische Kenntnisse wurden an krautigen Pflanzen gewonnen. Die Übertragung dieser Kenntnisse auf Bäume ist nur mit gewissen Vorbehalten möglich.
- Die Beobachtung und Untersuchung von Bäumen im Wald ist wegen deren Dimension oder Langlebigkeit schwierig und aufwendig.

Die wissenschaftliche Arbeit, die den Beweis einer kausalen Beziehung zwischen einem Einflussfaktor und den bei einem Organismus beobachteten Schäden erbringt, ist aus diesen Gründen lang und kompliziert. Die Forschung ist gezwungen, die Informationen, die zur Erklärung des «Waldsterbens» nötig sind, etappenweise zu sammeln und die Probleme ganzheitlich, das heisst multifaktoriell anzugehen.

3.2 Methoden

In der Schweiz wird das Phänomen «Waldsterben» je nach Zielsetzung mit verschiedenen Methoden beobachtet und untersucht. Die wichtigsten Methoden werden im folgenden mit Projektbeispielen des Bundes illustriert.

Terrestrische Erhebungen

Die schweizerische Waldschadeninventur (WSI) erfasst auf einem Stichprobennetz (4x4 km, rund 760 Stichproben) den Zustand des Waldes, um repräsentative Aussagen über die Schadenentwicklung in der Schweiz und in den Regionen Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite zu machen. Ihre Methode stützt sich vor allem auf die Beobachtung des Nadel-/Blattverlustes an rund 8100 Probebäumen. Der Nadel-/Blattverlust (ohne erkennbare Ursache) wird dabei im Vergleich zu einer als gesund betrachteten Krone in 5%-Klassen (0, 5, 10, . . . 95, 100% Nadel-/Blattverlust) geschätzt. Da Referenzphotos verschiedener Baumarten als Vergleichsbasis dienen, drückt der Nadel-/Blattverlustwert eher das Ausmass der Kronentransparenz als die tatsächliche Grösse der fehlenden Nadel-/Blattmasse aus. Für die Präsentation der Ergebnisse werden die 5%-Nadel-/Blattverlust-Klassen zu 5 Schadstufen zusammengefasst (vgl. dazu Legende von *Abbildung 1).*

Die WSI ist als extensive Überwachungsinventur nicht auf die Ursachenforschung ausgerichtet. Neben anderen landesweiten Netzen und Stützpunkten zur Beobachtung des Waldes (Landesforstinventar), der Luft (NABEL)[1], des Klimas (SMA)[2], des Bodens (NABO)[3] und des Wassers (NADUF)[4] liefert die Waldschadeninventur aber wichtige Informationen zur Untersuchung des «Waldsterbens».

[1] Nationales Beobachtungsnetz Luft
[2] Schweizerische Meteorologische Anstalt
[3] Nationales Beobachtungsnetz Boden
[4] Nationale Daueruntersuchung Fliessgewässer

Photographische Erhebungen aus der Luft (Infrarot-Luftbild)

Das Infrarot-Luftbild ermöglicht, den Gesundheitszustand der Bäume aufgrund der beobachteten Farben und Formen abzuschätzen. Die Interpretation der Infrarot-Luftbilder im Massstab 1:9000 erlaubt, flächendeckende Waldschadenkarten und Waldschadenintensitätskarten herzustellen. Anhand dieser Karten ist es möglich, auf lokaler bis regionaler Ebene die kritischen Wälder zu erkennen.

Intensive Beobachtungen im Wald (Fallstudien)

Diese Methode erlaubt es, an einer kleinen Anzahl Bäume auf ausgewählten Waldstandorten die Entwicklung bestimmter Grössen sowie gewisse Prozesse sorgfältig zu beobachten, ohne dass dabei Bäume und Standorte experimentell beeinflusst werden. Beispiele in der Schweiz sind die Versuchsflächen Lägern (AG), Alpthal (SZ) und Davos (GR), die im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 14+ («Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz») eingerichtet wurden. Das Programm umfasste meteorologische und lufthygienische Messungen sowie forstökologische Studien (vor allem physiologische, biochemische und morphologische Prozesse an Nadeln/Blättern und Wurzeln unter den gegebenen Belastungen) *(Stark* 1988).

Obwohl solche Untersuchungen mit relativ guter Genauigkeit bestimmte Grössen und Beziehungen an Einzelbäumen auf bestimmten Waldstandorten beschreiben, geben sie nur wenig Auskunft über die räumliche Variabilität der untersuchten Grössen und Beziehungen. Sie erlauben nur eine indirekte Untersuchung der Ursachen und ihrer Wirkungen.

Laborversuche und Experimente im Wald

An der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft werden mit Laborversuchen gewisse Hypothesen geprüft, die aufgrund der bestehenden Kenntnisse formuliert worden sind. So ist es zum Beispiel möglich, die Wirkung von Ozon, von SO_2 oder NO_2 auf junge Pflanzen in Begasungskammern oder die Wirkung von sauren Niederschlägen auf die Auswaschungsvorgänge verschiedener Waldbodenproben im Labor zu untersuchen. Ein Beispiel für Experimente im Wald ist eine Studie auf den Versuchsflächen Lägern und Davos, wo junge Forstpflanzen in Begasungskammern während längerer Zeit filtrierter oder unfiltrierter Umgebungsluft ausgesetzt wurden.

Solche Experimente geben relativ genaue Informationen über die Wirkung von zwei oder drei Einflussfaktoren unter gleichzeitiger Kontrolle eines grossen Teils der anderen veränderlichen Faktoren. Die Schlussfolgerungen sind aber nur für die im Versuch herrschenden Bedingungen gültig, zum Beispiel für eine bestimmte Baumart, ein bestimmtes Baumalter, die herrschende Versuchs-Temperatur oder Luftfeuchtigkeit; sie dürfen deshalb nicht ohne weiteres auf das Ökosystem Wald extrapoliert werden.

Die Realisierbarkeit von Experimenten mit Bäumen im Wald ist besonders schwierig wegen der Komplexität der natürlichen Abläufe, wegen der Langlebigkeit, Grösse und genetischen Vielfalt der Bäume und wegen der grossen Schwankungen fast aller massgeblichen Grössen in Raum und Zeit.

Fallstudien an «Waldsterben» mit identifizierbaren Ursachen

In der Schweiz sind Waldschäden aus der jüngeren Vergangenheit bekannt, deren Ursachen-Wirkungsketten gut beschrieben sind. Beispiele dafür sind die Kastanienrindenkrebs-Seuche im Tessin (seit 1947) und die Föhrenschäden im Wallis durch lokale Fluor-

immissionen während der 70er Jahre *(Flühler et al.* 1981). Obwohl die Schlüsse, die aus solchen Studien gezogen werden, nur für die untersuchten Fälle gültig sind, geben sie Hinweise zur Wirkung bestimmter Einflussfaktoren auf das Ökosystem Wald.

3.3 Probleme der Waldschadeninventur

Die Waldschadeninventur hat, wie jede andere Erhebungsmethode, ihre Grenzen und Unsicherheiten. Besondere Probleme der WSI sind die Schätzung der Nadel-/Blattverluste, die Nutzung von Bäumen auf den Probeflächen und die Definition der Schadgrenze.

Bei der Schätzung des Nadel-/Blattverlustes können sowohl zufällige als auch systematische Fehler vorkommen, die auf den Beobachter, auf die Beobachtungsbedingungen oder auf die beobachtete Grösse selbst zurückzuführen sind. Eine sorgfältige Schulung der Beobachter und die Durchführung der Inventur mit einem minimalen Personalbestand erlauben, diese Fehler klein zu halten. So beträgt der zufällige Fehler einer Baumbeobachtung im Mittel zwischen 5% und 10% Nadel-/Blattverlust. Die Schadstufenanteile für den Gesamtwald der Schweiz sind hingegen nur mit einem zufälligen Fehler von rund 1% behaftet. Der systematische Fehler, der mit Hilfe einer unabhängigen Kontrollinventur ermittelt wird, war 1988 für keine der ausgewiesenen Schadstufen (Gesamtwald) grösser als 2%. In der Inventur 1989 lag er in einzelnen Schadstufen etwas höher (vgl. *BUWAL/ WSL* 1989). Trotz dieser normalen Unsicherheiten ist die Nadel-/Blattverlust-Taxierung zur Zeit das beste Verfahren, um die Vitalität eines Baumes einfach und billig abzuschätzen. Dass der Nadel-/Blattverlust als Vitalitätsmerkmal gelten kann, belegen verschiedene Untersuchungen. Es bestehen häufig signifikante, aber nicht immer starke Beziehungen zwischen Zuwachs und Nadel-/Blattverlust.

Entsprechend der Zielsetzung der schweizerischen Waldschadeninventur werden Inventurflächen normal bewirtschaftet. Da der Kronenverlichtungsgrad der genutzten Bäume im letzten Inventar vor ihrer Entnahme bekannt ist, kann die Auswirkung der Nutzung auf das Inventurergebnis überprüft werden. *Abbildung 1* zeigt, dass zwischen 1985 und 1988 in jedem Jahr weniger als 2% der Inventurbäume entfernt wurden. Auf alle stehenden Stämme des Inventars bezogen, machen die genutzten Bäume ohne Schaden rund 1% und jene in den einzelnen Schadstufen weit weniger als 1% aus. Was die Nutzung toter Bäume betrifft, zeigt *Abbildung 2,* dass in derselben Beobachtungsperiode im Mittel pro Jahr weniger als 10% der toten Bäume genutzt wurden. Hätte der Forstdienst auf den Inventurflächen seit 1985 keine toten Bäume genutzt, so wäre deren Anteil von 3,2% im Jahr 1985 auf 4,1% im Jahr 1988 angestiegen. Im Vergleich zum Inventar mit Nutzung hätte sich der Anteil der toten Bäume zwischen 1985 und 1988 nur um 0,6% mehr erhöht. Aus diesen Ergebnissen ist zu schliessen,

dass sich die Nutzung von kranken und toten Bäumen auf das Inventurresultat nicht gravierend auswirkt (vgl. dazu auch *Hägi* 1989).

