

## Das „Zuwachstrend-Verfahren“ für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in den bayerischen Schadgebieten

Von H. PRETZSCH und H. UTSCHIG,

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München

Zur Beurteilung des Zuwachsverhaltens erkrankter Waldbestände wird deren Zuwachsgang mit einer Referenzentwicklung verglichen, die den „normalen Zuwachsverlauf“ abbildet, der unter ungestörten Wachstumsbedingungen zu erwarten gewesen wäre. Die Zuwachsdia­gnose auf den Fichten- und Kiefern-Beobachtungsflächen in den bayerischen Waldschadensgebieten (Weiserflächen zur Zuwachstrendanalyse) erfolgt mit dem „Zuwachstrend-Verfahren“, das am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde entwickelt wurde und sich bei der Beurteilung schadbedingter Zuwachsreaktionen bewährt hat. Beim „Zuwachstrend-Verfahren“ wird die Referenzentwicklung aus den ungeschädigten Bäumen des zu beurteilenden Kollektivs abgeleitet. Das Verfahren entspricht den Empfehlungen der Sektion Ertragskunde des DVFFA (1988) zur Referenzfrage, weist aber einige weiterführende Verfahrensmerkmale auf.

### 1. Waldschäden und Zuwachsdia­gnose

Zur Beobachtung der Vitalitätsentwicklung und Quantifizierung krankheitsbedingter Zuwachseinbußen wurde in den Waldschadensregionen Bayerns ein Weiserflächennetz angelegt, das aus 186 Beobachtungsflächen in Fichtenbeständen, 148 Flächen in Kiefernbeständen und 30 Flächen in Buchenbeständen besteht (vgl. FRANZ, PRETZSCH und RÖHLE, 1987). Die Weiserflächen umfassen 20 Untersuchungsbäume, und jeweils drei Flächen stellen eine eigenständige Untersuchungseinheit dar (vgl. FRANZ und PREUHLER, 1983). Zur Ermittlung des Zuwachsganges in den letzten 30 Jahren wurden in den Jahren 1985 bis 1987 von allen Bäumen je zwei Bohrspäne entnommen. Einen Untersuchungsschwerpunkt bilden die Bohrkernanalysen und die darauf aufbauende Dia­gnose schadbedingter Zuwachsreaktionen mit einer Quantifizierung der Zuwachseinbußen in den verschiedenen Schadregionen.

Wollen wir die gemessenen Zuwachsgänge beurteilen, so erhebt sich die Frage nach einer Referenzbeziehung, an welcher die Befunddaten gemessen werden können. Die Gegenüberstellung von Referenzentwicklung und beobachtetem Zuwachsgang erlaubt dann Aussagen über den Vitalitätszustand und Krankheitsverlauf auf den Untersuchungsflächen und liefert die Grundlage für die Berechnung von schadbedingten Zuwachsverlusten.

### 2. Berechnung schadbedingter Zuwachsverluste mit dem „Zuwachstrend-Verfahren“

Die Zuwachsdia­gnose auf den Fichten- und Kiefern-Beobachtungsflächen erfolgte nach dem Zuwachstrend-Verfahren, bei den Untersuchungen auf den Buchen-Beobachtungsflächen mußte von diesem Verfahren in einigen Punkten abgewichen werden.

Nach den „Empfehlungen zur ertragskundlichen Aufnahme- und Auswertungsmethodik für den Themenkomplex Waldschäden und Zuwachs“ der Sektion Ertragskunde im DVFFA (1988) gehört das Zuwachstrend-Verfahren zu den Referenzverfahren durch „Schadklassenvergleich“. Diese Referenzverfahren unterscheiden sich von anderen Verfahren dadurch, daß die Referenzdaten zur Beurteilung geschädigter Bestandsglieder nicht aus Wachstumsmodellen (Ertragstafelangaben), sondern aus den ungeschädigten Bäumen des Bestandes abgeleitet werden.

Auf die Vorzüge und Nachteile der verschiedenen Ansätze zur Erzeugung von Referenzentwicklungen wurde u. a. von DONG und KRAMER (1985), DVFFA (1988), FRANZ und PRETZSCH (1989), LUX (1965), PELZ, PRESSLER und NAUMANN (1973), RÖHLE (1987), SCHÖPFER und HRADETZKY (1986) und UTSCHIG (1988) hingewiesen. Es gibt keine Patentlösung für diese Problematik, sondern eine ganze Reihe von Lösungsvarianten. Im Einzelfall muß geprüft werden, welches Referenzverfahren für ein gegebenes Untersuchungsziel am besten geeignet ist.

#### 2.1. Vorüberlegungen

Soll ein Referenzsystem das „normale“ Zuwachsverhalten unserer Untersuchungsbestände zutreffend beschreiben, so muß es an den folgenden Besonderheiten orientiert sein (vgl. FRANZ, 1983 und 1986; PRETZSCH, 1987, und RÖHLE, 1987):

1. Im Zuwachsgang bayerischer Fichten- und Kiefernbestände haben sich in den letzten Jahrzehnten Phasen unterschiedlicher Zuwachsleistung abgezeichnet, welche in vielen Fällen den normalen Alterstrend dieser Bestände überdecken. Auf eine Phase mit normaler, etwa ertragstafelgemäßer Zuwachsleistung in den vierziger und fünfziger Jahren folgte seit den sechziger Jahren eine Zuwachshoch-Phase.

2. In weitgehend ungeschädigten Beständen steigen die Zuwachsleistungen gegenwärtig meist weiter an und bewegen sich auf einem ungewöhnlich hohen Niveau, das häufig weit über den Erwartungswerten unserer Ertragstafeln liegt.

3. In den Beständen mittlerer Schädigungsgrade halten sich gegenwärtig in vielen Fällen zuwachs­fördernde und zuwachs­mindernde Einflüsse die Waage. Die Zuwachsleistung solcher Bestände liegt zwar meist noch über den vergleichbaren Tafelwerten, die Zuwachshoch-Phase klingt aber ab und geht über in eine Zuwachsdepression.

4. In stark geschädigten Beständen sind die Zuwachsgänge seit zehn bis zwanzig Jahren deutlich rückläufig, die Zuwachshoch-Phase geht unmittelbar über in eine Phase der Zuwachsdepression.

