

## Waldwachstum im Wandel\*

### Changes in Forest Growth

Von H. PRETZSCH

#### Zusammenfassung

Der langfristige Wachstumsgang eignet sich als Indikator für Veränderungen in Waldökosystemen. Er kann aus langfristigen ertragskundlichen Versuchsflächen, Bohrkernanalysen und Wiederholungsinventuren abgeleitet werden. Aus solchen Daten lassen sich durch Ertragstafelvergleich, die Methode des konstanten Alters, den Generationenvergleich und die Auswertung von Folgeinventuren Wachstumsveränderungen diagnostizieren. Demnach steigen die Zuwächse unserer Waldbestände seit mehreren Jahrzehnten mit großregionaler Ausprägung beträchtlich an. Die festgestellten Mehrzuwächse im Vergleich zu den gängigen Ertragstafeln von 12 bis 43 % unterstreichen die Mängel der zugrundeliegenden Ertragstafeln und liefern Indizien für einen langfristigen Wachstumstrend. Die für die Nordhemisphäre nachgewiesene Temperaturerhöhung und Verlängerung der Vegetationszeit bieten eine wahrscheinliche Erklärung für den großregionalen Zuwachsanstieg. Das Ausmaß der Zuwachsreaktion ist von der artspezifischen ökologischen Amplitude abhängig und wird durch lokal und regional wirksame Einflussfaktoren, etwa lokale Standortbedingungen, Stoffeinträge und biotische Stressoren überprägt. Diese Überprägung erbringt eine Vielfalt von Zuwachsreaktionsmustern und positive wie negative Abweichungen vom erwarteten alterstypischen Zuwachsgang. Sie liefert einen Erklärungsansatz für den zunächst paradox erscheinenden Befund, daß geradezu hypertrophes Wachstum, Zuwachsrückgänge und Bestandesauflösungen zeitgleich nebeneinander auftreten können. Auf einen solchen Wandel der Wuchsbedingungen müssen Forstwissenschaft und Forstwirtschaft mit der Entwicklung bzw. mit dem praktischen Einsatz von standortsensitiven Wuchsmodellen reagieren. Denn diese ermöglichen es, auch künftig waldbauliche Entscheidungen auf eine zahlenmäßige Grundlage zu stützen.

**Schlüsselwörter:** Wachstumstrend, Zuwachsanstieg, Zuwachsrückgang, Klimaveränderungen, lokale Standortveränderungen, standortsensitive Wuchsmodelle

#### Summary

The forest growth curves over a long period of time are suitable indicators for changes in forest ecosystems. Hence, the investigation of growth trends is based on the analysis of long-term yield figures on experimental plots, increment cores and consecutive inventories. Growth changes may be diagnosed from these data, together with yield table comparisons, constant age method, comparison of generations and the evaluation of consecutive inventories. It has been found that increments in forest stands, considered on a supra-regional scale, are showing a considerable upward trend over the past few decades. For the past two decades repeated forest inventories in Bavaria have diagnosed an increase of 10–20 % in standing volume and show that species-specific annual volume increment exceeds yield tables by 12 to 43 %. In the Northern hemisphere the uncontested rise in temperature and prolongation of the vegetation period offer a probable explanation for supra-regional increment increase. This increase is overlaid by various factors with local and regional impacts such as local site conditions, nutrient inputs and biotic stress factors. This superimposition brings about a great variety of increment reaction patterns and positive as well as negative deviations from the expected increment curve for typical age classes. It also provides an approach towards explaining the paradox that downright hypertrophic growth, increment decreases and stand dissolutions may occur side by side and at the same time. Forest research and forest management need to react to these changes in growth conditions by developing and applying site-dependent growth models, for it is through these means that future silvicultural decisions may be put on a reliable basis of actual figures.

**Key words:** Growth trend, increase and decrease of increment, climate change, local site factors, site dependent growth models

\* Vortrag am 9. 11. 1998 anlässlich der Forstlichen Hochschulwoche 1998 in Freising/Weihenstephan

U.S. Copyright Clearance Center Code Statement: 0015–8003/99/11804–0228 \$11.00/0

## 1 Wachstumsgang von Bäumen und Beständen als Bioindikator

Veränderungen in Waldökosystemen können auf verschiedenen Prozeß- und Strukturebenen untersucht werden, die in der Zeitskala von Sekunden bis Jahrtausenden und in der Raumskala von Zelloberflächen bis zu Kontinenten reichen. Auf den verschiedenen Ebenen können sich die Prozesse in Waldökosystemen in Mustern äußern, wie beispielsweise dem Pufferbereich der Bodenlösung, der Kohlenstoff-Allokation, dem Verzweigungsmuster und dem Belaubungszustand der Krone. Solche Muster können im Rahmen der ökologischen Dauerbeobachtung für die Analyse und Beurteilung des Verhaltens von Ökosystemen und für die Diagnose von Störungen herangezogen werden (ULRICH 1993). Bekanntes Beispiel hierfür ist der Blatt- bzw. Nadelverlust, der ein unspezifischer Indikator für den Vitalitätszustand von Waldbäumen ist, aber alljährlich im Rahmen von Inventuren erfaßt und von umweltpolitischen Entscheidungsträgern argumentativ genutzt wird (BMELF 1999). Im Vergleich zu biochemischen, ökophysiologischen oder verzweigungsmorphologischen Mustern stellt der Stammzuwachs eine aggregierte und robuste Indikatorgröße für das Systemverhalten dar. Störungen auf hochauflösenden Ebenen wirken nicht unbedingt bis auf höhere Aggregationsebenen, weil sie in gewissem Umfang durch Rückkopplungsprozesse abgepuffert werden können. Schlägen Störeffekte aber längerfristig bis in höhere Aggregationsstufen durch, etwa bis zur Belaubungsdichte oder Zuwachsbildung, so dürfen dahinter grundlegende Veränderungen der Wachstumsprozesse vermutet werden. So gesehen bildet der Zuwachs einen unspezifischen aber stabilen Indikator für einen Wandel des Waldwachstums. Andersherum bedeutet dies, daß von einem normal erscheinenden Zuwachsgang nicht immer auf ein unbeeinträchtigt Systemverhalten geschlossen werden darf.

Die vorliegende Untersuchung behandelt, ob und in welchem Ausmaß sich das Wachstum der Hauptbaumarten auf lokaler, regionaler und globaler Ebene in den letzten Jahrzehnten verändert hat. Während in den zurückliegenden Jahren die Darstellung von Einzelbefunden überwog (u. a. ELLING 1993, KENK et al. 1991, PRETZSCH 1985, RÖHLE 1994, UTSCHIG 1989, WEISE 1991), wird für süddeutsche Wälder erstmals die angesammelte Datenbasis verdichtet und in einen Zusammenhang gestellt. Bei der Beurteilung aktueller Wachstumsverläufe können wir uns auf langfristige Zuwachsmessungen auf Versuchsflächen stützen, die ins vergangene Jahrhundert zurückreichen und Zeitreihen liefern, die in dieser Länge für keine andere Zustandsgröße von Waldökosystemen vorliegen. Indem der Zuwachs auch retrospektiv mit Hilfe von Bohrkernen und Stammanalysen ermittelt werden kann, ist er eine äußerst operable Indikatorgröße für den Wandel in Waldökosystemen (KAUPPI et al. 1992, SPIECKER et al. 1996).

## 2 Material

Die folgende Übersicht verdeutlicht, daß sich die Aussagen zum Wachstumstrend der Hauptbaumarten nicht auf singuläre Befunde, sondern auf eine breite Datenbasis stützen, die hier nur auszugsweise vermittelt werden kann. In seiner ganzen Breite wird das Datenmaterial u. a. in den Untersuchungen von FOERSTER und BÖSWALD (1995), PRETZSCH (1985, 1987, 1989, 1996), PRETZSCH und UTSCHIG (1998), RÖHLE (1987, 1994, 1997), UTSCHIG (1989) und POTT (1997) dargestellt. Im einzelnen werden folgende Datenquellen einbezogen:

1. 71 Fichtenversuchsflächen mit 374 Parzellen, 23 Kiefernversuchsflächen mit 144 Parzellen, 18 Buchenversuchsflächen mit 78 Parzellen und 12 Eichenversuchsflächen mit 29 Parzellen des Münchner Lehrstuhls für Waldwachstumskunde, die überwiegend im süddeutschen Raum liegen und von denen die ältesten seit Ende des letzten Jahrhunderts unter Beobachtung stehen.

2. Wuchsreihen in Mischbeständen aus Fichte/Buche (15 Parzellen), Kiefer/Buche (12 Parzellen), Kiefer/Fichte (6 Parzellen), Eiche/Buche (19 Parzellen), Fichte/Tanne/Buche (6 Parzellen) und Buche/Edellaubholz (6 Parzellen) sowie einmalig aufgenommene Probeflächen in Fichten-, Kiefern- und Buchenreinbeständen (240, 54 bzw. 30 Parzellen). Von diesen Wuchsreihen und Probeflächen stehen neben den Zustandsaufnahmen umfangreiche Bohrkernanalysen zur Verfügung.
3. Stammanalysen neueren Datums an über 100 Fichten und 30 Kiefern, an denen ergänzend Triebblängenrückmessungen erfolgten.
4. Für das Bundesland Bayern Daten der Großrauminventur 1970/71 und der Bundeswaldinventur I im Jahre 1987, aus denen der Zuwachs der Hauptbaumarten in den siebziger und achtziger Jahren errechnet werden kann. Wichtige Aussagen zum Wachstum von Fichtenreinbeständen erlauben ferner 24 648 Bestandesaufnahmen aus Winkelzählproben und festen Probenkreisen im Rahmen der Bayerischen Forsteinrichtung.
5. Weiter wird Bezug auf Waldwachstumsuntersuchungen von ELLING (vgl. KLEINER und ROHRBACHER 1994), KAUPPI et al. (1992), KENK et al. (1991) und MYNENI et al. (1997) genommen.