Ein anderes Problem ist die Definition der Schadgrenze. Bis heute galt in der Schweiz und bis vor einem Jahr auch in der Bundesrepublik ein Baum mit einem Nadel-/Blattverlust von mehr als 10% als geschädigt. In den letzten Jahren hat sich aber unter den Wissenschaftern (zum Beispiel *Courtois* 1987) die Meinung durchgesetzt, dass diese Grenze noch im normalen standörtlichen und individuellen Schwankungsbereich des Nadel-/Blattverlustes eines

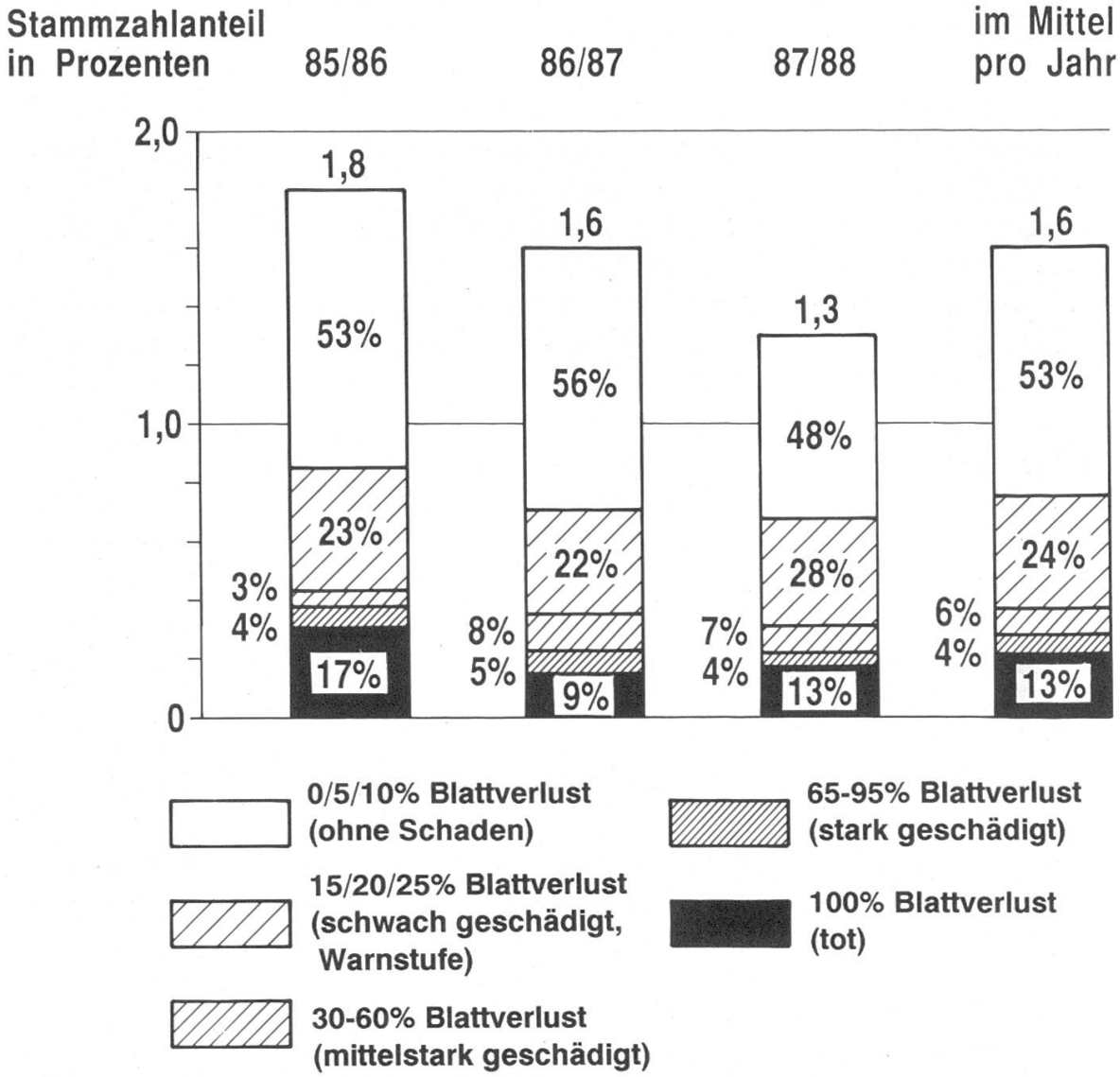

Abbildung 1. Nutzung von Bäumen in der Waldschadeninventur Schweiz, 1985 bis 1988. Schadstufenverteilung der genutzten Bäume und Anteile der genutzten Bäume in Prozenten der verbleibenden Bäume. Die Anteilschätzfehler der genutzten Bäume betragen 0,3%. (Im Mittel pro Jahr wurden von den rund 8100 Inventurbäumen rund 130 Bäume genutzt.)

Baumes liegt. Die EG-Länder geben deshalb seit 1988 für die Darstellung des Gesamtschadens den prozentualen Anteil jener Bäume an, die mehr als 25% Nadel-/Blattverlust aufweisen (vgl. *AFZ* 1989).

Die Schwierigkeit bei der Definition der Schadgrenze liegt vor allem darin, dass wir nicht wissen, was «normal» ist. Der Kronenzustand ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Beispiele sind die Güte des Standorts, die klimatischen Bedingungen, die Konkurrenzsituation im Bestand, das Alter, die soziale Stellung und die genetischen Eigenschaften eines Baumes sowie Einflüsse von Pilzen, Insekten und Immissionen. Das Aussehen eines gesunden respektive kranken Baumes kann also stark variieren. Es wird deshalb schwierig sein, eine generelle Schadschwelle anzugeben, die biologisch begründbar ist. Auch die in der Argumentation manchmal benützte Beziehung zwischen Nadel-/Blattverlust und Zuwachs hilft uns nicht weiter. Obwohl der Zusammenhang oft signifikant ist, liefert sie kaum nützliche Informationen über die «Normalität» der Vitalität eines Baumes. Darum weichen die Vorschläge, welche verschiedene Wissenschafter für eine Schadschwelle gemacht haben – zum Beispiel haben *Flückiger et al.* (1986) für die Buche eine Schadgrenze bei 40% Blattverlust empfohlen – so stark voneinander ab.

Eine Änderung der Konvention über die Schadschwelle hat aber keinen Einfluss auf die biologischen Realitäten im Wald. Diese Realitäten werden mit

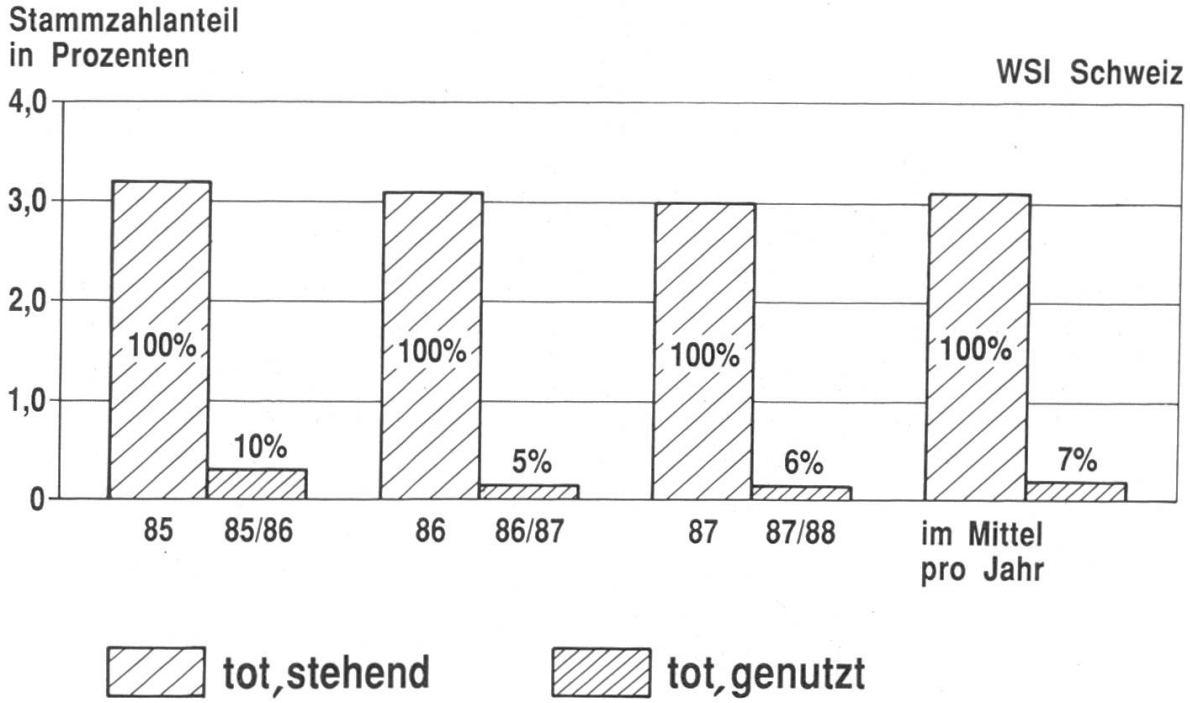

Abbildung 2. Nutzung von toten Bäumen in der Waldschadeninventur Schweiz, 1985 bis 1988. Anteile der genutzten toten Bäume in Prozenten der stehenden toten Bäume und in Prozenten der Gesamtstammzahl (8100 Bäume). Im Mittel pro Jahr wurden 15 abgestorbene Bäume (= 0,2% der Gesamtstammzahl) genutzt.

der Verteilung der Bäume in den verschiedenen 5%-Nadel-/Blattverlustklassen, wie sie in den Waldschadenberichten der Schweiz ausgewiesen sind, gut dargestellt. Eine Anhebung der Schadschwelle verändert wohl die Zahlen über das Schadenausmass im Wald, aber kaum die Aussage über die Schadenentwicklung.

4. Vitalitätsentwicklung der Wälder

Die Zuverlässigkeit der Aussagen über die Vitalitätsentwicklung der Wälder hängt von verschiedenen Faktoren ab, im besonderen von der Vergleichbarkeit der Daten und der Länge des Beobachtungszeitraumes. In der Schweiz sind zum Beispiel die Ergebnisse der Revierumfrage und der Erhebungen auf einem Drittel der Stichproben des Landesforstinventars im Jahr 1983 mit den Ergebnissen der Waldschadeninventuren ab 1984 nicht vergleichbar. Die Daten von 1985 und 1986 sind miteinander nicht ganz vergleichbar, da ab 1986 bessere Kronenbilder als Vergleichsbasis für die Taxierung der Bäume verwendet wurden. Indessen sind die Resultate der Inventuren ab 1986 streng vergleichbar. Der Beobachtungszeitraum ist deshalb zu kurz, als dass wir bereits heute zuverlässige Schlüsse aus der bisherigen Vitalitätsentwicklung der Wälder in der Schweiz ziehen könnten.

In der Schweiz *(Abbildung 3)* zeigen die Anteile der Bäume mit Blattverlusten von mehr als 10% bzw. mehr als 25% seit 1984 eine sehr ähnliche Entwicklung. Der Gesundheitszustand des Waldes hat sich bis 1987 verschlechtert. Nach einer Verbesserung im Jahr 1988 blieb der Zustand stationär. Insgesamt hat sich der Anteil der Bäume mit Kronenverlichtungen zwischen 1986 und 1989 leicht verringert.