Ein geeignetes Referenzsystem muß solche Abweichungen des Zuwachsgangs von dem normalen Alterstrend berücksichtigen. Auch wenn die Zuwachsleistung geschädigter Bestände immer noch über den Tafelwerten liegt, ist ein Bruch in der Zuwachskurve – verursacht durch das Abklingen des Zuwachshochs – ein deutliches Anzeichen für die Einwirkung zuwachsmindernder Störeinflüsse. Das Wachstumstrend-Verfahren hat den Vorteil, daß das aufgezeigte zeitraumtypische Zuwachsverhalten in der Referenzkurve Berücksichtigung findet, da diese „bestandsintern“ hergeleitet wird.

## 2.2. Methodische Grundlagen

Bei der Baumart Fichte werden alle vorherrschenden, herrschenden und mitherrschenden Bäume (Kraftklassen 1, 2 und 3) einer Weiserfläche in die Berechnung mit einbezogen. Voruntersuchungen haben gezeigt, daß bei der Fichte kein systematischer Zusammenhang zwischen der sozialen Stellung und dem Nadelverlust festzustellen ist und daß sich für Bäume der Baumklassen 1, 2 und 3 das gleiche Stammzahl-Verteilungsmuster auf die Schadstufen null bis zehn ergibt (vgl. UTSCHIG, 1988). Bei der

Kiefer sind die mitherrschenden Bäume deutlich stärker entadelt als die vorherrschenden und herrschenden, und es besteht hier die Gefahr, daß Schadsymptome mit konkurrenzbedingten Nadelverlusten verwechselt werden (vgl. PRETZSCH, 1989). Um Zuwachsdpressionen aufgrund von Konkurrenzeffekten soweit wie möglich aus der Betrachtung auszuschließen, bleibt die Berechnung bei der Kiefer auf die vorherrschenden und herrschenden Bäume (Kraftklassen 1 und 2) beschränkt.

Beim Zuwandstrend-Verfahren, das sich auf Elemente einer von FRANZ (1986) entwickelten Methode referenzbezogener Zuwachsschätzung stützt, wird die Referenzentwicklung bestandsintern gebildet. Aus einem Bestand werden solche Bäume ausgewählt, die für die Herleitung der Referenzentwicklung geeignet sind. Eine vorläufige Fassung des vorgestellten Referenzverfahrens wurde bei der Auswertung der bayerischen Fichten- und Kiefernweiserflächen erprobt (vgl. FRANZ, PRETZSCH und RÖHLE, 1987).

Bei der Standardauswertung der bayerischen Fichten- und Kiefern-Weiserflächen wurden als Referenzbäume die Bestandesglieder mit Nadelverlusten bis zu 29 Prozent (Schadstufen 0 bis 2) ausgewählt. Durch die Einbeziehung von Bäumen mit Nadelverlusten bis zu 29 Prozent in die Referenz wird der Tatsache Rechnung getragen, daß auch in ungeschädigten Beständen eine gewisse Differenzierung im Vitalitätszustand festzustellen ist.

Im Rahmen einer regional begrenzten Waldschadensuntersuchung (vgl. PRETZSCH, 1989) wurde das Verfahren dahingehend modifiziert, daß als Kriterium für die Zuordnung zum Referenzkollektiv nicht der Befund der Schadstufenansprache gewählt wurde, sondern der Gradient der Zuwachskurve seit Beginn der Schädigung.

Ausgehend von der gesamten Zuwachskurven-Schar eines Bestandes (vgl. Abb. 1, oben, links) wird für die Teilkollektive der Referenzbäume und der zu beurteilenden Bäume (auf Abb. 1 mit R bzw. B bezeichnet) für jedes Jahr des Untersuchungszeitraumes der mittlere Grundflächenzuwachs berechnet. Die mittleren Zuwachskurven für diese Teilkollektive sind auf Abbildung 1 (oben, rechts) mit  $\bar{R}$  bzw.  $\bar{B}$  bezeichnet. Die Ermittlung der Zuwachsverluste erfolgt durch Vergleich der Zuwachsentwicklung des zu beurteilenden Kollektivs ( $\bar{B}$ , Istzuwachs) mit der Referenzkurve ( $\bar{R}$ , Sollzuwachs). Es ist dabei aber zu berücksichtigen, daß sich die Referenzkurve und die Zuwachskurve der zu beurteilenden Bäume eventuell schon vor Eintritt der Schädigung auf einem unterschiedlichen Niveau bewegten. Die Bestimmung dieser Niveauunterschiede erfolgt über den durchschnittlichen Zuwachs in einer Referenzperiode vor Eintritt der Schädigung, in welcher die zu vergleichenden Zuwachskurven etwa parallel liefen. Die a priori vorhandenen Niveauunterschiede zwischen den Referenzbäumen und dem zu beurteilenden Kollektiv werden eliminiert, indem die