### 3 Methoden zur Diagnose von Wachstumsstörungen

Zur Analyse von Zuwachs- und Wachstumsgängen bieten sich vier Verfahrensgruppen an:

1. Der Vergleich gegebener Zeitreihen mit Modellen.
2. Der Vergleich des Entwicklungsganges ungestörter und gestörter Bäume und Bestände.
3. Der Vergleich mit historischen Zeitreihen und
4. Die dendroklimatologische Zeitreihenanalyse, bei der Zuwachszeitreihen u. a. in die Determinanten Alter, Klima und Störeffekte zerlegt werden.

Im Folgenden kommen die Verfahrensgruppen 1 bis 3 zur Anwendung; die dendroklimatologische Zeitreihenanalyse (COOK 1985, SCHWEINGRUBER 1983) ist hier nur der Vollständigkeit halber genannt.

#### 3.1 Vergleich gegebener Zeitreihen mit Modellen

Zur Beurteilung des Fichtenwachstums in Bayern wird als Modellvorstellung u. a. die Stand Density Rule eingesetzt. Die Stand Density Rule von REINEKE (1933) erklärt die gesetzmäßige Abnahme der Stammzahl  $N$  mit Zunahme des Mitteldurchmessers  $dg$  über die Formel

$$\ln N = \ln a + b \cdot \ln dg.$$

$\ln N$  = logarithmierte Stammzahl pro ha

$\ln dg$  = logarithmierter Durchmesser des Grundflächenmittelstammes in cm

$\ln a, b$  = Höhenlage und Steigung der Ausgleichsgeraden

Eine solche Stammzahlabnahme wäre im Fall der Selbstdifferenzierung, wie sie auf Versuchsflächen, die nach dem A-Grad behandelt wurden, abläuft, zu erwarten. Während der Steigungskoeffizient dieser Abnahme  $b = -1.605$  Allgemeingültigkeit besitzt, ist die Höhenlage der Geraden  $a$  von den Standortbedingungen abhängig und beschreibt die standortspezifische maximale Dichte. Verändert sich auf nach dem A-Grad behandelten Versuchsflächen das Niveau  $a$  der Stammzahlabnahme und damit die potentielle Dichte, so deutet das auf standörtliche Veränderungen hin.

Mit Hilfe von Ertragstafelmodellen läßt sich beispielsweise prüfen, ob das absolute Niveau und der Altersgang von Zuwachs oder Wachstum mit den empirischen Befunden in einer zurückliegenden Phase der Modellkonstruktion übereinstimmen, oder ob und ab

wann Trendänderungen des Wachstums auftreten (Abb. 1, 3 u. 5). Ein solcher Vergleich erlaubt aber keine Rückschlüsse auf die Ursachen für eventuelle Abweichungen zwischen wirklichem und erwartetem Entwicklungsgang von Bäumen oder Beständen (PRETZSCH 1987, RÖHLE 1997).

### 3.2 Vergleich mit dem Entwicklungsgang ungestörter Baumkollektive

Beim Zuwachstrend-Verfahren wird die Referenz aus unbeeinträchtigten Nachbarbäumen oder -beständen abgeleitet. Der Zuwachsgang verlichteter Bestandesglieder wird mit dem Wachstum ungeschädigter Bäume desselben Bestandes (Nadel- bzw. Blattverluste < 30 %) verglichen. Die Referenz, an der der Zuwachsgang geschädigter Bestandesglieder gemessen wird, ergibt sich aus dem zu beurteilenden Bestand selbst. Die jährlichen Zuwachswerte der geschädigten Bäume werden in dem Rechengang zweifach prozentuiert, erstens um die a priori vorhandenen Niveauunterschiede zwischen den Gruppen (geschädigte Bäume/ Referenzkollektiv) zu eliminieren, und zweitens um die tendenziellen Abweichungen der geschädigten Bäume vom Referenzkollektiv auszudrücken (PRETZSCH und UTSCHIG 1989). Um solche Niveauunterschiede zwischen den Kurven zu eliminieren, die in einer Referenzperiode vor Eintritt der Schädigung bestanden, werden die prozentualen Abweichungen der jährlichen Zuwachswerte vom gruppeneigenen Referenzniveau berechnet.

$$\bar{r}_{\%j} = \frac{\bar{r}_j}{\bar{r}_{REF}} * 100$$

$$\bar{b}_{\%j} = \frac{\bar{b}_j}{\bar{b}_{REF}} * 100$$

- $\bar{r}_{\%j}, \bar{b}_{\%j}$  = prozentuale Zuwachsabweichung der Referenzbäume bzw. der zu beurteilenden Bäume im Jahr j vom gruppeneigenen Referenzniveau  
 $\bar{r}_j, \bar{b}_j$  = mittlerer Grundflächenzuwachs der Referenzbäume bzw. der zu beurteilenden Bäume im Jahr j  
 $\bar{r}_{REF}, \bar{b}_{REF}$  = mittlerer Grundflächenzuwachs der Referenzbäume bzw. der zu beurteilenden Bäume in der Referenzperiode j = a ... e (hier 1959 bis 1968)

In dem folgenden Schritt wird der Zuwachstrend der Referenzbäume als „normal“ betrachtet und die mittlere prozentische Zuwachsminderung der geschädigten in Relation zu den ungeschädigten Bäumen berechnet.

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

- $\bar{b}_{MINj}$  = mittlere Zuwachsminderung der zu beurteilenden Bäume gegenüber der Referenzkurve im Jahr j in Prozent.

### 3.3 Vergleich mit historischen Zeitreihen

Bei der Methode des konstanten Alters (MIELIKÄINEN und TIMONEN 1996), dem Vergleich von Vor- und Folgegeneration auf gleichem Standort (WIEDEMANN 1923, KENK et al. 1991) und der Auswertung von Inventuren (KAUPPI et al. 1992) handelt es sich um einfache Vergleiche zwischen zeitlich nacheinander oder räumlich nebeneinander aufgezeichneten

Zuwachsmustern (Abb. 7, 8, 13 und Tab. 1). Damit ermöglichen diese Verfahren die Diagnose langfristiger und großregional ausgeprägter Wachstumstrends, wie sie durch Klimaänderungen, Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Luft oder anthropogen bedingte Stickstoffeinträge ausgelöst werden können. Fehlen echte Zeitreihen aus Wiederholungsinventuren, so bleibt die Möglichkeit aus einmaligen Inventuren unechte Zeitreihen zu bilden (Abb. 14) und aus diesen weitere Informationen über Wachstumsstörungen zu erschließen (POTT 1997).

Die Methode des konstanten Alters prüft, ob, und in welchem Ausmaß, sich das alters-typische Wuchsverhalten innerhalb eines gegebenen Kalenderzeitraumes verändert hat. So kann beispielsweise geprüft werden, ob der Durchmesserzuwachs 30-, 50- oder 70jähriger Fichten in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts auf ähnlichem Niveau wie in der zweiten Hälfte lag, oder sich in diesem Zeitraum Veränderungen ergaben. Hierfür wird den Zuwachswerten in dem betrachteten Kalenderzeitraum neben den Kalenderjahren auch das jeweilige Alter zugeordnet, so daß das Altersspektrum der erfaßten Jahrringe über dem Kalenderjahr dargestellt werden kann (Abb. 7). Der mit Zuwachsmessungen abgedeckte Altersbereich wird dann in 10jährige Altersklassen, hier von 20–29, 30–39, 40–49 und 50–59 Jahren, eingeteilt. Für jedes Kalenderjahr 1914 bis 1995 kann dann der mittlere Zuwachs in den vertretenen Altersklassen berechnet werden. Ein Ausgleich der mittleren Zuwächse in den Altersklassen durch Geraden macht etwaige Zuwachstrends sichtbar (Abb. 8). Das Verfahren ermöglicht eine Datierung von Trendwenden, eine Quantifizierung der Zuwachsveränderung gegenüber dem langfristigen Niveau und eine Aussage darüber, wie Bäume unterschiedlicher Alter die Trendänderung vollziehen.

## 4 Veränderungen des Waldwachstums auf regionaler und globaler Ebene

### 4.1 Regionaltypische Zuwachsmuster

#### Kiefer

Seit den 60er Jahren weichen die Höhenwachstumsverläufe in den ausgedehnten bayerischen Kieferngebietern in der Oberpfalz und in Franken in vielen Beständen signifikant von den Erwartungswerten der Ertragstafel ab (Abb. 1). Gleiches gilt auch für Mitteldurchmesser, Bestandesgrundfläche und -volumen (SCHMIDT 1971, PRETZSCH 1985). Der Anstieg der Höhenwachstumsverläufe ist jedoch besonders augenfällig, da die im mittleren und höheren Alter zur Ausbildung von kuppelförmigen Kronen neigende Kiefer aufgrund des wiederauflebenden Höhenwachstums auf die Kuppelkronen kegelförmige Spitzen aufsetzt (Abb. 1, links). Die Anstiege im Grundflächen- und Volumenzuwachs

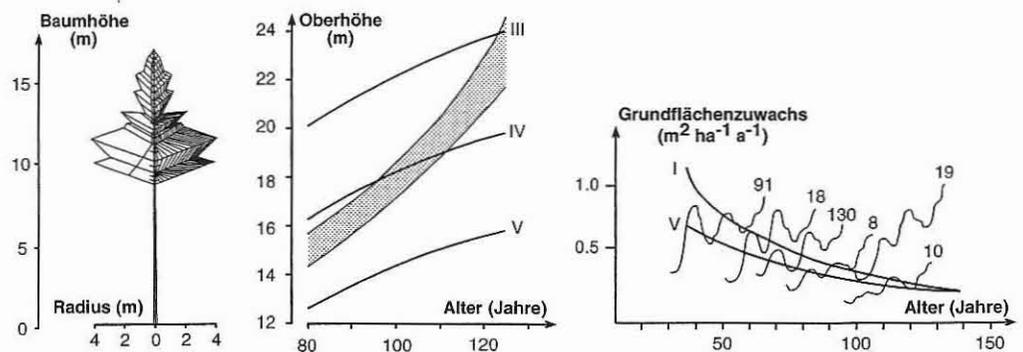


Abb. 1. Kronenformentwicklung, Höhenwachstumsverläufe und Grundflächenentwicklung auf Kiefern-Beobachtungsflächen in der Oberpfalz (nach PRETZSCH 1992).