Ein Blick über die Grenzen *(Abbildung 3)* zeigt, dass in Baden-Württemberg die Schäden seit 1986 insgesamt leicht rückläufig sind. In den beiden französischen Nachbargebieten und im Tirol blieb der Anteil der Bäume mit mehr als 25% Nadel-/Blattverlust zwischen 1985 bzw. 1984 und 1988 auf konstantem Niveau.

Die mittelfristige Entwicklung des Waldgesundheitszustandes ist in der Schweiz von Region zu Region *(Abbildung 4)* sowie von Baumart zu Baumart *(Abbildung 5)* verschieden. Der Verlauf weicht in mehreren Fällen (besonders auf der Alpensüdseite und bei der Tanne) von der gesamtschweizerischen Entwicklung ab. Ferner können die jährlichen Vitalitätsschwankungen je nach Region und Baumart unterschiedlich gross sein. Neben Verschlechterungen sind in allen Fällen auch Verbesserungen möglich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Entwicklung und das Ausmass der Waldschäden nach Grossregionen, Regionen und Baumarten verschieden sein können. Diese Differenzen sind Folge der regional unterschiedlichen Zusammensetzung, Struktur und Dynamik des Ökosystems Wald und der regio-

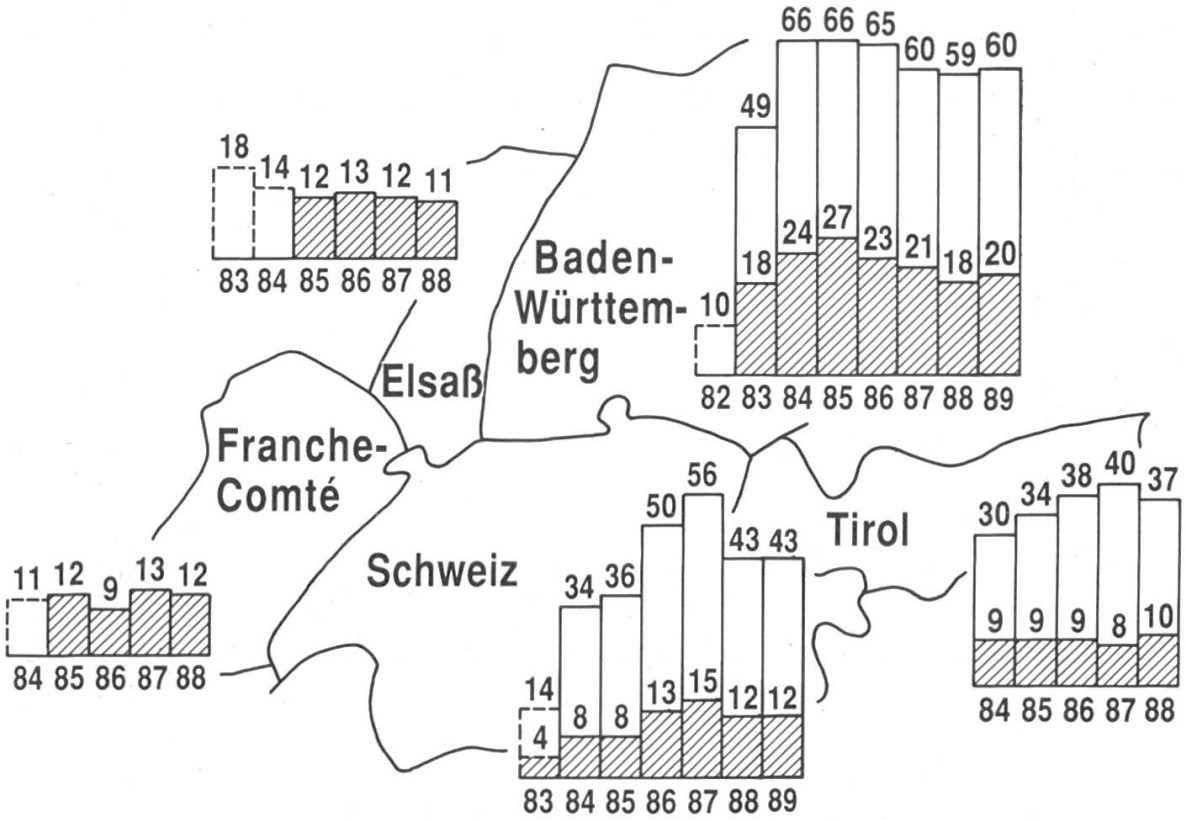

Abbildung 3. Grossregionale Schadenentwicklung (alle Baumarten). Prozentuale Anteile der Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von mehr als 10% (ganze Säulen) bzw. mehr als 25% (schraffierte Säulen). Die Anteilschätzfehler für die Schweiz betragen 1%. Die Ergebnisse in den gestrichelten Säulen sind infolge Änderung der Erhebungsmethoden mit den späteren Resultaten nicht direkt vergleichbar. (Quellen: Waldschadenberichte der Länder)

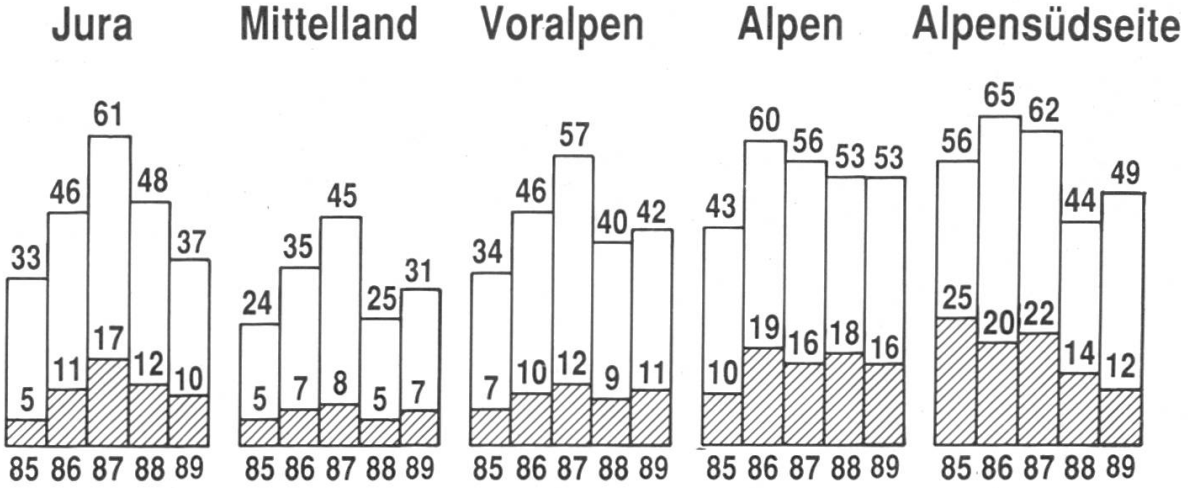

Abbildung 4. Schadenentwicklung 1985–1989 nach Regionen der Schweiz. Prozentuale Anteile der grundflächengewichteten Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von mehr als 10% (ganze Säulen) bzw. mehr als 25% (schraffierte Säulen). Die Anteilschätzfehler liegen zwischen 2% und 4%. (Quelle: *BUWAL/ WSL* 1989)

nal unterschiedlich wirksamen Einflussfaktoren. Das «Waldsterben» zeigt verschiedene Ausprägungsformen, die bei seiner Untersuchung zu berücksichtigen sind.

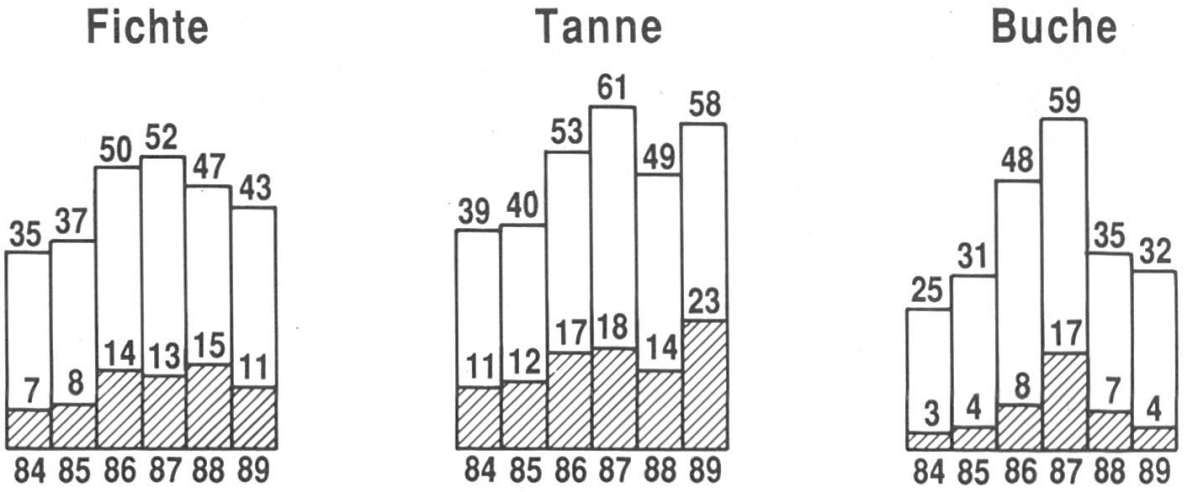

Abbildung 5. Schadenentwicklung 1984–1989 in der Schweiz nach Hauptbaumarten. Prozentuale Anteile der grundflächengewichteten Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von mehr als 10% (ganze Säulen) bzw. mehr als 25% (schraffierte Säulen). Die Anteilschätzfehler liegen zwischen 1% und 3%. (Quelle: *BFL/EAFV* 1985, *BUWAL/WSL* 1989)

5. Ausmass und Auswirkungen des «Waldsterbens»

Wenn wir das «Waldsterben» als eine Verschlechterung des ganzen Ökosystems Wald auffassen, müssten wir in der Diskussion um Ausmass und Auswirkungen zahlreiche Kriterien auf verschiedenen biologischen Ebenen berücksichtigen. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf Beurteilungsgrössen, die uns für eine globale Bewertung wichtig erscheinen.

5.1 Kronenverlichtung und Nadelvergilbung

In der Schweiz belief sich 1989 der Anteil der Bäume mit Blattverlusten von mehr als 10% auf 43 Prozent, jener von mehr als 25% auf 12 Prozent *(Abbildung 3)*. Der Anteil der Bäume mit mehr als 10% Kronenverlichtung war im Berggebiet (49 Prozent) grösser als im Nichtberggebiet (32 Prozent).