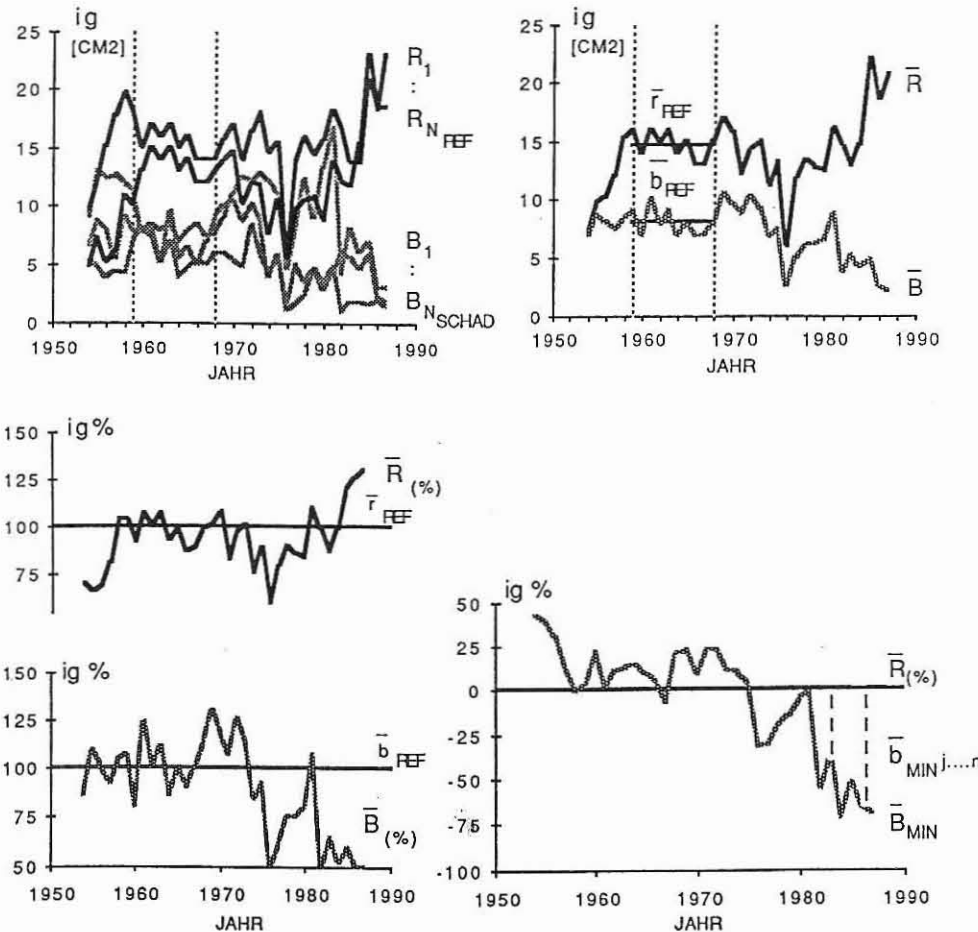


Abb. 1: Methodische Grundlagen des Wachstumstrendverfahrens in grafischer Darstellung  
 oben links: Grundflächenzuwachskurven der Referenzbäume ( $R_i, i = 1 \dots N_{REF}$ ) und der zu beurteilenden Bäume ( $B_i, i = 1 \dots N_{SCHAD}$ )  
 oben rechts: Berechnung der mittleren Kurvenverläufe ( $\bar{R}$  und  $\bar{B}$ ) für die Teilkollektive  $R_i$  und  $B_i$ ;  
 Bestimmung der Referenzniveaus  $\bar{r}_{REF}$  und  $\bar{b}_{REF}$   
 unten links: Berechnung der Schwankung der mittleren Zuwachskurven ( $\bar{R}$  und  $\bar{B}$ ) um die Referenzlinien  $\bar{r}_{REF}$  und  $\bar{b}_{REF}$   
 unten rechts: Die Zuwachsverluste ergeben sich aus den Abweichungen zwischen den Kurven  $\bar{R}_{(%)}$  (0-Linie) und der Kurve  $\bar{B}_{MIN}$ .

Fig. 1: Presentation of the increment-trend-method in diagrams  
 upper left: curve course of the basal area increment for the reference trees ( $R_i, i = 1 \dots N_{REF}$ ) and for the trees to be judged ( $B_i, i = 1 \dots N_{SCHAD}$ )  
 upper right: derivation of the mean basal area increment curves ( $\bar{R}$  and  $\bar{B}$ ) for the subcollectives  $R_i$  and  $B_i$ ;  
 determination of the reference levels  $\bar{r}_{REF}$  and  $\bar{b}_{REF}$   
 lower left: deviation of the mean basal area increment ( $\bar{R}$  and  $\bar{B}$ ) from the reference levels  $\bar{r}_{REF}$  and  $\bar{b}_{REF}$   
 lower right: the losses of increment result from the percental deviation of the  $\bar{B}_{MIN}$ -curve from the reference level  $\bar{R}_{(%)}$ .

jährlichen Zuwächse beider Teilkollektive in Relation zu ihrem gruppenspezifischen Zuwachsniveau in der Referenzperiode gesetzt werden (erste Prozentuierung). Die errechneten Prozentwerte  $\bar{r}_{(\%)}$  und  $\bar{b}_{(\%)}$  (vgl. Abb. 1, unten, links) geben den gruppenspezifischen Zuwachstrend an. Es wird nun davon ausgegangen, daß der nach diesem Verfahren errechnete Zuwachstrend der Referenzbäume den „normalen“ Zuwachstrend darstellt, der ohne Schadeinwirkungen zu erwarten wäre. Deshalb wird der Zuwachstrend der geschädigten Bäume in Relation zum Zuwachstrend der Referenzbäume betrachtet (zweite Prozentuierung); die Trendabweichungen  $\bar{b}_{\text{MIN}}$  (vgl. Abb. 1, unten, rechts) zwischen den beiden Kurven geben die schadbedingten Zuwachseinbußen (in Prozent) an.

Die mittleren Grundflächenzuwachsverluste eines Kollektivs geschädigter Bäume werden im einzelnen nach dem folgenden Rechengang ermittelt:

Die Berechnung der mittleren Grundflächen-Zuwachsentwicklung für die Referenzbäume und die zu beurteilenden Bäume nach den Formeln (1) und (2)

$$\bar{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{REF}}} ig_{i,j}}{N_{\text{REF}}} \quad (1)$$

$$\bar{b}_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{SCHAD}}} ig_{i,j}}{N_{\text{SCHAD}}} \quad (2)$$

- $i$  = lfd. Nummer der Bäume innerhalb der Teilkollektive Referenzbäume und zu beurteilende Bäume ( $i=1..N_{\text{REF}}$ ;  $i=1..N_{\text{SCHAD}}$ )  
number of the trees in the subcollectives reference trees and examined trees ( $i=1..N_{\text{REF}}$ ;  $i=1..N_{\text{SCHAD}}$ )
- $j$  = Jahresindex  $j, j=1..n$   
year index  $j, j=1..n$
- $\bar{r}_j$  = mittlerer Grundflächenzuwachs der Referenzbäume im Jahr  $j$   
mean basal area increment of the reference trees in the year  $j$
- $\bar{b}_j$  = mittlerer Grundflächenzuwachs der zu beurteilenden Bäume im Jahr  $j$   
mean basal area increment of the examined trees in the year  $j$
- $ig_{i,j}$  = Grundflächenzuwachs von Baum  $i$  im Jahr  $j$   
basal area increment of the tree  $i$  in the year  $j$
- $N_{\text{REF}}$  = Zahl der Bäume für die Referenzherleitung  
number of trees for the derivation of the reference
- $N_{\text{SCHAD}}$  = Zahl der zu beurteilenden geschädigten Bäume  
number of damaged trees to be judged

liefern die Eingangsgrößen für die Herleitung der gruppenspezifischen Zuwachsleistung in der Referenzperiode vor Eintritt der Schädigung nach den Formeln (3) und (4).