Fig. 1. Crown shape development, height growth curves and basal area development on pine observation plots in the Oberpfalz (PRETZSCH 1992, modified).

auf Bestandesebene sind in Beständen aller Alter feststellbar und bei zuvor schlecht versorgten Standorten stärker ausgeprägt als auf besser versorgten. Im Vergleich zu den Erwartungswerten der Ertragstafel werden Zuwächse von 200 bis 250 % festgestellt.

In immissionsbelasteten Lagen diagnostizieren wir mit dem Zuwachstrend-Verfahren aber auch beträchtliche schadbedingte Zuwachsverluste (PRETZSCH 1989a). Abbildung 2 zeigt für oberfränkische Kiefernbestände den Zuwachsgang von Bäumen verschiedener Schadstufen in Relation zur Referenzentwicklung (0-Linie), die ungeschädigte Bäume aufweisen (Nadelverluste < 29 %). Demnach haben alle Teilkollektive – unabhängig vom heutigen Schädigungsgrad – in den ersten 75 % des betrachteten Wachstumszeitraumes etwa auf dem Niveau der Referenzkurve gelegen. In den Folgejahren sinken die Zuwachskurven von Bäumen mit Nadelverlusten zunehmend unter das Referenzniveau ab. Der Zusammenhang zwischen Nadelverlust und Zuwachsverlust kann in die Ableitung von Zuwachsverlustfunktionen münden (PRETZSCH 1989b, UTSCHIG 1989).

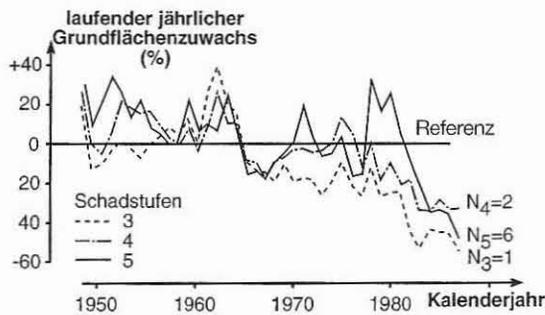


Abb. 2. Zuwachsentwicklung von  $N = 9$  geschädigten Kiefern im Forstamt Selb mit rückläufigem Trend seit den 70er Jahren (nach PRETZSCH und UTSCHIG 1989).

Fig. 2. Increment development of  $N = 9$  damaged pines, Forest District Selb, with downward trend since the 1970ies (PRETZSCH and UTSCHIG 1989, modified).

### Fichte

Die eigentliche Waldschadensdiskussion entzündete sich Mitte der 70er Jahre mit der Diagnose gravierender Schäden in Fichtenbeständen der deutschen Mittelgebirge. Abbildung 3 zeigt die in den achtziger Jahren von RÖHLE (1987) gemessenen Zuwachsverläufe geschädigter Bestände im Forstamt Bodenmais und läßt dort Zuwachsverluste im Vergleich zur Ertragstafel zwischen 10 und 30 % erkennen.

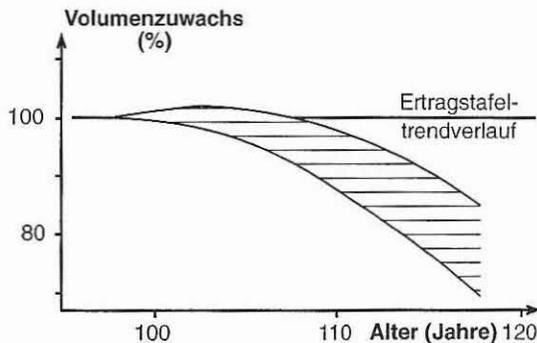


Abb. 3. Rückgang des Volumenzuwachses geschädigter Fichtenbestände im Forstamt Bodenmais im Vergleich zur Ertragstafel. In den 70er Jahren setzt ein signifikanter Zuwachsrückgang ein (nach RÖHLE 1987).

Fig. 3. Decrease in volume increment in damaged spruce stands, Forest District Bodenmais, in comparison with yield tables. Asignificant increment decrease started in the 1970ies (RÖHLE 1987, modified).

In den Folgejahren wurden über 50 Probestellen in nord- und ostbayerischen Fichtenbeständen Zuwachsanalytisch beprobt, so daß ein klares Bild über den Zuwachsverlauf der Fichte in dieser Region entstand: Der Vergleich zwischen dem Zuwachs geschädigter und ungeschädigter Fichten stützt sich auf über 500 Bäume, von denen mehr als 75 % Nadelverluste über 29 % aufwiesen. Er erbringt für verlichtete Exemplare klare Zuwachsverluste, die mit zunehmendem Nadelverlust ansteigen und bis zu 70 % betragen können

(Abb. 4). Der Zuwachsrückgang setzt überwiegend in den 70er Jahren ein und korreliert zumindest zeitlich mit dem Beginn der „Hochschornsteinpolitik“. Im nord- und ostbayerischen Raum sind die Zusammenhänge zwischen Nadelverlust und Zuwachsverlust so eng, daß sie sich regressionsanalytisch ausgleichen lassen und die Aufstellung von Zuwachsverlustfunktionen ermöglichen (UTSCHIG 1989).

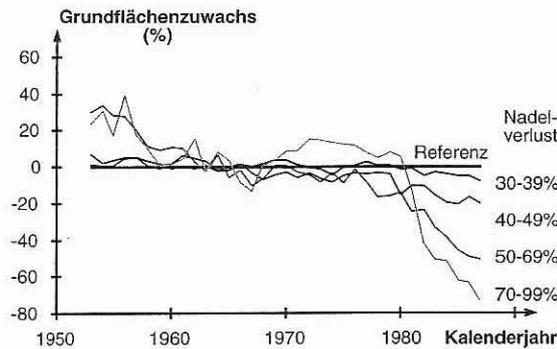


Abb. 4. Zuwachtsdiagnose auf der Grundlage des Zuwachstrend-Verfahrens für Fichten-Beobachtungsflächen in Nord- und Ostbayern (nach UTSCHIG 1989). Für Bäume unterschiedlicher Verlichtungsgrade (Nadelverluste 30–99%) sind die prozentualen Verluste des Grundflächenzuwachses dargestellt.

Fig. 4. Increment diagnosis, on the basis of the increment trend method, for spruce observation plots in north and east Bavaria (UTSCHIG 1989, modified). The percent decrease in basal area increment is shown for trees with varying degrees of needle loss (needle loss 30–99%).

Ein völlig anders gerichteter Trend ergibt sich für Fichtenbestände im Voralpenraum. Dieses Reaktionsmuster läßt sich sehr klar an neun langfristig beobachteten Fichten-Versuchsreihen mit insgesamt 27 Parzellen herausarbeiten, die vor mehr als 100 Jahren in den damaligen Forstämtern Denklingen, Eglharting, Ottobeuren und Sachsenried angelegt wurden. Im Umfeld dieser Versuchsflächen wurden zwischenzeitlich vier jüngere Fichtenversuchsflächen angelegt, die ebenfalls in die Untersuchung einbezogen werden. Die genannten Versuchsanlagen zählen zu den am besten dokumentierten Fichtenbeständen in Deutschland und wurden von RÖHLE (1995) mit Blick auf den aktuellen Wachstumstrend untersucht. Abbildung 5 zeigt den Verlauf des jährlichen Höhenwachstums (oben) seit Versuchsbeginn für alle in die Untersuchung einbezogenen Versuchspartellen. Dargestellt ist der wirkliche Zuwachsverlauf in Relation zu dem nach der Ertragstafel erwarteten Zuwachsgang (100%-Linie). Als Referenz-Ertragstafel wurde die Fichten-Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963) eingesetzt. Den Graphiken ist klar zu entnehmen, daß die Zuwächse auf allen Versuchsflächen bis in die 50er Jahre etwa auf dem Niveau der Ertragstafel lagen, um in den Folgejahren bis auf 300% des Tafelniveaus anzusteigen. Anstiege dieser Größenordnung können nicht durch veränderte Behandlung oder singuläre Ereignisse erklärt werden, vielmehr ist seit den 50er Jahren die Einwirkung zuwachssteigernder Einflußfaktoren zu vermuten.

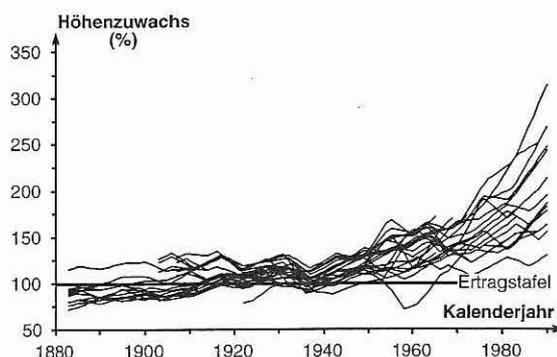


Abb. 5. Oberhöhenzuwachs auf 27 Fichten-Versuchspartellen in den Forstämtern Denklingen, Eglharting, Ottobeuren und Sachsenried von 1882 bis 1990 im Vergleich zur Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963). Darstellung nach RÖHLE (1997).