Wir wissen heute kaum, ob dieses Ausmass von Kronenverlichtungen normal ist oder nicht und ob es kleiner, gleich oder grösser ist als vor 20, 30 oder 50 Jahren. Es fehlen uns vergleichbare Daten, die den Waldzustand vor Jahrzehnten beschreiben. Immerhin geben Waldschadenuntersuchungen in ertragskundlichen Versuchsflächen Hinweise, dass zumindest ein Teil der Nadelverluste in den zentralalpinen Gebieten – im Unterschied zu Mittelland und

Voralpen – schon seit längerer Zeit vorhanden gewesen sein dürften *(Keller* und *Imhof* 1987). Postkarten und Photographien in forstwissenschaftlichen Publikationen zeigen, dass es schon im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts Bäume mit Kronenverlichtungen gab *(Schweingruber* 1989) und dass anscheinend die Gesundheit von Bäumen früher anders beurteilt wurde als heute *(Bucher* 1988, 1989).

In der Bundesrepublik Deutschland kommen Nadelvergilbungen der Fichte flächenhaft in höheren Lagen der Mittelgebirge und der Kalkalpen vor *(Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen* 1986). In der Schweiz werden Nadelvergilbungen der Fichte selten beobachtet.

5.2 Zuwachs

Mit Hilfe von Jahrringen lässt sich das Wachstum von Bäumen über viele Jahrzehnte zurückverfolgen. Langfristige Zeitreihen sind deshalb ein wichtiges Mittel, um das heutige Wachstum der Bäume mit jenem in früheren Zeiten zu vergleichen. Kurzfristige Zeitreihen dürfen diesbezüglich nicht interpretiert werden, weil die Jahrringbreiten zum Beispiel durch den Faktor Witterung stark beeinflusst werden.

Bis vor wenigen Jahren waren nur Daten von lokalen Erhebungen an der Weisstanne verfügbar (Schweingruber 1983, *Lenz* 1988). Aus diesen Studien, die übereinstimmend Wachstumseinbussen der Tanne im Emmental sowie in Teilen des Mittellands und Juras seit den 50er Jahren belegen, wurde der generelle Schluss gezogen, dass spätestens seit Mitte der 50er Jahre ein zusätzlicher Stressfaktor wirksam wurde. Aufgrund neuer Ergebnisse muss diese Verallgemeinerung korrigiert werden.

In einer Jahrringstudie von Bräker (in Vorbereitung) wurden Bohrspäne von herrschenden und mitherrschenden, über 40 Jahre alten Fichten und Tannen aus allen Regionen der Schweiz ausgewertet. Die Zeitreihen 1910 bis 1983 weisen im gesamtschweizerischen Mittel weder für Fichte noch für Tanne langfristige Wachstumseinbrüche aus *(Abbildung 6)*. Die Fichte zeigt in den Alpen, in den Voralpen und im Jura seit 1910 im Mittel normale Werte; im Mittelland sind sie seit den 50er Jahren sogar überdurchschnittlich *(Abbildung 7)*. Etwas anders liegen die Verhältnisse bei der Tanne *(Abbildung 7)*. Eine langfristige, aber leichte Wachstumsreduktion ist einzig für das Mittelland seit den 50er Jahren belegt. Die Tannenkurven dokumentieren zudem eine mittelfristige Zuwachsschwäche in den 70er Jahren für die Regionen Voralpen und Jura, die sich auch im gesamtschweizerischen Mittel niederschlägt. Die anschliessende Erholung ist aber bereits angezeigt und auch in lokalen Jahrringstudien der jüngsten Zeit *(Sell et al.* 1988, *Schmid-Haas* 1989) belegt. Solche Erholungserscheinungen zeichnen sich seit einigen Jahren auch auf Tannenbeobachtungsflächen im Schwarzwald *(Kenk* 1988) und in den Vogesen *(Becker* 1988) ab.

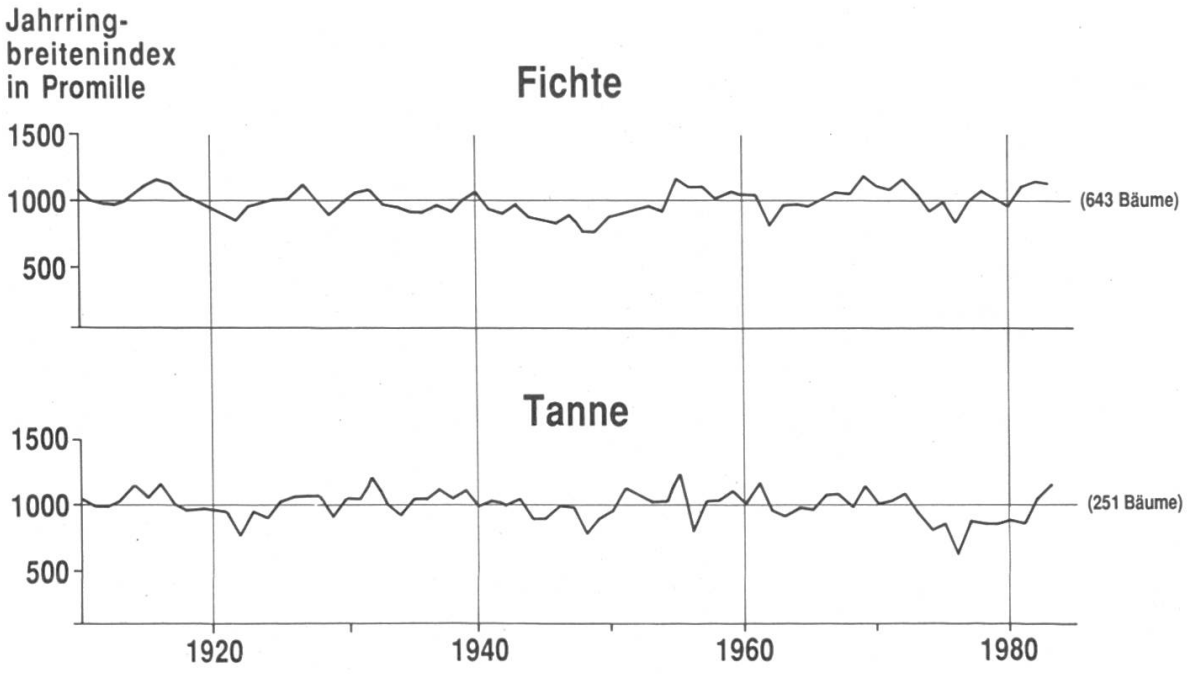

Abbildung 6. Zuwachsverlauf 1910 bis 1983 für Fichte und Tanne im schweizerischen Mittel. Altersbereinigte Jahrringdaten von herrschenden und mitherrschenden, über 40 Jahre alten Bäumen. (Quelle: O.U. Bräker, briefl.)

Über die regionale Entwicklung des Volumenzuwachses von Waldbeständen können wir in der Schweiz noch keine gesicherten Aussagen machen. Eine regionale Studie in Baden-Württemberg (Kenk 1988) belegt, dass der Zuwachs in Fichtenbeständen seit Jahrzehnten überdurchschnittliche Werte aufweist. Düngeffekte durch einen zusätzlichen Eintrag von Stickstoff oder durch einen Anstieg des CO_2-Gehaltes in der Atmosphäre, Einflüsse des Klimas und der forstlichen Bewirtschaftung werden dabei als Hypothesen diskutiert.

Mit den heutigen Kenntnissen aus der Zuwachsforschung kann im Schweizer Wald bis Mitte der 80er Jahre kein grossflächiger Trend zu einer verminderten Wuchsleistung nachgewiesen werden. Aufgrund von allgemeinen oder nach Kronenschadklassen stratifizierten Zuwachsentwicklungen kann zudem die Hypothese einer grossräumigen Wirkung von Luftschadstoffen auf unsere Wälder mit der Zuwachsforschung allein weder belegt noch verworfen werden. Zu gross ist die räumliche und zeitliche Variabilität der Faktoren (zum Beispiel Klima, Witterung, forstliche Bewirtschaftung, soziale Differenzierung im Baumbestand), die das Baumwachstum beeinflussen. Hingegen zeigen detaillierte, noch nicht publizierte Untersuchungen zum Holzzuwachs pro Hektare in einigen Forstbetrieben des Mittellands Zuwachsanomalien, welche meist nicht mit natürlichen Faktoren erklärt werden können. Der direkte Zusammenhang von lokalen Immissionen und Zuwachsreduktionen ist aber in der Schweiz noch wenig belegt.

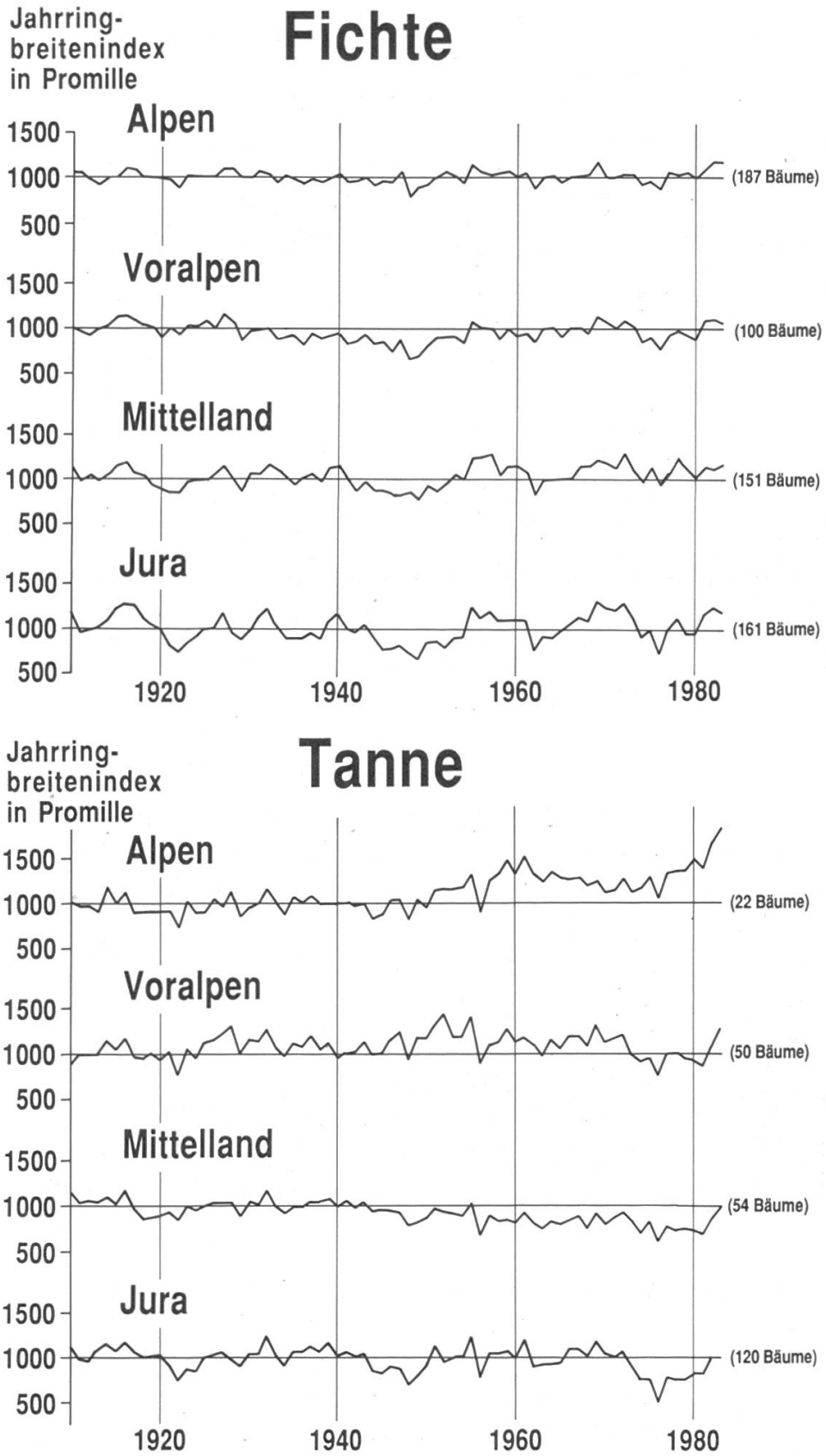

Abbildung 7. Mittlerer Zuwachsverlauf 1910 bis 1983 für Fichte und Tanne nach Regionen der Schweiz. Altersbereinigte Jahrringdaten von herrschenden und mitherrschenden, über 40 Jahre alten Bäumen. (Quelle: O.U. Bräker, briefl.)