$$\bar{r}_{\text{REF}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{REF}}} \sum_{j=a}^e ig_{i,j}}{\text{PER} * N_{\text{REF}}} \quad (3)$$

$$\bar{b}_{\text{REF}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{SCHAD}}} \sum_{j=a}^e ig_{i,j}}{\text{PER} * N_{\text{SCHAD}}} \quad (4)$$

$\bar{r}_{\text{REF}}$  = mittlerer Grundflächenzuwachs der Referenzbäume in der Referenzperiode  $j=a..e$   
mean basal area increment of the reference trees in the reference period  $j=a..e$

$\bar{b}_{\text{REF}}$  = mittlerer Grundflächenzuwachs der zu beurteilenden Bäume in der Referenzperiode  
mean basal area increment of the trees to be judged in the reference period

$a, e$  = Beginn und Ende der Referenzperiode  
beginning and end of the reference period

$\text{PER}$  = Dauer der Referenzperiode in Jahren  
duration of the reference period in years

Um solche Niveauunterschiede zwischen den Kurven, die schon vor Eintritt der Schädigung bestanden, aus der Rechnung zu eliminieren, werden nach den Formeln (5) und (6) die prozentualen Abweichungen der jährlichen Zuwachswerte vom gruppenspezifischen Referenzniveau berechnet; d. h., wir vernachlässigen im folgenden das absolute Zuwachsniveau der zu vergleichenden Kurven und betrachten nunmehr deren Schwankungen um das Referenzniveau.

$$\bar{r}_{\%j} = \frac{\bar{r}_j}{\bar{r}_{\text{REF}}} * 100 \quad (5)$$

$$\bar{b}_{\%j} = \frac{\bar{b}_j}{\bar{b}_{\text{REF}}} * 100 \quad (6)$$

$\bar{r}_{\%j}$  = prozentuale Abweichungen der Referenzbäume vom Zuwachsniveau der Referenzperiode im Jahr  $j$   
percentual deviation of the reference trees from the increment level of the reference period in the year  $j$

$\bar{b}_{\%j}$  = prozentuale Abweichung der zu beurteilenden Bäume vom Zuwachsniveau der Referenzperiode im Jahr  $j$   
percentual deviation of the trees to be judged from the increment level of the reference period in the year  $j$

In dem folgenden Schritt betrachten wir nun den Zuwachstrend der Referenzbäume als „normalen“ Zuwachstrend (0-Prozentlinie) und errechnen nach Formel (7) die prozentischen Abweichungen der Zuwachskurven der geschädigten Bäume von der Referenzkurve und daraus die prozentualen Zuwachsverluste der geschädigten Bäume.

$$\bar{b}_{\text{MIN}j} = \left( 1 - \frac{\bar{b}_{\%j}}{\bar{r}_{\%j}} \right) * 100 \quad (7)$$

$\bar{b}_{\text{MIN}j}$  = mittlere Zuwachsminderung der zu beurteilenden Bäume gegenüber der Referenzkurve (0-Prozentlinie) im Jahr  $j$  in Prozent  
percentual regression of increment of the examined trees compared with the reference curve (0-percent-line) in the year  $j$

In dem Rechengang werden die jährlichen Zuwachswerte der geschädigten Bäume demnach zweifach Prozentuiert, erstens um die a priori vorhandenen Niveauunterschiede zwischen den Kurven zu eliminieren und zweitens um die tendenziellen Abweichungen (Zuwachseinbußen) der geschädigten Bäume vom Referenzkollektiv auszudrücken. Aus den errechneten prozentischen Zuwachsverlusten und den tatsächlichen Jahreszuwächsen der geschädigten Bäume wird nach Formel (8) die absolute Höhe der Grundflächenzuwächse (in qcm pro Jahr) errechnet, die unter ungestörten Verhältnissen zu erwarten gewesen wäre.

$$\bar{b}_{\text{soll}j} = \frac{\bar{b}_j}{\left( \frac{\bar{b}_{\%j}}{\bar{r}_{\%j}} \right)} = \bar{r}_j * k \quad (8)$$

$\bar{b}_{\text{soll}j}$  = absolute Höhe der Grundflächenzuwächse, die im Jahr  $j$  unter ungestörten Verhältnissen zu erwarten gewesen wären  
expected absolute basal area increment under undisturbed conditions in the year  $j$

$k = \frac{\bar{b}_{\text{REF}}}{\bar{r}_{\text{REF}}}$   $k$  = Korrekturfaktor für die Adjustierung der Referenzkurve auf das Niveau des zu beurteilenden Kollektivs  
correcting factor to adjust the reference curve to the level of the group of trees to be judged

Durch Umformung der Formel (8) kann die dem Zuwachstrend-Verfahren zugrunde liegende Überlegung noch einmal aus anderer Sicht verdeutlicht werden: Als Sollzuwachs geschädigter Bäume wird nicht unmittelbar der entsprechende Jahreszuwachs des Referenzkollektivs angenommen, sondern durch einen Faktor  $k$  werden a priori vorhandene Niveauunterschiede zwischen den Kurven in der Referenzperiode eliminiert. Es wird also lediglich der Zuwachstrend der ungeschädigten Bäume als Basis zur Herleitung des Sollzuwachses benutzt.

Werden die Zuwachseinbußen für den Einzelbaum errechnet, so vereinfachen sich die Formeln (2) und (4) wie folgt:

$$b_{ij} = ig_{i,j} \quad (2a) \quad \bar{b}_{\text{REF}i} = \frac{\sum_{j=a}^e ig_{i,j}}{\text{PER}} \quad (4a)$$