Fig. 5. Increment in height of dominant trees on 27 test plots in the Forest Districts Denklingen, Eglharting, Ottobeuren and Sachsenried in the period 1882 to 1990 in comparison with yield tables by ASSMANN and FRANZ (1963). Representation by RÖHLE (1997).

Dieser Zuwachsanstieg äußert sich deutlich in einer Veränderung der Relation zwischen Bestandesdichte und Zuwachs und legt eine Veränderung der Bestandesbehandlung nahe. Das Ausmaß dieser Veränderung zeigt Abbildung 6 am Beispiel von 22 Versuchsfeldern in den südwestbayerischen Wuchsbezirken 12.7, 13.4, 14.3, 14.4 (Forstämter Kempten, Kaufbeuren, Illertissen, Schwabmünchen, Schongau, Zusmarshausen, Laugna) von denen die ältesten Versuche seit 1882 unter Beobachtung stehen. Jeder Punkt repräsentiert einen Zuwachs/Dichte-Befund auf den über 100 Versuchspartzen, deren Pflegeregime vom A-Grad bis zu sehr starker Hochdurchforstung und fast solitärartiger Erziehung reicht. Die Befunde sind nach Beobachtungszeitpunkt (vor/nach 1960) und Bestandesalter (jünger/älter als 50 Jahre) stratifiziert.

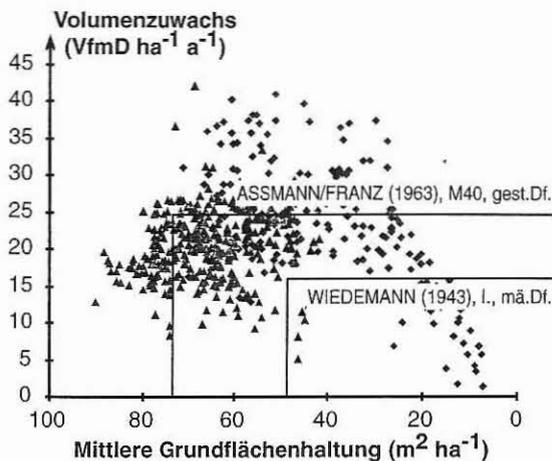


Abb. 6. Zusammenhang zwischen Grundflächenhaltung und Volumenzuwachs auf langfristigen Fichtenversuchsfeldern in Südbayern (nach PRETZSCH und UTSCHIG 1998). Schwarze Symbole repräsentieren Zuwachsbefunde vor 1960, graue Zuwachsbefunde nach 1960.

Fig. 6. Relationship between basal area and volume increment on long-term spruce test plots in south Bavaria (PRETZSCH and UTCHIG 1998, modified). Black symbols represent volume increment before 1960, grey symbols volume increment after 1960.

Zur Orientierung sind die maximalen Grundflächen und Volumenzuwächse der Fichten-Ertragstafeln von WIEDEMANN (1943), I. Bon., mä. Df. und ASSMANN und FRANZ (1963), M 40, gest. Df., eingetragen. Wir erkennen vor allem bei den Zuwachsbefunden nach 1960 in allen Altersbereichen ein beträchtliches Überschreiten des Zuwachs- und Grundflächenrahmens der Ertragstafeln. Die periodischen Volumenzuwächse erreichen bei mittlerer Dichte Spitzenwerte von 40–45 VfmD pro ha und Jahr und fallen erst bei starken bis sehr starken Eingriffen unter die oberen Rahmenwerte der Ertragstafel ab.

Zur weiteren Absicherung dieser Trendaussagen wurden u. a. auf den Standorteinheiten 51 und 52 im Wuchsbezirk „Oberbayerisches Tertiärhügelland 12.8“ 628 vorherrschende und herrschende Fichten mit der Methode des konstanten Alters untersucht. Es handelt sich einerseits um mäßig wechselfeuchten Lehm, der bodensystematisch als Pseudogley-Parabraunerden aus Löß über Molasse (Standorteinheit 51), andererseits um wechselfeuchten Lehm, der als podsolierte Pseudogleye aus Löß (Standorteinheit 52) zu klassifizieren ist. Die Beprobung stützt sich auf eine aus 6 Parzellen bestehende Wuchsreihe, die einen Altersrahmen von 35 bis 120 Jahren abdeckt und ein breites Altersspektrum bei der Probenahme gewährleistet. Die dort gewonnenen Zuwachszeitreihen reichen bis ins Jahr 1902 zurück. Sie decken im Jahr 1995 ein Durchmesserpektrum von 1.85–66.98 cm ab (Abb. 7). Den Zuwachswerten in dem dargestellten Zeit/Durchmesser-Fenster (Zeitraum 1914–1995, Durchmesserpektrum im Jahre 1995 18.57–547.80 mm) werden neben den Kalenderjahren auch ihr jeweiliges Alter zugeordnet, so daß das Altersspektrum der erfaßten Jahrringe über dem Kalenderjahr dargestellt werden kann (Abb. 7). Der mit Zuwachsmessungen abgedeckte Altersbereich wird in 10jährige Altersklassen eingeteilt, für welche sich dann der mittlere Zuwachs berechnen läßt. Ein Ausgleich der mittleren Zuwächse in den Altersklassen durch Geraden (Abb. 8) macht sichtbar, daß sich der Durchmesserzuwachs von Fichten in den betrachteten Altersklassen in diesem Jahrhundert verändert hat.

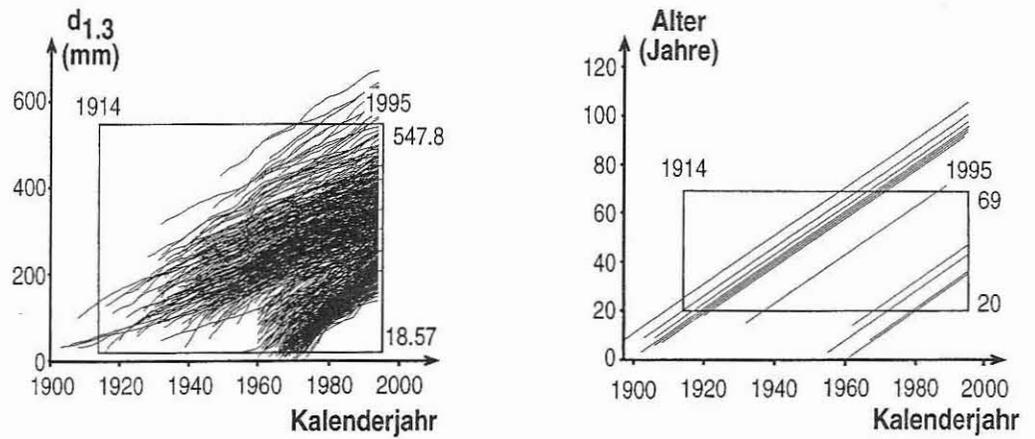


Abb. 7. Durchmesserentwicklung und Altersspektrum der Fichten auf den Parzellen 1–6 von Wuchsreihe 813 im Forstamt Freising. Das eingezeichnete Fenster zeigt das Durchmesserspektrum und die Kalenderjahre, die in die Trendanalyse einbezogen wurden (links). Für den Wachstumszeitraum 1914 bis 1995 decken die Probenahmen ein Altersspektrum von 20 bis 69 Jahren ab, das für die weitere Analyse in 10jährige Altersklassen eingeteilt wird (rechts).

Fig. 7. Diameter development and age spectrum of spruce on sub-plots 1 to 6 of growth series 813 in the Forest District Freising. The window-frame shows the diameter spectrum and calendar years included in the trend analysis (left). For the growth period 1914 to 1995 the samples cover an age spectrum of 20 to 69 years, broken down for further analysis into 10 years age classes (right).

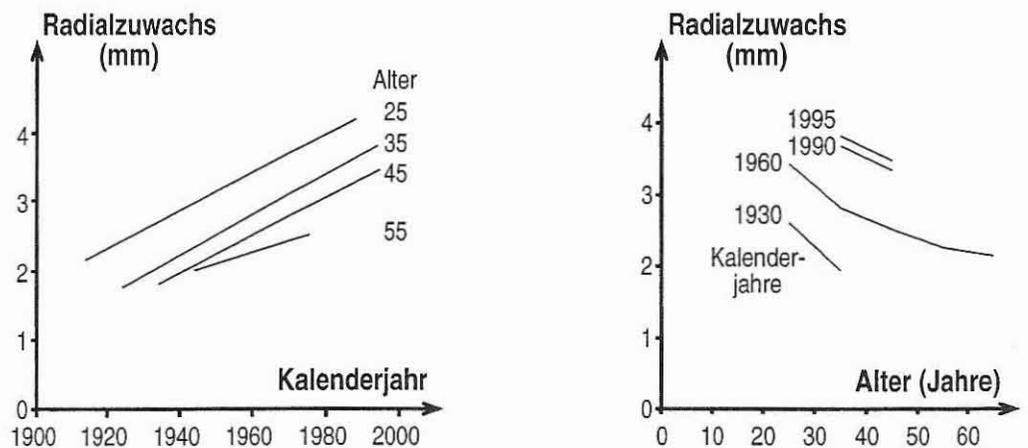


Abb. 8. Trend des Radialzuwachses in den vier betrachteten Altersklassen in dem mit Zuwachsmessungen abgedeckten Wachstumszeitraum. Der in allen Altersklassen feststellbare Zuwachsanstieg ist in jüngeren Beständen deutlich stärker ausgeprägt als in älteren (links). Für den Zeitraum 1930–1995 konstatieren wir eine beträchtliche Erhöhung und Rhythmusverschiebung der Altersentwicklung (rechts).