5.3 Mortalität

In der Diskussion um das Schadenausmass kommt der Absterberate in Populationen eine besondere Rolle zu, weil der Tod eines Baumes ein eindeutiges Kriterium ist.

Die Reduktion der Stammzahl während der Bestandesentwicklung ist ein normaler Vorgang. Im natürlichen unbewirtschafteten Wald führen mit zunehmendem Baumalter Konkurrenz, Schädlinge, Pilze und abiotische Stressoren zum Absterben einzelner Bäume. Im Wirtschaftswald wird die Mortalität durch die rechtzeitige Nutzung von Bäumen im Rahmen der Bestandespflege vermindert.

Aus einer ertragskundlichen Studie von *Carbonnier* (1957) kennen wir die natürliche Mortalität in gepflanzten, undurchforsteten Fichtenflächen in Schweden *(Tabelle 1)*. Im Alter zwischen etwa 40 und 80 Jahren betrug die mittlere jährliche Mortalität 1,5%, was besagt, dass auf 1000 Fichten 15 Bäume pro Jahr abstarben.

Erhebungsart/Region	Baumart	Jährliche Stammzahlabnahme (durch)			Zeitperiode	Ausgangs-stammzahl
		Mortalität	Nutzung	Total		
Ertragskundliche Studien						
Keine Durchforstung (1)	Fichte	1,5%	keine	1,5%	40 Jahre ab Alter 40	3100 B./ha
Hochdurchforstung (2)	Fichte	?	?	1,8%	"	1730 B./ha
	Tanne	?	?	1,9%	"	3410 B./ha
	Buche	?	?	1,9%	"	2760 B./ha
Waldschadeninventuren						
Baden-Württemberg (3)	Tanne	0,8%	keine	0,8%	1979-1987	1700 B.
Schweiz (4)	alle	0,3%	1,4%	1,7%	1985-1988	8100 B.
Bayern (5)	alle	0,1%	?	?	1983-1988	76000 B.
Vogesen (6)	alle	0,3%	?	?	1983-1988	7300 B.
Zentralmassiv (6)	alle	0,4%	?	?	1985-1988	8100 B.

(1) CARBONNIER 1957 (Südschweden)
(2) EAFV 1966, 1967, 1968 (Schweiz, mittlere Bonitäten)
(3) METTENDORF et al., 1989 (27 Dauerbeobachtungsflächen, über 60 Jahre alte Tannen)
(4) Bäume ab 12 cm Brusthöhendurchmesser
(5) BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1989
(6) MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORET 1989

Tabelle 1. Mittlere jährliche Stammzahlabnahmen durch Mortalität und Nutzung von nicht abgestorbenen Bäumen. Vergleich zwischen ertragskundlichen Studien vor 1970 und den heutigen Waldschadeninventuren.

Im Vergleich dazu starben zwischen 1979 und 1987 auf den nicht mehr durchforsteten Tannenbeobachtungsflächen Baden-Württembergs weniger als 1% der über 60 Jahre alten Tannen pro Jahr ab. Die flächenrepräsentativen Waldschadeninventuren (WSI) der Schweiz und von Nachbarregionen, deren Flächen einer Bewirtschaftung unterliegen, weisen für kürzere Zeiträume noch tiefere Absterberaten aus *(Tabelle 1)*. In der WSI Schweiz gehören interessanterweise rund drei Viertel der Dürrständer tiefen Stärkeklassen zwischen 12 und

30 cm Brusthöhendurchmesser an (Hägi 1989). Es könnte sich also mehrheitlich um Bäume handeln, die sozial tiefen Klassen im Bestandesgefüge angehören und dem natürlichen Konkurrenzdruck besonders ausgesetzt sind.

Da die Mortalität im Wirtschaftswald infolge einer rechtzeitigen Nutzung von geschwächten Bäumen kleiner sein kann als im unbehandelten Wald, müssen wir zusätzlich die gesamte Stammzahlabnahme (Mortalität plus Nutzung von lebenden Bäumen) kontrollieren. Aus Ertragstafeln für Fichte, Tanne und Buche ist in der Schweiz bekannt, dass die Stammzahlabnahme in hochdurchforsteten Beständen im Alter zwischen 40 und 80 Jahren etwas weniger als 2% pro Jahr beträgt *(Tabelle 1)*. Der Vergleich dieses Wertes mit dem Wert aus der Waldschadeninventur der Schweiz (1,7%) zeigt, dass auch hier das normale Mass nicht überstiegen wird.

Zusammenfassend kann aufgrund der Waldschadeninventuren gesagt werden, dass sich die Mortalität und die gesamte Stammzahlabnahme in der Schweiz bis heute in einem normalen Rahmen bewegen. Diese Aussage gilt für den Gesamtwald. In regionalen oder lokalen Waldgebieten können Abweichungen vorkommen.

5.4 Waldzusammenbrüche

In der Schweiz gibt es kritische Waldbestände. Gemäss einer Umfrage stockten im Jahr 1987 auf rund 2% der Waldfläche im Alpengebiet Bestände, die zusammenbrechen oder bereits zusammengebrochen sind *(Pfister et al.* 1987). Die Forstdienste geben als wichtigste Ursachen Immissionen, Pflegerückstände, Borkenkäfer und Schnee an.

Es gibt in der Schweiz aber keine grossflächigen Waldzusammenbrüche, die das Landschaftsbild verändern.

Im bayerischen Alpenraum gibt es bis heute kein flächiges Absterben von Bäumen *(Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* 1989). Auf Kuppen und Rücken des Fichtelgebirges, des Harzes und des Schwarzwaldes indes löst sich der Wald flächig auf. Der AFZ (1989) ist weiter zu entnehmen, dass am Zustandekommen der Kahlflächen im Schwarzwald Luftverunreinigungen, Sturm, Schneebruch, Klimastress und biotische Faktoren oft gleichzeitig mitwirken.

5.5 Holznutzungen

Der langfristige Trend der Holznutzungen in der Schweiz ist leicht zunehmend *(Abbildung 8)*. Die Zunahme war in den letzten fünf Jahren nicht überdurchschnittlich.

In der Schweiz gibt es heute lokale bis regionale Erhebungen über die Höhe

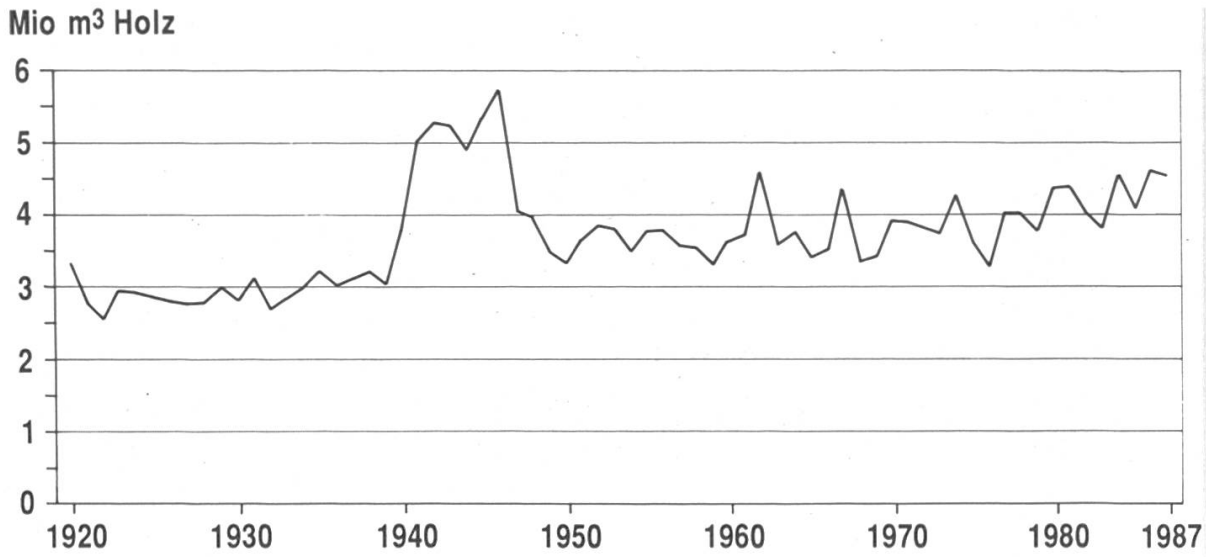

Abbildung 8. Holznutzungen im Schweizer Wald zwischen 1920 und 1985. (Quelle: *BFL/Bundesamt für Statistik* 1989)

von Zwangsnutzungen, die auf Vitalitätsverluste unbekannter Art zurückgehen (*Programmkoordination Sanasilva* 1989). Eine Interpretation der Ergebnisse ist allerdings noch verfrüht.

5.6 Holzqualität

Nach den vorliegenden Ergebnissen (Sell *et al.* 1988) weist in der Schweiz das Holz geschädigter Fichten und Tannen gegenüber gesunden Bäumen keine Qualitätsverminderung auf und ist deshalb uneingeschränkt verwendbar. Zu gleichen Ergebnissen kommen *Kucera* und *Bosshard* (1989) für Fichtenholz. Bei absterbenden bis toten Fichten kann allerdings die Imprägnierbarkeit herabgesetzt und die Tauglichkeit zur Holzschliff-Gewinnung in Frage gestellt sein.