Die nach diesem Verfahren errechneten Zuwachsverluste für den Einzelbaum sind, in Kombination mit weiteren Baumparametern, wichtige Basisgrößen für weiterführende statistische Analysen der Meßdaten. Zur Bestimmung der prozentualen Zuwachsverluste für einen Bestand werden Ist- und Sollzuwachs des Bestandes



$$\begin{aligned} \text{Zuwachsverlust für} &= \frac{\text{Istzuwachs}}{\text{Sollzuwachs}} * 100 \\ \text{den Bestand im} & \\ \text{Jahre } j \text{ (in Prozent)} & \\ &= \frac{\bar{r}_j * N_{\text{REF}} + \bar{b}_j * N_{\text{SCHAD}}}{\bar{r}_j * N_{\text{REF}} + \bar{b}_j * \left( \frac{\bar{r}_{\%j}}{\bar{b}_{\%j}} \right) * N_{\text{SCHAD}}} * 100 \\ &= \frac{\bar{r}_j * N_{\text{REF}} + \bar{b}_j * N_{\text{SCHAD}}}{\bar{r}_j * N_{\text{REF}} + \bar{r}_j * k * N_{\text{SCHAD}}} * 100 \end{aligned} \quad (9)$$

nach Formel (9) gegenübergestellt. Der Istzuwachs ergibt sich als Summe der nach Stammzahlen gewichteten mittleren Zuwachswerte der Referenzbäume und der geschädigten Bäume. Der Sollzuwachs wird als nach Stammzahlen gewichtete Summe der Referenzzuwachswerte und der nach Formel (8) errechneten Sollzuwächse der geschädigten Bäume errechnet.

Nach diesem Berechnungsgang leitet das EDV-Programm ZUWVERL, das am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde entwickelt wurde (PRETZSCH, 1985; UTSCHIG, 1988) bestandsspezifische Referenzkurven her, errechnet Zuwachsverluste für Einzelbäume und Baumkollektive und ermittelt Zuwachsverluste für den Gesamtbestand. Die berechneten Zuwachsverluste werden für weitere Rechenschritte in Listenform ausgegeben und über eine Plotroutine grafisch dargestellt.

### 2.3. Beurteilung des Zuwachstrend-Verfahrens

Jede Lösung für die Herleitung von Referenz-Zuwachskurven bleibt ein Kompromiß zwischen der Forderung nach einem großräumig gültigen, praktikablen Referenzsystem und dem Wunsch, für den Einzelbestand hinreichend zuverlässige Bezugsgrößen herzustellen.

Der hier vorgestellte methodische Ansatz der Referenzbildung nutzt die Tatsache, daß auch in geschädigten Beständen in den meisten Fällen noch widerstandsfähigere Bestandeglieder zu finden sind, welche in relativ guter gesundheitlicher Verfassung sind und sich als Referenzbäume eignen. Es wird davon ausgegangen, daß ohne Schadeinwirkung die Lage der Zuwachskurven von geschädigten und ungeschädigten Bäumen zueinander heute ähnlich wäre wie vor Beginn der Schädigung.

Die Referenzperiode wird in einen Zeitraum vor Eintritt der Schädigung gelegt, in welchem die Zuwachskurven aller Bestandeglieder etwa parallel liefen und an den heute geschädigten Bäumen noch keine krankheitsbedingten Zuwachsreaktionen festzustellen waren. Das Zuwachsniveau in der Referenzperiode dient zur Eliminierung von Anfangsunterschieden im Zuwachsniveau der Referenzbäume und des zu beurteilenden Teilkollektivs. Die Wahl der Referenzperiode hat darum nur einen geringfügigen Einfluß auf die Berechnungen. Denn die Zuwachseinbußen werden aus den Zuwachstrend-Abweichungen der zu beurteilenden Bäume vom Referenzkollektiv abgeleitet.

Durch die Aufnahme von Bäumen mit leichter Schädigung (Nadelverluste bis 29 Prozent) in das Referenzkollektiv wird die natürliche Bestandesdifferenzierung, die auch in unbelasteten Beständen zu Kronenverlichtungen führen kann, ausreichend berücksichtigt. Das vorgestellte Referenzsystem liefert vorsichtige Schätzungen; die Zuwachsverluste eines Bestandes werden nach diesem Verfahren sicher nicht überschätzt. Natürlich kann dieses Referenzsystem nur dann angewendet werden, wenn ein ausreichend großer Anteil von Bäumen mit Nadelverlusten unter 29 Prozent im Bestand vorhanden ist. Liegt der Anteil von Bäumen für die Referenzbildung unter 25 Prozent der Gesamtstammzahl, so wird die Referenzkurve aus einem vergleichbaren Bestand mit günstigeren Vitalitätsverhältnissen abgeleitet.

Mit dem Zuwachstrend-Verfahren können Zuwachseinbußen für Einzelbäume berechnet werden und mittlere Zuwachseinbußen für Kollektive geschädigter Bäume abgeleitet werden, ebenso lassen sich die Zuwachseinbußen für den Gesamtbestand, d. h. flächenbezogene Zuwachseinbußen, bestimmen. Gegenüber den Verfahren, die sich an Wachstumsmodellen (Ertragstafeln) orientieren, lassen sich mit dem Zuwachstrend-Verfahren auch dann

kurzfristige und schwächere Zuwachsreaktionen nachweisen, wenn die Zuwachsleistung insgesamt erhöht ist und über den vergleichbaren Werten unserer Ertragstafeln liegt.

Das Referenzsystem liefert für unsere Untersuchungsbestände Zuwachsverluste, die in plausibler Größenordnung liegen (vgl. Abschn. 3). Auch die Rückrechnung aus den Istzuwächsen und Zuwachsverlusten eines Bestandes auf seinen Sollzuwachs, der unter ungestörten Verhältnissen zu erwarten gewesen wäre, liefert plausible Ergebnisse. Das Verfahren liefert nicht zwangsläufig Zuwachsverlust-Angaben, sondern es können sich im Einzelfall, je nach dem Zuwachstrend der geschädigten und ungeschädigten Bäume, im Vergleich zur Referenzentwicklung gleichlaufende oder steigende Zuwachsänderungen ergeben. Das Zuwachstrend-Verfahren ist im Gegensatz zu solchen Referenzverfahren, die sich an Wachstumsmodelle anlehnen, problemorientiert, da es die spezifischen Wachstumsverhältnisse im Untersuchungsgebiet bei der Referenzbildung berücksichtigt.

### 3. Anwendungsbeispiele aus dem bayerischen Weiserflächennetz zur Zuwachstrendanalyse

Im folgenden wird am Beispiel von Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in der Region Oberfranken die Anwendung des Zuwachstrend-Verfahrens für die Zuwachsdiaagnose vorgestellt.