Fig. 8. Trend in the radial increment of the four age classes under consideration within the growth period for which increment measurements were evaluated. The increase in increment noted for all age classes is much more pronounced in younger than in older ones (left). For the period 1930 to 1995 a considerable increase and shifting in rhythm in radial increment is noticeable (right).

Demnach bildeten 25jährige Fichten im Jahre 1920 im Mittel 2.2 mm Radialzuwachs, während gleichalte Bäume heute mit über 4 mm das Doppelte an Radialzuwachs im Jahr erbringen. Dieser langfristige Zuwachsanstieg ist in allen Altersklassen zu verzeichnen, bei jungen Bäumen aber stärker ausgeprägt als bei älteren. Werden die Radialzuwächse über

dem Alter aufgetragen, so zeigen sich die in Abbildung 8 für ausgewählte Kalenderjahre dargestellten Veränderungen im Durchmesserzuwachs. Auf gleichem Standort und bei gleicher Bestandesbehandlung haben sich Niveau und Rhythmus des Durchmesserzuwachses verändert und deuten auf die Einwirkung von Einflußfaktoren hin, die sich in Beständen aller Alter abzeichnen. Angesichts der Stärke und zeitlichen Dauer des aus Abbildung 8 ersichtlichen Zuwachsanstiegs der Fichte, den wir mit diesem Verfahren auf der Mehrzahl der Wuchsreihen im süddeutschen Raum nachweisen können, scheiden Veränderungen in der Waldpflege als alleinige Ursache aus.

### Tanne

Die Kenntnisse zum Wachstumsgang der Tanne in Süddeutschland stützen sich im wesentlichen auf Untersuchungen an mittelalten und alten Bäumen im Schwarzwald, in den ostbayerischen Grenzgebirgen und im Bayerischen Alpenraum (ELLING 1993, KENK et al. 1991, SCHÖPFER und HRADETZKY 1986, WEISE 1991). Seit den 50er Jahren setzen dort in mehreren Schüben Zuwachsrückgänge und Bestandesauflösungen ein, wie sie nach dendrochronologischen Untersuchungen von SCHWEINGRUBER et al. (1983) in historischer und selbst in prähistorischer Zeit nicht zu konstatieren waren. Der Zuwachsgang ist von den 50er Jahren bis Ende der 70er Jahre deutlich abwärts gerichtet, setzt bei den Individuen innerhalb eines Bestandes aber in diesem Zeitraum in unterschiedlichen Jahren, zumeist nach Witterungsextremata ein. Auf den Zuwachseinbruch bis Ende der 70er Jahre folgt z. B. im Schwarzwald ein unerwartet stark ausgeprägter Zuwachsanstieg in den 80er und 90er Jahren, der als Erholung und Regeneration zu interpretieren ist (Abb. 9). Auf langfristigen Versuchsflächen des Münchner Lehrstuhls für Waldwachstumskunde in den bayerischen Kalkalpen und im Bayerischen Wald dauern die in den 50er Jahren einsetzende Zuwachsdepression und Absterbeprozesse aber mitunter auch bis heute an. So treten in Bergmischwaldbeständen bei Kreuth, Bodenmais und Freyung, in denen der Tanne neben Fichte und Buche eine Schlüsselrolle zukommt, bis heute vital erscheinende Tannen neben stark geschädigten auf.

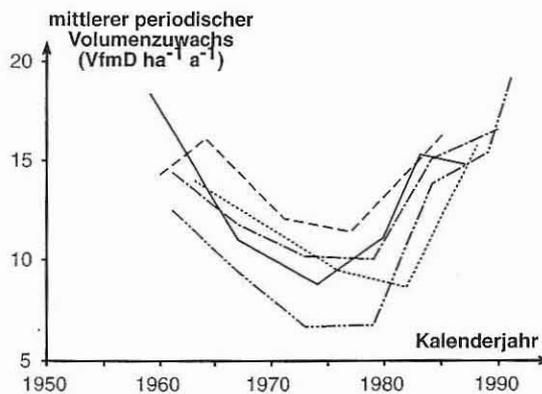


Abb. 9. Zuwachsgang der Weißtanne auf langfristig beobachteten Versuchsflächen im Schwarzwald. Dargestellt ist der Entwicklungsgang des Volumenzuwachses pro ha und Jahr von den 50er Jahren bis in die Gegenwart. Nach einer Zuwachsdepression in den 70er Jahren zeichnet sich eine bemerkenswerte Erholung bis in die Gegenwart ab (nach WEISE 1991).

Fig. 9. Increment curve for silver fir on long-term observation test plots in the Black Forest. Shown is the development of volume increment per hectare and year from the 1950ies until the present. Following an increment depression in the 1970ies a remarkable upward trend to the present can be observed (WEISE 1991, modified).

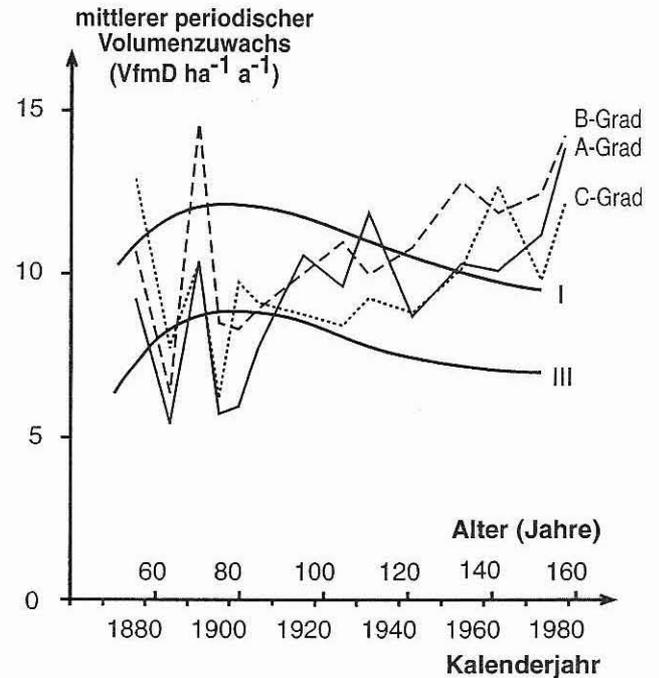
### Buche

Von dem Wachstumstrend der Buche vermitteln bisherige Untersuchungen folgendes Bild: Auf einer großen Serie von langfristigen Buchenversuchsflächen zeichnet sich eine seit den 40er und 50er Jahren stark positiv gerichtete Abweichung von den Erwartungswerten unserer Ertragstafeln ab. Solche Abweichungen ergeben sich für Buchenbestände aller

Alter und wurden bisher für die Regionen Spessart, Steigerwald, Bayerischer Wald und Voralpenraum nachgewiesen. Bei den in Abbildung 10 dargestellten Verläufen des periodischen Volumenzuwachses handelt es sich also nicht um singuläre Befunde, sondern um besonders gut bekannte Beispiele für einen solchen Wachstumstrend. Ein ähnliches Verhalten zeigt sich auf Versuchsflächen in Bayern, Baden-Württemberg und in den nördlichen Bundesländern. Selbst bei hohen Blattverlusten (größer 60 %) zeichnen sich nur geringe Zuwachsausschläge ab (PRETZSCH 1996).

Abb. 10. Wachstumstrends auf den Buchenversuchsflächen Fabrikschleichach 15/Steigerwald im Vergleich zu den Erwartungswerten der Ertragstafel von SCHOBER (1967), mäßige Durchforstung für Buche. Für die vergangenen 3–4 Jahrzehnte ergibt sich ein Volumenzuwachs (links), der bei 150 bis 180 % der Ertragstafelwerte liegt (nach PRETZSCH 1996).

Fig. 10. Growth trends for beech test plots at Fabrikschleichach 15/Steigerwald and Starnberg 91/Pre-Alpine area in comparison with expected values from yield tables by Schober (1967) for moderate beech thinnings. For the past 3 to 4 decades a volume increment is shown (left) or a basal area increment (right), shown to amount to 150 to 180 % of the yield table values (PRETZSCH 1996, modified).



Eiche

Ein wiederum anderes Zuwachsreaktionsmuster stellen wir in süddeutschen Eichenbeständen fest. Auf langfristigen Versuchsflächen in den bayerischen Eichenverbreitungsge-

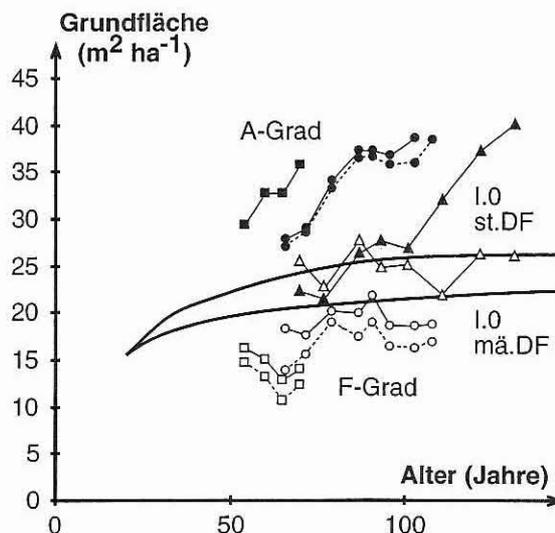


Abb. 11. Grundflächenentwicklung auf schwach und stark durchforsteten Eichen-Versuchsflächen (A- bzw. F-Grad) in Bayern und Rheinland-Pfalz im Vergleich zur Ertragstafel von JÜTTNER (1955).