5.7 Funktionstauglichkeit und Verjüngung der Wälder

Die gegenwärtigen Kenntnisse über die Auswirkungen auf die Schutzfunktion des Waldes (Schutz vor Lawinen, Steinschlag, Überschwemmungen) und über wirtschaftliche Folgen sind in der Schweiz noch dürftig. Es gibt aber Arbeiten, die mögliche Folgen in verschiedenen Szenarien aufzeigen (zum Beispiel *SGU* 1986, *Altwegg* 1989).

Es gibt in der Schweiz Probleme mit der Verjüngung des Waldes. Diese werden vor allem vom Wild verursacht.

5.8 Eigenschaften von Waldstandorten

Vegetationsanalytische Studien (*Kuhn* 1987, *Kissling et al.* 1988, Kissling 1989, Kuhn [in Vorbereitung]) im Mittelland, im Voralpen- und Alpengebiet zeigen, dass sich die Zusammensetzung der Bodenvegetation auf verschiedenen Waldstandorten in den letzten 20 bis 50 Jahren verändert hat. Die Ergebnisse auf Eichenstandorten der Nordschweiz und des Genfersee-Beckens deuten auf erhebliche Nährstoffanreicherungen im Boden hin. Im Voralpen- und Alpengebiet werden die floristischen Veränderungen auf Tannen- und Fichtenstandorten als Folge einer beschleunigten Bodenversauerung interpretiert. Diese Veränderungen können weder mit der natürlichen Variabilität noch mit der forstlichen Bewirtschaftung allein erklärt werden. Als mitverantwortliche Ursachen werden im Mittelland zunehmende Einträge von Stickstoff aus der Luft, im Voralpen- und Alpengebiet vermehrte Säureeinträge aus der Atmosphäre diskutiert.

6. Ursachen des Phänomens «Waldsterben»

6.1 Schadtypen

In Nordamerika und Europa werden verschiedene Typen von «Waldsterben» beobachtet. Die Ursachenforschung unterscheidet zum Beispiel in der Bundesrepublik Deutschland bei der Fichte fünf verschiedene Schadtypen (Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen 1986):

- Nadelvergilbung in den höheren Lagen der Mittelgebirge
- Kronenverlichtung in mittleren Höhenlagen der Mittelgebirge
- Nadelröte älterer Bestände in Süddeutschland
- Vergilbung in den höheren Lagen der Kalkalpen
- Kronenverlichtung in Küstennähe

In der Schweiz verfügen wir zur Zeit noch über zu wenig Daten, die eine Differenzierung nach Schadtypen erlauben würden (Bucher 1988). In allen Regionen stehen die Kronenverlichtungen im Vordergrund.

6.2 Internationaler Stand der Kenntnisse

Zu Beginn der Waldsterbediskussion wurde von der Wissenschaft in Europa eine lange Liste von allgemeinen Hypothesen zur Primärursache der Waldschäden aufgestellt. Mit zunehmendem Wissensstand der Forschung wurden diese Hypothesen teils fallengelassen, teils differenziert und auf spezifische Schadtypen bezogen.

In wissenschaftlichen Kreisen werden die allgemeinen Hypothesen, welche die Epidemie von mikrobiellen Erregern, die Art der Waldbewirtschaftung oder klimatische Anomalien als Primärursache der grossräumigen Walderkrankung in Europa vermuten, als unwahrscheinlich eingestuft *(Schütt* 1988, Christ und Volz 1988).

Die Wissenschaft nimmt heute an, dass die «neuartigen Waldschäden» und die meisten Typen davon komplexe Phänomene sind, die wahrscheinlich auf die kombinierte Wirkung von abiotischen, biotischen und anthropogenen Einflussfaktoren zurückgehen. Nach *Last* (1989) sind die Prozesse, die auf die Vitalität des Waldes wirken, je nach der Kombination von Klimatyp, Bodentyp, Luftverschmutzungsart und Baumart verschieden.

Aufgrund von Resultaten aus Laborversuchen und Experimenten an wenigen Bäumen im Wald ist bekannt, dass Luftverunreinigungen junge Bäume direkt oder indirekt über den Boden schädigen können. Diese Ergebnisse können aber nicht ohne weiteres auf den ganzen Wald übertragen werden.

Die heutige Ursachendiskussion in der Bundesrepublik Deutschland (Schütt 1988, *Ulrich* 1989, *Blank et al.* 1988, *Papke et al.* 1987) konzentriert sich auf Hypothesen, die eine massgebliche Beteiligung von Immissionen an den «neuartigen Waldschäden» postulieren:

- Kronenverlichtung der Fichte durch systemischen Wasserstress infolge Säureeintrags ins Ökosystem Wald (depositionsbedingte Versauerungsvorgänge im tieferen Wurzelraum, Rückzug des Feinwurzelsystems auf den humosen Oberboden) [Hypothese nach Ulrich]
- Nadelvergilbungen (Magnesiummangel) der Fichte durch Bodenversauerung und Nährstoffauswaschung infolge Säureeintrags ins Ökosystem Wald (Hypothese nach Ulrich)
- Nadelvergilbungen (Magnesiummangel) durch Leaching infolge der kombinierten Wirkung von Ozon, saurem Nebel sowie Frost (Hypothese nach Prinz, Zöttl und Rehfuess)
- Waldschäden durch Instabilität des Nährstoffangebots infolge Stickstoff-Eintrags ins Ökosystem Wald (Hypothese nach Nihlgard)
- Waldschäden durch Stress infolge lange andauernder Einwirkung von Immissionen mit zahlreichen Komponenten unbekannter Phytotoxizität (Hypothese nach Schütt)

Die plausibelsten Hypothesen sind diejenigen, die aus eingehenden Untersuchungen von spezifischen Schadtypen abgeleitet wurden.

Gut beschrieben ist heute der Ursachenkomplex, der die Vergilbungen älterer Fichtennadeln in den höheren Lagen der Mittelgebirge Deutschlands bewirkt. Nach *Roberts et al.* (1989) rühren die Chlorosen direkt von einem Magnesiummangel in den Nadeln her. Er wird primär über den Boden induziert. Die geringe Verfügbarkeit von Magnesium (Mg) in sauren Böden der höheren Lagen Zentraleuropas ist Folge einer verzögerten Freisetzung von Mg durch

die Verwitterung. Relativ hohe Einträge von sauren Niederschlägen und die Eigenart von Fichten-Monokulturen beschleunigen im Boden die Auswaschung von Nährstoffen, die Versauerung und die Freisetzung von Aluminium (Al). Das ungünstige Mg/Al-Verhältnis und die schlechte Erschliessung des Unterbodens durch die flachwurzelnden Fichten führen dazu, dass die Aufnahme von Mg durch die Wurzeln reduziert ist. Die heutigen Stickstoffeinträge aus der Luft verstärken das Ausmass der Nadelchlorosen, indem der Stickstoff als Dünger zum Wachstum anregt und die Pflanze ihrerseits erhöhte Ansprüche an die Nährstoffversorgung stellt. Als Rückkoppelung führt die verminderte Photosynthese in den chlorotischen Nadeln und der stammabwärts verminderte Stofftransport zu einem schlechteren Wurzelwachstum, was die Aufnahme von Mg zusätzlich vermindert. Das verstärkte Auftreten der Chlorosen in der ersten Hälfte der 80er Jahre dürfte zum Teil durch die Trockenstressjahre 1975/1976 und 1981 bis 1984 ausgelöst worden sein. Die Erholungstendenz der letzten Jahre weist auf reversible Prozesse in klimatisch günstigen Jahren (1986 bis 1988) hin. Nach dem heutigen Kenntnisstand vermuten die Autoren, dass direkte Effekte von gasförmigen Luftschadstoffen (Ozon) und saurem Nebel auf die Nadeln beim gegenwärtigen Ausmass des Mg-Defizits eine untergeordnete Rolle spielen. Im weiteren weisen die Autoren darauf hin, dass diese Vergilbung nicht neuartig ist und in geringerem Ausmass als heute bereits in den 60er Jahren beobachtet wurde.

Ein anderes Beispiel für aktuelle «Waldsterben» mit gut bekannter Ursachen-Wirkungsbeziehung sind die Ozonschäden in den Wäldern der San Bernardino-Mountains der USA. Dort wird die massgebliche Rolle des Ozons beim Absterben der Ponderosa- und Jeffery-Föhren bei Spitzenkonzentrationen von 400 bis 600 Mikrogramm Ozon/m^3 ($^1/_2$-Stunden- bis 1-Stunden-Mittelwerte) und Jahresmittelwerten um 140 bis 160 Mikrogramm Ozon/m^3 nicht in Frage gestellt (Bucher, J.B., briefl.).

6.3 Stand der Kenntnisse in der Schweiz

Der Stand der Ursachenforschung erlaubt es noch nicht, plausible Hypothesen zu formulieren, die das Ausmass der in der Schweiz als Hauptsymptom vorkommenden Kronenverlichtungen auf regionaler Ebene erklären könnten. Der quantitative Zusammenhang zwischen dem heutigen Ausmass der Kronenverlichtungen im Wald und den verschiedenen Einflussfaktoren ist noch nicht bekannt. Zudem sind die Anteile der Einflussfaktoren, welche die Vitalitätsschwankungen bewirken, unbekannt.

Wir müssen aber annehmen, dass auch in der Schweiz die Luftverschmutzung neben abiotischen und biotischen Faktoren eine Rolle spielen könnte. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Belastung der Wälder durch nah- und fernverfrachtete Luftschadstoffe verschiedenster Art (Gase, Staubpartikel,

saure Niederschläge) wohl flächendeckend ist, aber räumlich und zeitlich relativ stark variieren kann (vgl. *BUWAL* 1989a). Beispielsweise zeigt die Belastung durch Ozon, das in ländlichen Gebieten der Schweiz als Hauptschadstoff *(BUS* 1988) gilt, ein höhenstufenabhängiges Verteilungsmuster. Im Mittelland sind die Jahresmittelwerte mit 40 Mikrogramm Ozon/m^3 relativ tief, in den Alpen hingegen relativ hoch (70 Mikrogramm Ozon/m^3). Umgekehrt sind die kurzfristigen Spitzenbelastungen (1-Stunden-Mittelwert) im Mittelland hoch (rund 300 Mikrogramm Ozon/m^3), im Alpenraum hingegen relativ tief (rund 170 Mikrogramm Ozon/m^3) (BUWAL 1989b). Die mehrjährigen Immissionsmessungen an verschiedenen Waldstandorten des Kantons Zürich belegen, dass stadtnahe Wälder weniger mit Ozon belastet sind als ländliche und höher gelegene Waldgebiete *(Sommer* und *Thudium* 1989).