In den untersuchten Fichten- und Kiefernbeständen in dieser Region dominieren Bäume mit mittlerer Schädigung. Stärker geschädigte Bäume mit Nadelverlusten über 50 Prozent haben einen Anteil von fünf bis zehn Prozent an der Gesamtstammzahl (vgl. Abb. 2). Damit liegt der Schädigungsgrad in diesem Raum deutlich über dem Landesdurchschnitt. Aus Abbildung 2 geht weiter hervor, daß der Anteil von Bäumen mit Nadelverlusten unter 30 Prozent – also der Anteil der Bäume, die zur Referenzbildung herangezogen werden – auch unter den gegebenen ungünstigen Vitalitätsverhältnissen etwa ein Drittel der gesamten Stammzahl ausmacht. Das bedeutet, daß selbst in Beständen mit mittleren und stärkeren Schäden das Referenzkollektiv noch gut besetzt ist. Unter günstigeren Vitalitätsverhältnissen kann der Anteil der Referenzbäume auf 80 bis 90 Prozent der Gesamtstammzahl ansteigen. Das zeigt, daß sich das Referenzkollektiv nicht aus wenigen, besonders vitalen Bäumen zusammensetzt, sondern in der Mehrzahl der Fälle mehr als ein Drittel der Verteilungsmasse ausmacht. Das bestätigt die eingangs getroffene Charakterisierung, wonach das Zuwachstrend-Verfahren sehr vorsichtige Schätzungen der Zuwachsverluste liefert.

Auf Abbildung 3 sind für ausgewählte Weiserflächen in oberfränkischen Fichten- und Kiefernbeständen die Ergebnisse der Zuwachsdiaagnose über das Zuwachstrend-Verfahren dargestellt: Aufgetragen ist der Zuwachsgang von Bäumen der verschiedenen Schadstufen in Relation zur Referenzentwicklung (0-Linie). Aus der Darstellung geht hervor, daß alle Teilkollektive – unabhängig vom heutigen Schädigungsgrad – in der ersten Hälfte des betrachteten Untersuchungszeitraumes etwa auf dem Zuwachsniveau der

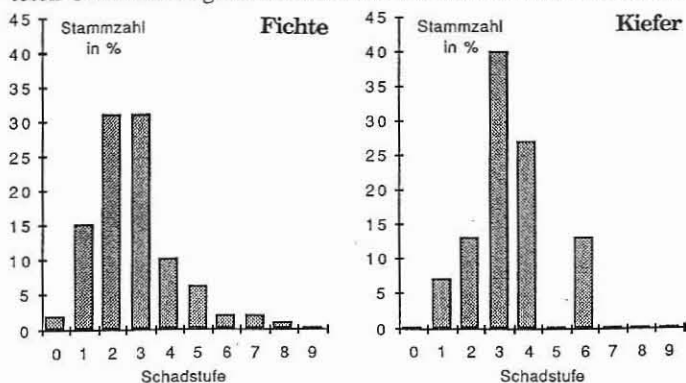


Abb. 2: Stammzahlverteilung auf Stufen gleicher Nadelverluste für die Fichten-Weiserflächen 601 bis 612 im Forstamt Fichtelberg (links) und für die Kiefern-Weiserflächen 70 bis 75 im Forstamt Selb (rechts).

Fig. 2: Stem number distribution on different degrees of needle-loss for the sample plots 601–612 in spruce stands in the forest district Fichtelberg (left) and for the sample plots 70–75 in pine stands in the forest district Selb (right).

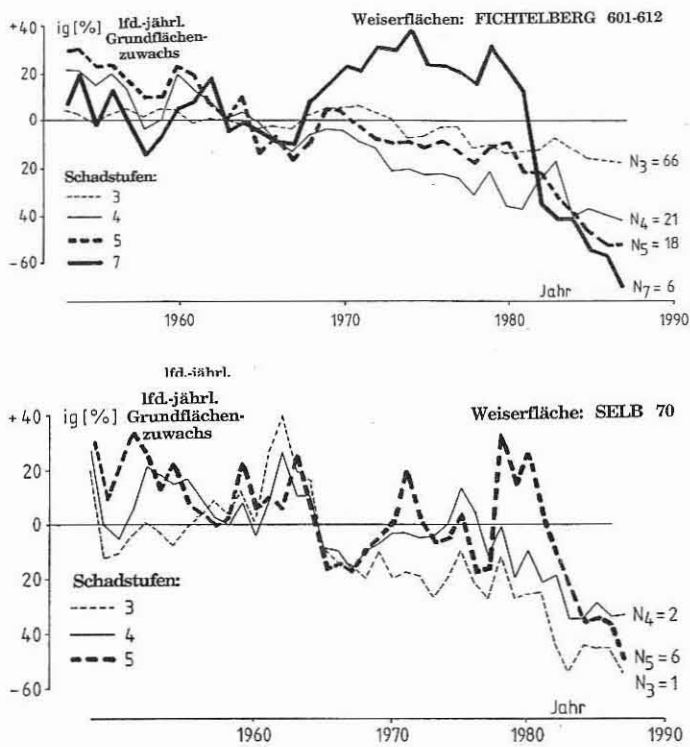


Abb. 3: Zuwachtsdiagnose auf der Grundlage des Zuwachstrend-Verfahrens für eine Reihe von Fichten-Weiserflächen im Forstamt Fichtelberg – Weiserflächen 601–612 – (oben) und eine Kiefern-Weiserfläche im Forstamt Selb – Probestfläche 70 – (unten). Für Bäume unterschiedlicher Schädigungsgrade (Schadstufen 3 bis 7) sind die prozentualen Abweichungen von der Referenzkurve (0-Linie) dargestellt.

Fig. 3: Analysis of increment curves in damaged stands by the increment-trend method: sample plots 601–612 in spruce stands in the forest district of Fichtelberg (upper), sample plot 70 in pine stands in the forest district of Selb (lower). For trees with different degrees of needle-losses (degrees of damage 3 to 7) the mean percental deviation to the basal area increment from the reference curve (0-line) is plotted.