Fig. 11. Basal area development on oak test plots with slight and severe thinnings (A- or F-degrees) in Bavaria and the Rhineland-Palatinate in comparison with yield tables by JÜTTNER (1955).

bieten, aber auch auf den bis heute vom Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde betreuten Eichenversuchsflächen in der ehemals Bayerischen Pfalz, beobachten wir seit vier bis fünf Jahrzehnten positive Abweichungen von den Erwartungswerten der Ertrags tafeln, die bis heute andauern. Abbildung 11 zeigt diesen Trend für Versuchsflächen in Waldleiningen, Rohrbrunn, Rothenbuch und Ebrach. Auch in solchen gut- und bestwüchsigsten Beständen stellen wir seit einigen Jahren aber an Einzelbäumen abrupte Zuwachsrückgänge und Ausfälle fest. Unter der Leitung von ELLING wurden solche Zuwachseinbrüche bei der Eiche im Forstamt Freising intensiver untersucht (KLEINER und ROHRBACHER 1994). Abbildung 12 zeigt den charakteristischen Zuwachsverlauf von kranken bzw. abgestorbenen Eichen: Nach mehr oder weniger undifferenziertem Zuwachsverlauf kommt es innerhalb weniger Jahre zu einer deutlichen Zuwachsdgression, die einen Absterbe prozess einleiten kann.

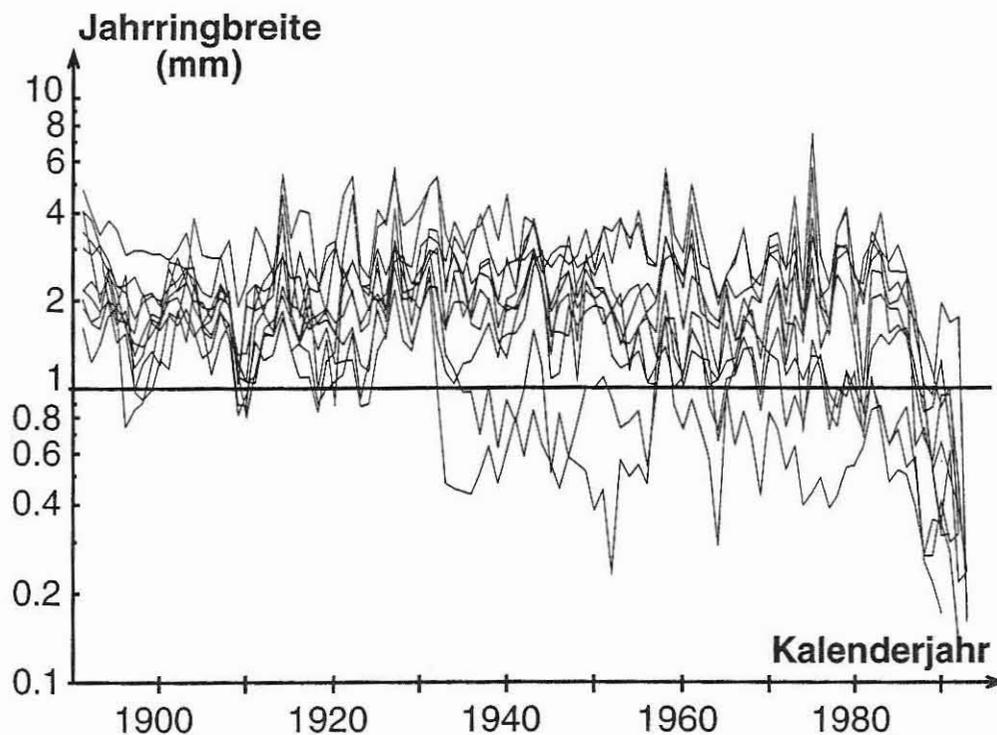


Abb. 12. Jahringbreitenentwicklung stark geschädigter und abgestorbener Stieleichen im Forstamt Freising im Zeitraum 1890 bis 1993 (nach KLEINER und ROHRBACHER 1994).

Fig. 12. Development of annual ring width in severely damaged and dead European oak trees in the Forest District Freising in the period 1890 to 1993 (KLEINER and ROHRBACHER 1994, modified)

#### 4.2 Großregionale und globale Wachstumstrends

Im Rahmen der Entwicklung des standortsensitiven Einzelbaumsimulators SILVA 2.2 wurden die Höhenwachstumsverläufe von 47 Versuchsflächen in Fichtenbeständen, 89 in Buchenbeständen, 81 in Kiefernbeständen und 37 in Eichenbeständen langfristig beobachteter Versuchsflächen, von denen die ältesten seit 1860 unter Kontrolle sind, analysiert und mit den erwarteten Verläufen der gängigen Ertragstafel verglichen (KAHN 1994). Die Versuchsflächen decken einen Beobachtungsraum ab, der von Schleswig-Holstein bis in die Schweiz reicht. Die Resultate dieser langfristigen Beobachtungen erbringen, daß etwa 25 %

der Versuchsflächen in den Alters-Höhen-Befunden über der ersten Klasse der Ertragstafel liegt. Positive Abweichungen kommen in allen Altersbereichen vor, während Stagnation in der Höhenentwicklung nicht feststellbar ist. Weiter ist festzustellen, daß gerade in Jungbeständen aus Buche und Eiche die Tafelwerte ganz erheblich überschritten werden und daß sich die markantesten Abweichungen zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum für Kiefernbestände, und zwar für solche auf früher nährstoffarmen Standorten ergeben.

Wiederholungsinventuren des Waldes auf Bundes-, Landes- oder Betriebsebene erbringen im Unterschied zu den bisher ausgewerteten Quellen flächenrepräsentative und statistisch abgesicherte Aussagen über Wachstum und Zuwachs. Die skandinavischen Länder mit ihrer langen Tradition der Forstinventuren können auf einen Datenfundus zurückgreifen, wie er für Rückschlüsse auf langfristige Wachstumstrends notwendig ist. KAUPPI et al. (1992) diagnostizieren für Skandinavien und andere europäische Länder großregional ausgeprägte Veränderung von Vorrat und Zuwachsgang seit den 50er Jahren (Abb. 13). In Deutschland, wo die erste landesweite Inventur mit einheitlichem Stichprobenverfahren (BWI I) im Jahre 1987 erfolgte und eine Wiederholungsinventur nach demselben Verfahren (BWI II) für das Jahr 2002 vorgesehen ist, muß sich ein solcher Datenfundus erst akkumulieren.

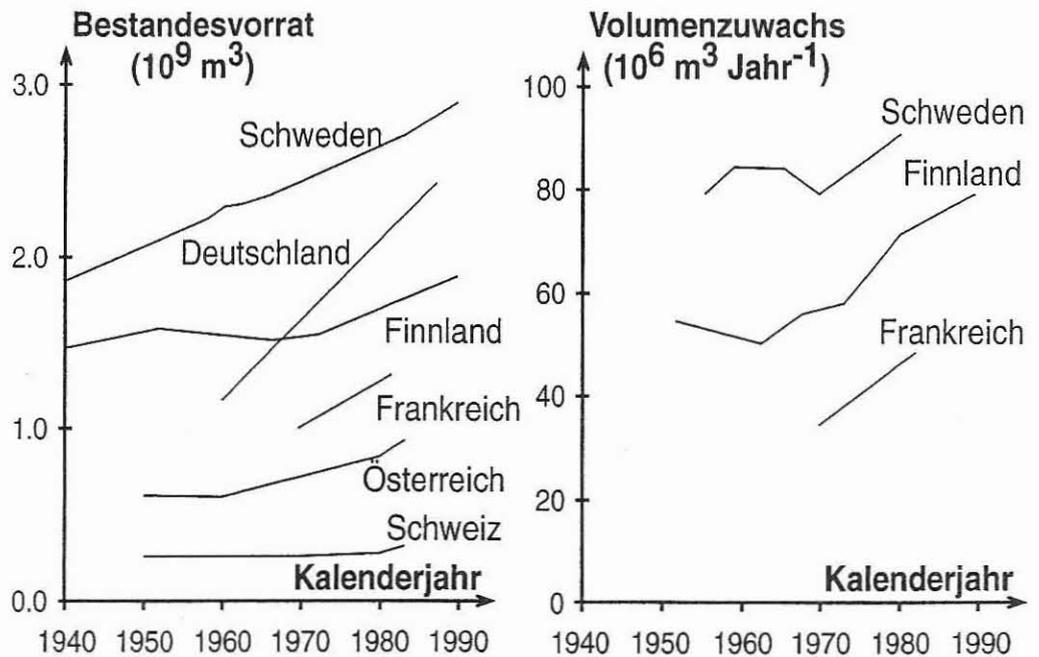


Abb. 13. Langfristige Entwicklung von Vorrat (links) und Volumenzuwachs (rechts) in europäischen Ländern nach den Ergebnissen nationaler Forstinventuren (KAUPPI et al. 1992).

Fig. 13. Long-term development of stock (left) and volume increment (right) in European countries based on results from national forest inventories (KAUPPI et al. 1992).

Der Vergleich zwischen einer weiter zurückgreifenden Landesinventur (GRI 1970/71) und der Bundeswaldinventur (BWI I) ermöglicht für das Bundesland Bayern aber erste flächenrepräsentative Informationen zum aktuellen Zuwachsniveau und Vergleichsmöglichkeiten mit den Erwartungswerten der Ertragstafel (Tab. 1). Der Vergleich zwischen den aus Inventurdaten errechneten Zuwachswerten für den Zeitraum von 1971 bis 1987 mit den nach gängigen Ertragstafeln erwarteten Zuwachswerten erbringt im Landesdurchschnitt für alle Hauptbaumarten beträchtliche Zuwachsanstiege. Für die Baumartengruppe

**Tabelle 1.** Entwicklung von Vorrat und Zuwachs der Waldbestände in Bayern in dem Zeitraum 1971 bis 1987 (nach PRETZSCH 1996). Ergebnisse nach der bayerischen Großrauminventur 1970/71 und der Bundeswaldinventur I, 1987. Die Auswertung erfolgt für die Baumartengruppen Fichte, Kiefer, Buche und Eiche gestützt auf die Ertragstabellen von WIEDEMANN (1936/42), WIEDEMANN (1943/48), WIEDEMANN (1932) bzw. JÜTTNER (1955) für die mäßige Durchforstung.