Die Laborversuche in der Schweiz beweisen, dass unter experimentellen Bedingungen die Luftschadstoffe (besonders das Schwefeldioxid) die physiologischen und biochemischen Prozesse in Pflanzen beeinflussen können (zum Beispiel Keller 1984) und dass die sauren Depositionen die Auswaschung von Nährstoffen und die Lösbarkeit von Aluminium im Boden intensivieren können (zum Beispiel *Polomski et al.* 1982). Wir müssen gleichzeitig betonen, dass die im Labor sichtbaren Wirkungen oft bei Konzentrationen und Dosierungen auftreten, die höher sind als die im Wald beobachteten und dass das Schwefeldioxid in der Schweiz kein grossräumiges Problem ist.

Es gibt aber auch neuere Beispiele von Experimenten, die zeigen, dass die heute in der Luft vorhandenen Ozonkonzentrationen empfindliche Pflanzen zu schädigen vermögen. In einem Experiment, das in der Begasungsanlage der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft von *Landolt* und *Krause* (1989) an jungen Forstpflanzen während 5 bis 20 Wochen durchgeführt wurde, traten bei der Waldföhre biochemische Veränderungen in den Nadeln und von Auge sichtbare Nadelschäden schon bei einer Ozonkonzentration von 100 Mikrogramm/m^3 (24 Stunden pro Tag) auf. Diese Belastung entspricht ungefähr einem sommerlichen Monatsmittel auf 1600 m über Meer. Bei einer Ozonkonzentration von 200 Mikrogramm/m^3 (24 Stunden pro Tag) zeigten die Fichten und die Buchen biochemische Veränderungen in den Nadeln oder Blättern und die Buchen kurzfristig zusätzlich sichtbare Blattschäden. Bei dieser Belastung blieben hingegen alle untersuchten Merkmale der Tannen ohne Veränderung. Nach diesen Versuchen zeigt sich vor allem die Waldföhre als ozonempfindlich, während die Fichten und die Tannen eher unter die ozon-toleranten Baumarten einzureihen sind. – Ein anderes Ozon-Experiment wurde von Landolt und Krause (1989) im Wald auf den Versuchsflächen Lägern (Mittelland) und Davos (Alpen) durchgeführt. In sogenannten Negativbegasungen mit filtrierter und unfiltrierter Waldluft konnten sie von Auge sichtbare Ozon-Effekte an empfindlichen Bioindikatoren wie Schwarzpappel (Blattfall) oder Rotklee (Nekrosen) nachweisen.

Diese Experimente zeigen, dass umweltrelevante Ozonkonzentrationen

empfindliche Pflanzen zu schädigen vermögen und dass die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung vom 16. Dezember 1985 für Ozon zu Recht bestehen. Landolt und Krause (1989) führen dazu weiter aus: «Eine allgemeine Schädigung der hier untersuchten Waldbaumarten durch umweltrelevante Ozonkonzentrationen scheint aber eher unwahrscheinlich zu sein, zumal die artspezifischen Unterschiede in der Ozonempfindlichkeit und im Vergleich mit jener des Klees beträchtlich sind. Zur Vorsicht sollte allerdings mahnen, dass der Spielraum zwischen den heutigen Ozonkonzentrationen und solchen, die nachweislich an Föhren Schädigungen erzeugen, nach Massstäben der Toxikologie sehr nahe beisammenliegen. Daher kann ein schädigender Ozoneinfluss auf die Föhre beim heutigen Kenntnisstand nicht mehr ausgeschlossen werden.»

Zusammenfassend müssen wir festhalten, dass solche Experimente nur Teilaspekte der Waldschadenforschung sind und ihre Befunde allein keine Erklärung für das Ausmass der Kronenverlichtungen im Wald liefern. Dasselbe gilt für Befunde von Flückiger *et al.* (1986, 1989), wonach Buchenblätter Ungleichgewichte in der Versorgung mit Makronährstoffen aufweisen. In Kombination mit anderen Informationen aus Waldschadenerhebungen, intensiven Beobachtungen im Wald, Experimenten und aus der Literatur sind solche Ergebnisse aber wichtige Grundlagen für die Formulierung von spezifischen Hypothesen über die Ursachen des «Waldsterbens».

7. Schlussfolgerungen

Der gegenwärtige Kenntnisstand zum «Waldsterben» in der Schweiz zeigt:

- dass die Schadenentwicklung nicht so dramatisch verlief, wie in der ersten Hälfte der 80er Jahre befürchtet werden musste, und dass es ein Waldsterben im engeren Sinn kaum gibt;
- dass die Wuchsleistung der Bäume grossräumig nicht nachgelassen hat;
- dass die beobachteten Kronenverlichtungen nicht hinreichend erklärt werden können;
- dass die Waldvitalität durch verschiedene natürliche und anthropogene Faktoren beeinflusst wird, wobei das Gewicht der einzelnen Faktoren räumlich und zeitlich sehr unterschiedlich sein kann;
- dass noch besser abzuklären ist, wie sich ein geschädigtes Ökosystem Wald von einem gesunden unterscheidet, und ob der Begriff «Waldsterben» für die heutige Situation zutrifft.

Aus dieser Erkenntnis ist weder ein übertriebener Optimismus noch eine Weltuntergangsstimmung angebracht. Die Wissenschaft macht sich Sorgen über die möglichen Entwicklungen im Wald und nimmt die Probleme ernst. Sie muss deshalb folgende Tätigkeiten weiterführen und verstärken:

- Beobachtung des Gesundheitszustandes der Wälder, der Luftverschmutzung und sämtlicher Einflussfaktoren sowie die Entwicklung von Informationssystemen, die sämtliche Daten über die Umwelt erfassen und integrieren.
- Multidisziplinäre Erforschung der Ursachen-Wirkungsketten von Waldvitalitätsveränderungen im Rahmen einer ganzheitlichen Ökosystem- und Umweltforschung. Die Grundlagenforschung ist auf den Gebieten der umweltrelevanten Naturwissenschaften (zum Beispiel Baumphysiologie) gezielt zu verstärken.
- Entwicklung von Methoden für die Prognose und Untersuchung der möglichen biologischen, technischen, ökonomischen und soziokulturellen Konsequenzen des Waldgesundheitszustandes.
- Untersuchung der heutigen und künftigen Massnahmen zur Erhaltung der vielfältigen Funktionen unserer Wälder oder zur Verbesserung des Waldzustandes.
- Verarbeitung der Einzelresultate zu einer Gesamtschau (Synthese) sowie objektive und seriöse Information der Behörden und der Öffentlichkeit über die neuen Erkenntnisse aus der Forschung.

Der dargelegte Kenntnisstand über das «Waldsterben» in der Schweiz setzt der umweltpolitischen Argumentation Grenzen. Aus wissenschaftlicher Sicht kann der heutige Gesundheitszustand des Schweizer Waldes kaum als Argument für die Immissionsgrenzwerte in der Luftreinhalteverordnung vom 16. Dezember 1985 benutzt werden, weil der quantitative Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und Waldvitalität heute nicht bekannt ist. Allerdings zeigen die im Kapitel 6.3 beschriebenen Begasungsexperimente, dass die Immissionsgrenzwerte für Ozon aus phytotoxischer Sicht zu Recht bestehen.

Der gegenwärtige Kenntnisstand erlaubt es aber auch nicht, eine Beziehung zwischen dem heutigen Waldzustand und der Luftverschmutzung auszuschliessen. Ferner lassen aus- und inländische Beobachtungen vermuten, dass sich lang andauernde Einträge von Schadstoffen aus der Luft mit der Zeit negativ auf das Ökosystem Wald auswirken können. Aus dieser Sicht sind die Ziele des Bundesrates zur Luftreinhaltung (Luftreinhaltekonzept vom 10. September 1986) vollumfänglich zu unterstützen, da sie die Bedrohung der natürlichen Lebensgrundlagen um eine Gefahr reduzieren.

Wir verfügen heute über keine geeigneten Mittel, um die weitere Vitalitätsentwicklung des Schweizer Waldes zuverlässig zu prognostizieren. Diese Unsicherheit darf uns aber nicht daran hindern, die eingeleiteten Massnahmen zur Reduktion der Luftverschmutzung und der Umweltbelastung schlechthin konsequent fortzusetzen und zu verstärken. Dabei ist zu beachten, dass der Wald nur ein Teil der Umwelt ist, und dass die umweltpolitische Argumentation mit dem «Waldsterben» Rücksicht auf den neusten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse nehmen muss.

Résumé

Le «dépérissement des forêts» en Suisse, vu sous un angle actuel

Le but de ce rapport est de faire connaître ce que nous savons aujourd'hui sur le «dépérissement des forêts» et d'évoquer les questions restées sans réponse. Ce phénomène, que le grand public connaît sous le nom de «dépérissement des forêts» ou «dégâts aux forêts d'un genre nouveau», est une dégradation de la santé de l'écosystème forestier, des arbres en particulier, pour laquelle l'identification des causes est difficile. En Suisse et dans les régions voisines, l'évolution de l'état sanitaire des forêts n'a pas suivi un cours aussi dramatique ces dernières années que nous l'avions craint au début de la décennie.

Nous ne savons pas exactement si l'actuel volume de masse foliaire de nos arbres forestiers peut être considéré comme normal. Il est également difficile de comparer sa densité par rapport au passé. C'est pourquoi, l'évaluation globale de l'état sanitaire des forêts enregistre d'autres critères comme l'accroissement, la mortalité, l'effondrement des forêts, l'exploitation, la qualité du bois, les aptitudes de la forêt à remplir ses fonctions et le rajeunissement. Ces caractéristiques de la station forestière sont débattues dans cette étude. Les connaissances actuelles de la recherche ne permettent pas de prouver, à une grande échelle, que le pouvoir d'accroissement des arbres aurait eu tendance à diminuer jusqu'au milieu des années 80.

Les recherches sur les causes des dégâts en Suisse n'apportent pas encore d'hypothèses plausibles pouvant expliquer la perte de masse foliaire à l'échelon régional. Au stade actuel de nos connaissances sur le phénomène du «dépérissement des forêts», il n'y a pas lieu d'afficher un optimisme exagéré, pas plus que de présumer des événements d'apocalypse. Les scientifiques suivent de près la sérieuse question de l'évolution possible de la forêt dans le futur. L'évolution de la vitalité des forêts et l'état de nos connaissances sur les causes du phénomène nous incitent à poursuivre l'étude globale de tous les facteurs qui influencent l'écosystème.

Traduction: *M. Dousse*

AFZ (Allg. Forstzeitschrift), 1989: Zustand des Waldes 1989 in der Bundesrepublik Deutschland. AFZ *44:* 1295–1312.

Altwegg, D., 1989: Die Folgekosten von Waldschäden. ETH Zürich, Fachbereich Forstökonomie und Forstpolitik, Forstwissenschaftliche Beiträge Nr. 8, 339 S.