Referenzkurve lagen. In den Folgejahren sinken die Zuwachskurven zunehmend unter das Referenzniveau ab; es besteht aber nicht in allen Fällen ein straffer Zusammenhang zwischen der Schadstufe und der Zuwachsminderung. Außer dem mittleren Zuwachsverlauf für Teilkollektive mit unterschiedlicher Schädigung und den Zuwachsverlusten für den Gesamtbestand lassen sich – wie oben dargestellt – mit dem Zuwachstrend-Verfahren auch die Zuwachseinbußen für Einzelbäume ableiten. Abbildung 4 enthält die Mittelwerte und Standardfehler der Grundflächenzuwachsverluste für die Bäume unterschiedlicher Schädigungsgrade (Schadstufe 0, d. h. Nadelverluste 0 bis 9 Prozent; Schadstufe 1, d. h. Nadelverluste 10 bis 19 Prozent usw.). In den betrachteten Untersuchungsbeständen steigen die Zuwachsverluste mit zunehmender Schädigung tendenziell an, und bei Nadelverlusten von 50 Prozent unterschreiten sie die Referenzentwicklung um 30 bis 50 Prozent. In den höheren Schadstufen ist die Aussagekraft der Mittelwerte aufgrund der geringen Besetzung eingeschränkt.

#### 4. Ausblick

Die nach dem Zuwachstrend-Verfahren hergeleiteten Zuwachsverluste auf den Weiserflächen bilden die Grundlage für Modellansätze zur Quantifizierung schadbedingter Zuwachsminderungen in bayerischen Waldschadensgebieten, wie sie von FRANZ (1986) in einem ersten Entwurf formuliert wurden. Aus den Ergebnissen der Zuwachtsdiagnose auf den Weiserflächen können folgende Aussagen über das Schadverhalten abgeleitet werden, die bei der Formulierung von Schätzansätzen zu berücksichtigen sind:

– Der Schadgrad und die krankheitsbedingten Zuwachsreaktionen auf den Beobachtungsflächen lassen klare regionale Unterschiede erkennen.

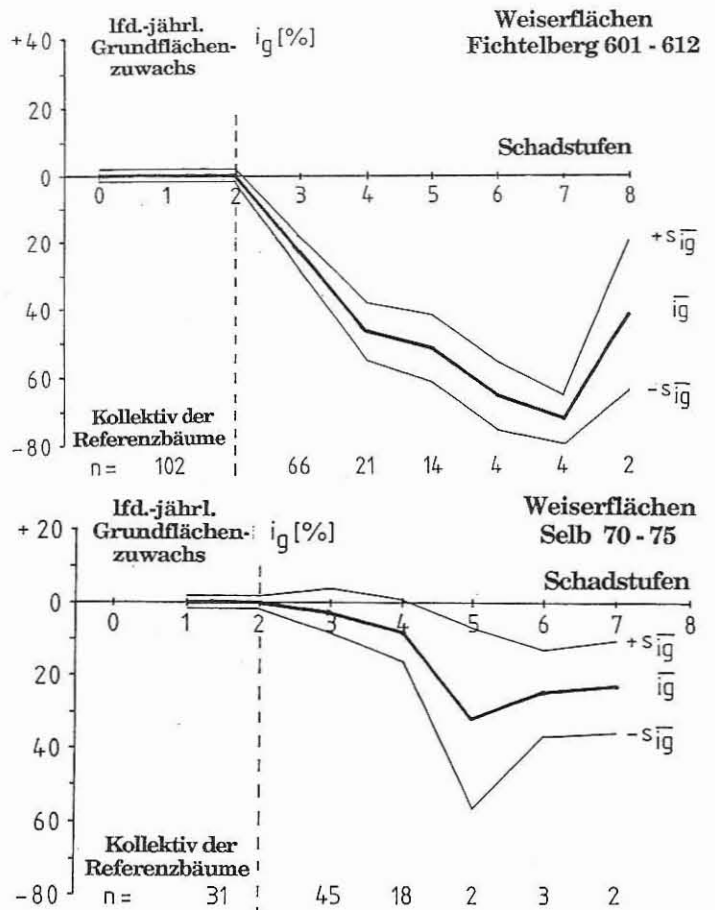


Abb. 4: Mittelwerte und Standardfehler der Zuwachsverluste (prozentuale Abweichungen des lfd.-jähr. Grundflächenzuwachses von der Referenzlinie) für den Zeitraum 1983 bis 1987. Nach dem Zuwachstrendverfahren errechnete Zuwachsverluste für die Fichten-Weiserflächen 601 bis 612 im Forstamt Fichtelberg und die Kiefern-Weiserflächen 70 bis 75 im Forstamt Selb.

Fig. 4: Mean and standard error of the increment loss (percental deviation of the annual increment of basal area from the reference level) for the period 1983 to 1987. Results for sample plots in spruce stands in the forest district of Fichtelberg and for sample plots in pine stands in the forest district Selb calculated on the basis of the increment-trend-method.

- In den meisten Schadregionen besteht ein tendenzieller Zusammenhang zwischen der Schadstufe (Höhe der Nadelverluste) und den Zuwachseinbußen; mit zunehmender Schädigung wird der Zusammenhang straffer.
- Gleiche Nadelverluste können in verschiedenen Schadregionen unterschiedliche Zuwachsverluste nach sich ziehen.
- Die Relation zwischen Nadelverlusten und Zuwachsverlusten verändert sich in den verschiedenen Beobachtungsjahren nur geringfügig und ist weitgehend unabhängig vom Kalenderjahr.
- Der Zusammenhang zwischen Nadelverlust und Zuwachseinbußen entspricht in den meisten Fällen einer Dosis-Wirkungsbeziehung (vgl. FRANZ, 1986): Bei leichten Nadelverlusten sind nur geringfügige Zuwachseinbußen festzustellen, bei mittleren Schadgraden steigen die Zuwachsverluste mit Abnahme der Benadelung stark an. Bei sehr hohen Nadelverlusten gehen die Zuwächse völlig zurück, und die Häufigkeit schadbedingter Stammabgänge nimmt zu.

#### 5. Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Zuwachsleistung auf den Fichten- und Kiefernbeobachtungsflächen in den bayerischen Waldschadensregionen werden die Zuwachsgänge geschädigter Bäume mit Referenzentwicklungen verglichen, die aus den Zuwachsgrößen ungeschädigter und leicht geschädigter Bäume (Nadelverluste 0 bis 29 Prozent) der zu beurteilenden Bestände abgeleitet werden.