**Table 1.** Development of stock and increment of forest stands in Bavaria in the period 1971 to 1987 (Pretzsch 1996, modified). Results from the Bavarian regional inventory 1970/71 and the Federal Forest Inventory I, 1987. Evaluation was done for the tree species groups spruce, pine, beech and oak, based on yield tables by WIEDEMANN (1936/42), WIEDEMANN (1943/48), WIEDEMANN (1932) or JÜTTNER (1955) for moderate thinnings.

Wachstum und Zuwachs von 1971–1987 in Bayern		Fichte/ Tanne	Kiefer/ Lärche	Buche	Eiche*)
Vorrat 1997	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	344	240	232	233
Vorrat 1987	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	415	275	271	263
Vorratsanstieg 1971–87	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	+ 72	+ 35	+ 39	+ 30
reguläre Nutzung 1971–87	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	123	95	61	58
sonstige Abgänge	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	18	14	9	9
Volumenzuwachs gesamt 1971–87	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	214	144	109	97
Volumenzuwachs jährlich 1971–87	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> )	12.6	8.5	6.4	5.7
Zuwachswerte der Ertragstafel 1971–87	(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup> )	9.6	5.9	5.7	4.5
Prozentische Abweichung Wirklichkeit/Tafel	(%)	+ 31	+ 43	+ 12	+ 27

\*) Die Daten für Fichte, Kiefer, Buche gelten für den bayerischen Staatswald, die Angaben für die Eiche beziehen sich auf die gesamte Waldfläche.

\*) Data for spruce, pine and beech are valid for the Bavarian State Forest, while data on oak refer to the entire forest area.

Fichte/Tanne liegen die wirklichen Zuwächse bei 131 % der Ertragstafel, für Kiefer/Lärche bei 143 %, für Buche bei 112 % und für Eiche bei 127 % der Erwartungswerte der Ertragstafel. Die festgestellten Mehrzuwächse im Vergleich zu den gängigen Ertragstabellen von 12 bis 43 % unterstreichen die Mängel der zugrundeliegenden Ertragstabellen und liefern Indizien für einen langfristigen Wachstumstrend (PRETZSCH 1996).

Fehlen längere Zeitreihen aus Wiederholungsinventuren, so bleibt die Möglichkeit aus einmaligen Inventuren unechte Zeitreihen zu bilden und aus diesen weitere Informationen über Wachstumsstörungen zu erschließen. Im folgenden soll auf diese Weise das Wachstum der Fichte in Bayern, die dort mit 1.134.388 ha mehr als 47 % der Waldfläche bedeckt, nachgegangen werden. Denn von ihrer Gesamtfläche in der Bundesrepublik (2.742.248 ha) liegt fast die halbe Fläche in diesem Bundesland. Die Zahlen beziehen sich auf die Ergebnisse der ersten Bundeswaldinventur (Stichtag 01.10.1987) in Westdeutschland. Zur Feinanalyse der in Tabelle 1 erkennbaren Diskrepanzen zwischen Modell und Wirklichkeit reift POTT (1997) auf die Inventurdaten der bayerischen Forsteinrichtung zurück. Insgesamt stehen für Fichtenreinbestände 24.648 Bestandesaufnahmen aus Winkelzählproben und festen Probekreisen zur Verfügung, die Repräsentativaussagen für alle bayerischen Fuchengebiete erbringen. Abbildung 14 zeigt beispielhaft für die Fichte die Entwicklung von Mittelhöhe, Durchmesser des Grundflächenmittelstammes, Grundfläche und Vorrat als unechte Zeitreihe über dem Alter. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurde nur eine Zufallsstichprobe von 5 % der Aufnahmepunkte zur Darstellung gebracht. Der von der I. und IV. Ertragsklasse aufgespannte Wertebereich der Tafel von WIEDEMANN (1936/42) vermag bei keinem Ertragsselement das Streuband der Forsteinrichtungsdaten zu begrenzen. Höhen- und Durchmesserbefunde konzentrieren sich im Bereich der ersten Ertragsklasse. Noch auffälliger sind die Diskrepanzen bei Grundfläche und Vorrat, wo ein Drittel der Bestände die erste Ertragsklasse übertrifft. Die hohe Punktdichte, selbst in Bereichen zwischen 50 und 70 qm zeigt, daß es sich hierbei nicht um Ausreißer handelt. Auch bei dem Vorrat übertreffen Maximalwerte die Ertragstafel um über 100 %.

Eine solche Niveauverschiebung in den Wachstumsgrößen stützt die Hypothese, daß es sich bei den aus den Wiederholungsinventuren diagnostizierten Zuwachsanstiegen (Tab. 1) nicht um ein kurzfristiges Zuwachshoch handelt.

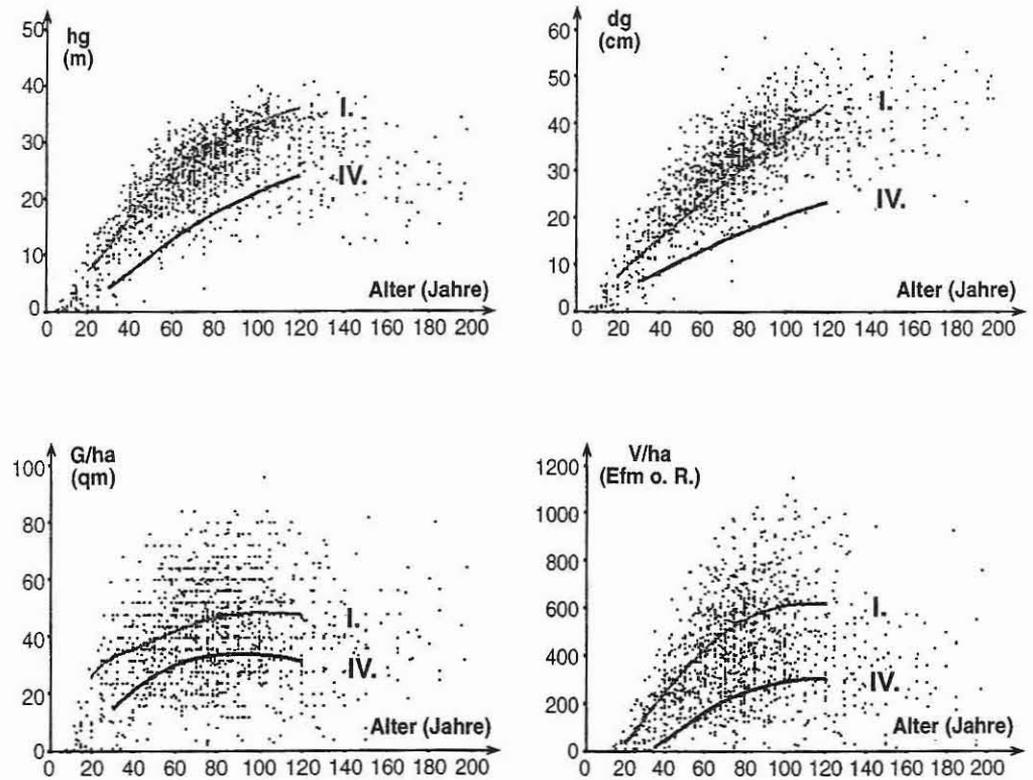


Abb. 14. Unechte Zeitreihen zum Wachstum der Fichte in Bayern im Vergleich zur Ertragstafel von WIEDEMANN (1936/42), mä. Df. Dargestellt sind Mittelhöhe, Brusthöhendurchmesser, Bestandesgrundfläche und Bestandesvorrat aus den Stichprobendaten der aktuellen Forsteinrichtung der Bayerischen Staatsforstverwaltung (POTT 1997).

Fig. 14. Artificial time series on the growth of spruce in Bavaria in comparison with yield tables by WIEDEMANN (1936/42), with moderate thinning. Shown are mean height, diameter at breast height, basal area of stand and growing stock from random sampling data of the current Forest survey of the Bavarian State Forestry Service (POTT 1997).

Die Vermutung, daß die maximale Dichte infolge einer standörtlichen Verbesserung zugenommen hat, kann durch die Stand density rule weiter erhärtet werden. Abb. 15 zeigt für süddeutsche Versuchsflächen die Entwicklung der Stammzahl pro ha über dem Mitteldurchmesser im doppelt-logarithmischen Koordinatensystem. Die 120 Fichten-Versuchspartellen im Alter von 11 bis 166 Jahren mit Grundflächen bis zu 90 qm/ha liegen in den Regionen Bayerische Alpen, Voralpenland, Schwaben und Frankenalb. Die eingezeichneten theoretischen Geraden mit der Steigung  $b = -1.605$  bezeichnet die nach der Stand density rule von REINEKE (1933) erwartete Stammzahlabnahme bei Selbstdifferenzierung in undurchforsteten Beständen. Die Graphik verdeutlicht, daß sich Fichtenbestände, unabhängig von ihrer Ausgangsdichte, einer oberen Grenzbeziehung zwischen Stammzahl pro ha und Mitteldurchmesser nähern, um dann, der Regel von REINEKE folgend, in der Stammzahl abzunehmen. Das Niveau, auf dem sich diese Abnahme vollzieht und damit das Intercept  $a$ , ist durch die Tragfähigkeit des Standortes vorgegeben. Der vermehrte Anstieg der Stammzahl-Durchmesser-Beziehungen, in der Graphik rechts unten

dargestellt, unterstreicht die standörtliche Verbesserung, die in einer Erhöhung der potentiellen Bestandesdichte resultiert. Ein solcher Anstieg der Tragfähigkeit ist auf einem Großteil der undurchforsteten Parzellen (A-Grad) nachzuweisen, deren Informationspotential als Bioindikator damit zum wiederholten Male erschlossen wird.