Amt der Tiroler Landesregierung/ Landesforstdirektion (Hrsg.), 1989: Zustand der Tiroler Wälder (bis 1988). Innsbruck, Amt der Tiroler Landesregierung/Landesforstdirektion, 135 S.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 1989: Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1989 in Bayern. München, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 63 S.

Becker, M., Landmann, G., Levy, G., 1988: Importance des facteurs climatiques, sylvicoles et stationnels dans le déperissement du sapin dans le massif Vosgien (N.E. France). In: Air Pollution and Forest Decline *(J.B. Bucher* und *I. Bucher-Wallin* [Hrsg.]), Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution, Effects on Forest Ecosystems, IUFRO P2.05, Interlaken, Switzerland, 2.–8. Okt., 1988, S. 15–19, Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes.

BFL (Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz); EAFV (Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen) [Hrsg.] 1985: Ergebnisse der Sanasilva-Waldschadeninventur 1985. Bern, BFL; Birmensdorf, EAFV; 47 S.

Blank, L.W., Roberts T.M., Skeffington, R.A., 1988: New perspectives on forest decline. Nature Vol. *336,* 27–30.

Bucher, J.B., 1988: Gedanken zum Waldsterben in der Schweiz. In: Ökophysiologische Probleme durch Luftverunreinigungen (Grill, D. und Guttenberger, H., Hrsg.). Institut f. Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz, 29–40.

Bucher, J.B., 1989: Zur Diagnose der neuartigen Waldschäden («Waldsterben») in der Schweiz. In: Kritische Analyse des Kenntnisstandes in Sachen Ursachen-Forschung Waldschäden aus verschiedener Sicht (Schwergewicht Pflanzenphysiologie) [Programmleitung Sanasilva, Hrsg.], Tagungsbericht, Zürich, ETH, 5. April 1989, 66 S., Eidgenöss. Anst. forstl. Ver.wes.

Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bundesamt für Statistik (Hrsg.), 1989: Jahrbuch der schweizerischen Wald- und Holzwirtschaft, 1987. Statistische Berichte, 146 S.

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 1988: Waldschadenserhebung 1988. Bonn, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Vervielfältigung, 87 S.

BUS (Bundesamt für Umweltschutz) [Hrsg.], 1988: Luftbelastung 1987, Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 94, 43 S.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) [Hrsg.], 1989a: Immissionsmesswerte 1988. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 106, 67 S.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) [Hrsg.], 1989b: Ozon in der Schweiz. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 101, 271 S.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft); WSL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) [Hrsg.]; 1989: Sanasilva-Waldschadenbericht 1989. Bern, BUWAL; Birmensdorf, WSL; 23 S.

Carbonnier, C., 1957: Ett gallringsförsök i planterad granskog. Svenska skogsvardföreningens tidskr. *55:* 463–476.

Christ, U., Volz, R., 1988: Ursachenforschung zu den Waldschäden. Bern, Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, 67 S.

Courtois, H., 1987: Probleme und Perspektiven der Waldschadensforschung aus forstpathologischer Sicht. Forst- und Holzwirt *42:* 584–587.

EAFV (Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen) [Hrsg.], 1966: Ertragstafel Tanne. Birmensdorf, EAFV.

EAFV (Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen) [Hrsg.], 1967: Ertragstafel Buche. Birmensdorf, EAFV.

EAFV (Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen) [Hrsg.], 1968: Ertragstafel Fichte. Birmensdorf, EAFV.

Flückiger, W., Braun, S., Flückiger-Keller, H., Leonardi, S., Arche, N., Bühler, U., Lier, M., 1986: Untersuchungen über Waldschäden in festen Beobachtungsflächen der Kantone Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Aargau, Solothurn, Bern, Zürich und Zug. Schweiz. Z. Forstwes. *137,* 11: 917–1010.

Flückiger, W., Braun, S., Leonardi, S., Förderer, L., Bühler, U., 1989: Untersuchungen an Buchen in festen Waldbeobachtungsflächen des Kantons Zürich. Schweiz. Z. Forstwes. *140:,* 6: 536–549.

Flühler, H., Kienast, F., Scherrer, H.U., Oester, B., Polomski, J., Keller, T., Schwager, H., Schweingruber, F.H., Mahrer, F., Blaser, P., 1981: Waldschäden im Walliser Rhonetal (Schweiz). Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Mitt. *57:* 361–499.

Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen (Hrsg.), 1986: 2. Bericht. Karlsruhe, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 229 S.

FVA (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg) [Hrsg.], 1988: Vorläufiger Bericht zur Waldschadenssituation 1988 in Baden-Württemberg. Freiburg i.Br., Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Vervielfältigung, 15 S.

Hägi, K., 1989: Terrestrische Waldschadeninventur, Schlussberichte Programm Sanasilva 1984–1987. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 314, 36 S.

Keller, T., 1977: Begriff und Bedeutung der «latenten» Immissionsschädigung. Allg. Forst- und Jagdztg. *148,* 6: 115–120.

Keller, T., 1984: Die Auswirkungen von Immissionen auf Waldbäume. In: Die Erhaltung des Waldes – eine nationale und internationale Aufgabe. Kongressbericht Alpbach 1983; ebenso: Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 255.

Keller, W., Imhof, P., 1987: Zum Einfluss der Durchforstung auf die Waldschäden, 2. Teil: Erste Ergebnisse von Waldschadenuntersuchungen in Plenterversuchsflächen der EAFV. Schweiz. Z. Forstwes. *138:* 293–320.

Kenk, G., 1988: Zuwachsuntersuchungen im Zusammenhang mit den gegenwärtigen Waldschäden in Baden-Württemberg. In: Air Pollution and Forest Decline *(J.B. Bucher* und *I. Bucher-Wallin* [Hrsg.], Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution, Effects on Forest Ecosystems, IUFRO P2.05, Interlaken, Switzerland, 2.–8. Okt., 1988, S. 15–19, Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes.

Kissling, P., 1989: Changement floristique depuis 1950 dans les forêts des Alpes suisses. Bot. Helv. *99:* 27–44.

Kissling, P., Kuhn, N., Wildi, O., 1988: Le relevé mérocénotique et son application à l'étude du changement floristique en forêt. Bot. Helv. *98:* 39–75.

Kucera, L.J., Bosshard, H.H., 1989: Holzeigenschaften geschädigter Fichten. Contributiones Biologiae Arborum, Vol. 1, Basel, Birkhäuser Verlag, 182 S.

Kuhn, N., Amiet, R., Hufschmid, N., 1987: Veränderungen in der Waldvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. Allg. Forst- u. J.-Ztg., *158:* 77–84; ebenso: Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 295.

Landolt, W., Krause-Lüthy, B., 1989: Teilprojekt «Negativbegasung» des Nationalen Forschungsprogrammes 14+ «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz». Eidgenöss. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Schlussbericht, 120 S.

Last, F.T., 1989: Experimental investigation of forest decline: the use of the open-top chambers. In: 5. Statuskolloquium des Projektes «Europäisches Forschungszentrum für Massnahmen zur Luftreinhaltung (PEF)», Karlsruhe, 7.–9.3.89, Kernforschungszentrum (Hrsg.), S. 141–165.

Leibundgut, H., 1988: Baum- und Waldsterben. Schweiz. Z. Forstwes. *139,* 4: 337–340.

Lenz, O., Nogler, P., Bräker, O.U., 1988: L'évolution du temps et le déperissement du Sapin blanc dans la région de Berne. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 303, 44 S.

Mettendorf, B., Konnert, V., Seemann, D., 1989: Das System der Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg. In: Internationaler Kongress Waldschadensforschung: Wissensstand und Perspektiven (Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen [Hrsg.], Poster Kurzfassungen, Friedrichshafen am Bodensee, Bundesrepublik Deutschland, 2.–6. Okt. 1989, S. 33–34.

Ministère de l'Agriculture et de la Forêt (Hrsg.), 1989: La santé des forêts (France) 1988. Paris, Ministère de l'agriculture et de la forêt, Direction de l'espace rural et de la forêt, Département de santé de la forêt, 65 S.

Papke, H.E., Krahl-Urban, B., Peters, K., Schimanski, C., 1987: Waldschäden, Ursachenforschung in der Bundesrepublik Deutschland und den Vereinigten Staaten von Amerika. Kernforschungszentrum Jülich, 137 S.

Pfister, F., Walther H., Erni, V., Candrian, M., 1987: Walderhaltung und Schutzaufgaben im Berggebiet. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 294, 85 S.

Polomski, J., Flühler, H., Blaser, P., 1982: Fluoride-Induced mobilization and leaching of Organic Matter, Iron and Aluminium. J. Environmental Quality *11*, 3: 452–456.

Programmkoordination Sanasilva (Hrsg.), 1989: Differenzierte Zwangsnutzungserhebung, Probleme und Erfahrungen. Tagungsbericht, Zürich, ETH, 26. Okt. 1988, 63 S., Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes.

Roberts, T.M., Skeffington, R.A., Blank, L.W., 1989: Causes of Type 1 Spruce Decline in Europe. Forestry *62:* 179–222.

Schlaepfer, R., 1988: Dépérissement des forêts: une analyse des connaissances par la recherche; Waldsterben: eine Analyse der Kenntnisse aus der Forschung. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.-wes., Ber. 306: 47 S.

Schmid-Haas, P., 1989: Der Nachweis der Ursache des Tannensterbens an einem Beispiel. Forstw. Cbl. *108:* 244–254.

Schütt, P., 1988: Waldsterben – Wichtung der Ursachenhypothesen. Forstarchiv *59:* 17–18.

Schweingruber, F.H., 1989: Lässt sich fehlendes Datenmaterial zur Waldschadenssituation anhand von Postkarten ergänzen? Allg. Forst.Z. *44:* 266–268.

Schweingruber, F.H., Kontic, R., Winkler-Seifert, A., 1983: Eine jahrringanalytische Studie zum Nadelbaumsterben in der Schweiz. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 253, 29 S.

Sell, J., Schnell, G., Arnold, M., 1988: Holzqualität gesunder und geschädigter Fichten und Tannen von 6 schweizerischen Standorten. Abschlussbericht über das Sanasilva-Teilprojekt 10, «Holzqualität». Eidgenöss. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Bericht Nr. 217, 112 S.

SGU (Schweizerische Gesellschaft für Umweltschutz) [Hrsg.], 1986: Die wirtschaftlichen Folgen des Waldsterbens in der Schweiz. Zürich, SGU, 38 S.

Sommer, H., Thudium, J., 1989: Gasförmige Immissionen an Waldstandorten im Kanton Zürich. Schweiz. Z. Forstwes. *140,* 6: 499–510.

Stark, M., 1988: Nationales Forschungsprogramm 14+ «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz», Bern, Schweizerischer Nationalfonds.

Ulrich, B., 1989: Stand der Göttinger Waldschadensforschung – eine Kurzfassung. Forst und Holz *44:* 419–422.