Unter der Annahme, daß ohne Schadeinwirkung der Zuwachstrend der geschädigten und ungeschädigten Bäume eines Bestandes – unabhängig von deren absolutem Zuwachsniveau – heute annähernd gleichlaufend wäre, lassen sich aus den Trendabweichungen zwischen geschädigten und ungeschädigten Bäumen schadbedingte Zuwachseinbußen ableiten. Das Verfahren berücksichtigt den Tatbestand, daß auch in ungeschädigten Beständen aufgrund der natürlichen Differenzierung Kronenverlichtungen festzustellen sind und impliziert, daß die Zuwachskurven der Teilkollektive eventuell schon vor Eintritt der Schädigung auf einem unterschiedlichen Niveau lagen. Es erlaubt Aussagen über die schadbedingten Zuwachseinbußen an Einzelbäumen und Baumkollektiven; ferner lassen sich damit flächenbezogene Zuwachsminderungen abschätzen. Die Besonderheiten des vorgestellten Referenzverhaltens werden diskutiert. Für zwei Flächenserien aus dem Fichten- und Kiefern-Weiserflächennetz werden die Resultate der Zuwachsdia­gnose vorgestellt. Die Befunddaten aus der Zuwachsanalyse bilden die Grundlage für Schätzansätze zur Quantifizierung krankheitsbedingter Zuwach­änderungen.

#### 6. Summary

**Title of the paper: On the "Increment-trend method" for the estimation of the increment loss on experimental plots of spruce and pine in the Bavarian forest-damage-regions**

To judge the increment development on experimental plots of spruce and pine in the Bavarian forest-damage-regions the increment-trend of damaged trees is compared with the reference development, which is derived from undamaged and slightly damaged trees (loss of needles from 0 to 29 percent).

On the assumption that the increment-trend of damaged and undamaged trees – regardless of their absolute increment level – would be similar in present, the increment loss can be derived from the deviation of trends between damaged and undamaged trees. The method considers, that also in undamaged stands loss of needle-mass due to natural differentiation are ascertainable and also includes that the increment curves of the subcollective might have been on a different level before the damage occurred. By this method statements can be made about the increment losses due to forest damages on single trees or for whole stands. The special characteristics and qualities of the presented reference method are discussed and the results of increment diagnosis are demonstrated for two series of experimental plots within the grid of spruce and pine sample plots. The data from the increment analysis forms the basis for the verification of estimation functions to quantify increment changes due to forest-damage.

#### Literatur

- ABETZ, P. (1984): Forstliche Anamnese (FOA) und Referenzkurven für den Durchmesserzuwachs von Z-Bäumen. Jahrestagung 1984 der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Neustadt/Weinstraße, Tagungsbericht, S. 10/1–10/14. – ATHARI, S., und H. KRAMER (1983): Erfassen des Holzzuwachses als Bioindikator beim Fichtensterben. Allgem. Forst-Zeitschr., 38. Jg., Heft 30, S. 767–769. – DONG, P. H., und H. KRAMER (1985): Beziehungen zwischen Zuwachs und Kronenparametern in immissionsgeschädigten Nadelholzbeständen. Jahrestagung 1985 der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Kälberbronn im Schwarzwald, Tagungsbericht, S. 15/1–15/25. – DVFFA (1988): Empfehlungen zur ertragskundlichen Aufnahme- und Auswertungsmethodik für den Themenkomplex „Waldschäden und Zuwachs“. Allgem. Forst- u. Jagdztg., 159. Jg., Heft 7, S. 115–116. – FRANZ, F. (1983): Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. Forstw. Cbl., 102. Jg., S. 186–200. – FRANZ, F., und T. PREUSSLER (1983): Zuwachstrendanalyse geschädigter Fichtenbestände in Bayern. Anweisung zur Flächenanlage und -aufnahme, unveröff. Manuskriptdruck, 3 S. – FRANZ, F. (1986): Forschungsprojekte zur Untersuchung der Auswirkungen der neuartigen Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung der Waldbestände in Bayern. Referat a. d. Querschnittseminar des BMFT in Göttingen, 22 S., Manuskriptdruck, unveröff. – FRANZ, F., H. PRETZSCH und H. RÖHLE (1987): Walderkrankung und Zuwachs, Fichte-, Buche- und Kiefer-Beobachtungsflächen in Bayern. Allgem. Forst-Zeitschr., 42. Jg., Heft 12, S. 307–308. – FRANZ, F., und H. PRETZSCH (1989): Zuwachsverhalten und Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf. Forstl. Forschungsberichte München, Band 92, in Druck. – LUX, H. (1965): Ergebnisse von Zuwachsuntersuchungen (Bohrspananalysen) im Rauchschadensgebiet Dübener Heide. Archiv f. Forstwesen, 14. Jg., S. 1103–1121. – PELZ, E., H. PRESSLER und B. NAUMANN (1973): Beitrag zum forstlichen Zustandsvergleich und zur Prognose der Entwicklung rauchgeschädigter Bestände, Beiträge für die Forstwirtschaft, 7. Jg., Heft 1, S. 1–6. – POLLANSCHÜTZ, J. (1975): Zuwachsuntersuchungen als Hilfsmittel der Diagnose und Beweissicherung bei Forstschäden durch Luftverunreinigungen. Allgem. Forstzeitung, 86. Jg., S. 187–192. – PRETZSCH, H. (1987): Zur Frage des „Normalwachstums“ der Kiefer in der Oberpfalz, Forst- und Holzwirt, 42. Jg., Heft 11, S. 286–293. – ders. (1989): Zur Zuwachs-Reaktionskinetik der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf in der Oberpfalz. Allgem. Forst. u. Jagdztg., 160. Jg., in Druck. – RÖHLE, H. (1987): Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluß der neuartigen Walderkrankungen. Forstl. Forschungsberichte München, Band 83, 122 S. – SCHÖPFER, W., und J. HRADETZKY (1986): Zuwachsrückgang in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen – Auswertungsmethoden und Ergebnisse. Forstw. Cbl., 105. Jg., S. 446–470. – SCHÖPFER, W. (1987): Zur Problematik eines großräumigen Zuwachsrückgangs in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen Südwestdeutschlands. Jahrestagung 1987 der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Heiligkreuztal, Tagungsbericht. – UTSCHIG, H. (1988): Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. Auswertung der Zuwachstrendanalyseflächen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde für die Fichte (*Picea abies* KARST) in Bayern. Dissertation am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, 182 S.

Verfasser: Dr. Hans PRETZSCH und Dr. Heinz UTSCHIG, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Universität München, Amalienstraße 52, D-8000 München 40.