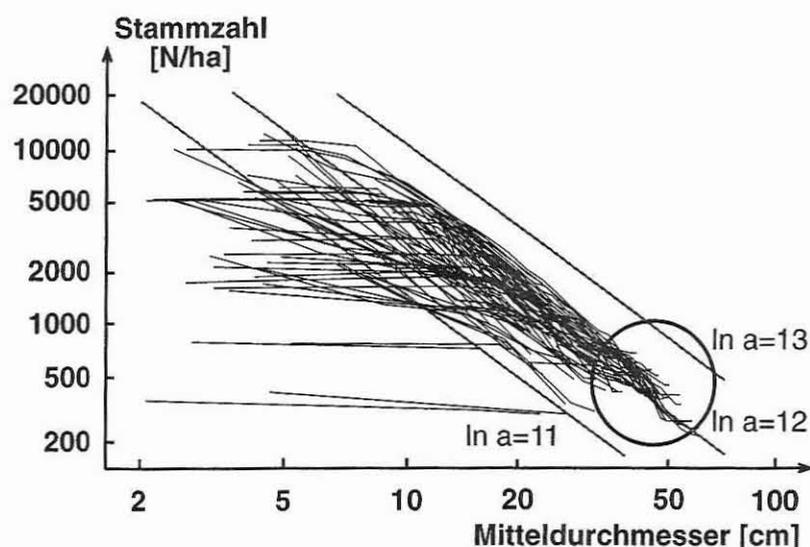


Abb. 15. Entwicklung süddeutscher Fichtenbestände nach der Stand density rule von REINEKE (1933). Unabhängig von der Ausgangsdichte nähern sich die eingetragenen Fichtenbestände einer oberen Grenzbeziehung zwischen Stammzahl und Durchmesser, die sich im doppelt-logarithmischen Netz durch eine Gerade mit dem Steigungskoeffizienten  $b = -1.605$  darstellen läßt. Positiv gerichtete Abweichungen vom Trend dieser Geraden weisen auf Wachstumsstörungen auf den Versuchsflächen hin.

Fig. 15. Development of spruce stands in Southern Germany according to the stand density rule by REINEKE (1933). Independent of the original density the recorded spruce stands come close to an upper limit relationship between number of stems and diameter. This can be represented by a straight line with the gradient coefficient  $b = -1.605$  in the double logarithmic co-ordinate net. Positive deviations from the trend of this straight line are an indication of growth disturbances on the test plots.

## 5 Diskussion

### 5.1 Beurteilung der eingesetzten Methoden

Alle genannten Verfahren können aber lediglich Indizien über vermutete Zusammenhänge zwischen Störursachen und Zuwachsreaktionen, nicht aber direkte Beweise über Kausalzusammenhänge erbringen. Denn ein unmittelbarer Nachweis einer Ursachen-Wirkungskette zwischen Störfaktoren und Wachstumsreaktionen der Waldbestockung ist in der Regel nicht möglich, weil im Freiland nicht die für einen experimentellen Nachweis erforderlichen *ceteris-paribus*-Voraussetzung gegeben ist, wir es dort vielmehr mit einer kaum überschaubaren Vielfalt von wachstumsrelevanten Einflußfaktoren zu tun haben. Ein direkter Nachweis einer vermuteten Kausalbeziehung ist also in vielen Fällen schon allein aufgrund der im Freiland gegebenen Umstände und Rahmenbedingungen nicht durchführbar.

In der praktischen Anwendung empfiehlt es sich, auf eine gegebene Fragestellung mehrere der genannten Methoden anzuwenden, um ihre spezifischen Stärken auszuschöpfen. Durch geschickte Kombination verschiedener Verfahren lassen sich vermutete Störursachen besser differenzieren, Zuwachsreaktionen in ihrer räumlichen und zeitlichen

Skala genauer eingrenzen und etwaige Zuwachsanstiege oder -einbußen in ihrer absoluten Höhe besser absichern.

1. Ertragstafeln geben mittlere Bestandesentwicklungen wieder, die aus einem in der räumlichen Verteilung und standörtlichen Ausstattung, in der zeitlichen Erfassung, in Altersstruktur, Provenienz und Behandlung heterogenen Versuchsflächennetz abgeleitet sind. Die Ertragstafelangaben haben deshalb für einen einzelnen Bestand nur beschränkte Gültigkeit. Der Ertragstafelvergleich gewinnt aber an Aussagekraft, wenn er für eine größere Zahl von Beständen ausgeführt wird. Der Vergleich mit Ertragstafeln und anderen Modellvorstellungen kann langfristige Wachstumsveränderungen im Kalibrierungsraum der Tafel diagnostizieren und gibt damit Auskunft über die Gültigkeit der Ertragstafel als forstwirtschaftliches Planungswerkzeug. Es läßt sich mit Hilfe der Ertragstafel prüfen, ob das absolute Niveau und der Altersgang von Zuwachs oder Wachstum mit den empirisch abgesicherten Befunden in einer zurückliegenden Phase der Modellkonstruktion übereinstimmen. Größere Abweichungen zwischen dem nach der Ertragstafel zu erwartendem und wirklichem Wachstumsverlauf machen die Tafel für die Steuerung des Waldwachstums oder die Hiebsatzplanung im Rahmen der Forsteinrichtung mehr oder weniger unbrauchbar.
2. Das Zuwachstrend-Verfahren nutzt die Tatsache, daß auch in geschädigten Beständen in den meisten Fällen noch widerstandsfähigere Bestandesglieder stehen, welche in relativ guter gesundheitlicher Verfassung sind, die spezifischen Wachstumsverhältnisse im Untersuchungsgebiet abbilden und sich deshalb als Referenzbäume eignen. Das Verfahren unterstellt, daß die Lage der Zuwachskurven von geschädigten und ungeschädigten Bäumen zueinander ohne Schadeinwirkung heute ähnlich wäre wie vor Beginn der Schädigung. Die Referenzperiode wird in einen Zeitraum vor Eintritt der Schädigung gelegt, in welchem die Zuwachskurven aller Bestandesglieder etwa parallel liefen und an den heute geschädigten Bäumen noch keine krankheitsbedingten Zuwachsreaktionen festzustellen waren. Die Zuwachsniveaus in der Referenzperiode dienen zur Eliminierung von Anfangsunterschieden zwischen den Referenzbäumen und dem zu beurteilenden Teilkollektiv. Die Wahl der Referenzperiode, für die in unserem Fall der Zeitraum von 1959 bis 1968 gewählt wurde, hat deshalb einen gewissen Einfluß auf die errechneten Zuwachseinbußen. Denn diese werden aus den Zuwachstrend-Abweichungen zwischen den zu beurteilenden Bäumen und dem Referenzkollektiv abgeleitet.
3. Der Vergleich von aktuellen mit zurückliegenden Zuwachsverläufen erbringt sowohl nach dem Verfahren des konstanten Alters, als auch durch den Inventurvergleich weitreichende Resultate.  
Die Methode des konstanten Alters ist für die Diagnose von Wachstumsveränderungen nur dann geeignet, wenn die Probenahmen auf standörtlich vergleichbaren Flächen erfolgen und die Bestandesgeschichte bzw. Konkurrenzgeschichte der beprobten Bäume vergleichbar ist. Diese Voraussetzungen sind am ehesten dann gegeben, wenn unterschiedlich alte Bestände auf einer gegebenen Standorteinheit beprobt werden und sich die Probenahmen wie in unserem Beispiel (Abb. 7 und 8) auf Bestände mit bekannter und möglichst identischer Bestandesgeschichte und -behandlung beschränken. A-Grad-Parzellen von Durchforstungsversuchen, Naturwaldreservate, unbewirtschaftete Hochlagenwälder und gleichbleibend behandelte Rein- und Mischbestände gewährleisten am ehesten eine solche Konstanz der Bestandesgeschichte.  
Für jedes Kalenderjahr des auf Wachstumsstörungen zu untersuchenden Zeitraumes sind Zuwachsdaten erforderlich, die ein möglichst breites Altersspektrum abdecken sollten. Ein solches Datenmaterial kann bestmöglich aus Bohrkernen oder Stammscheiben von Wuchsreihen gewonnen werden, deren Parzellen standortgleich sein sollten. Denn mit Probenahmen auf Wuchsreihen ist für jedes betrachtete Kalenderjahr eine ausgewogene Anzahl von jungen, mittelalten und älteren Bäumen vertreten. Um

Behandlungseffekte so weit wie möglich auszuschalten, sollten nur vorherrschende und herrschende Bäume beprobt werden.

Verlässliche Aussagen über den langfristigen Zuwachstrend sind aber nur dann möglich, wenn die gebildeten Altersklassen im gesamten Betrachtungszeitraum ausgewogen und gleichbleibend mit Bäumen unterschiedlicher Alter besetzt sind. Eine Veränderung der Klassenbesetzung von anfänglich eher älteren zu später vermehrt jüngeren und besser wüchsigen Bäumen innerhalb der Klasse würde einen Zuwachstrend vortäuschen. Eine ausgewogene Besetzung der Altersklasse ist in etwa dann gegeben, wenn das mittlere Alter der in ihr vertretenen Bäume, wie in unserem Anwendungsbeispiel, über den gesamten betrachteten Kalenderzeitraum gleich bleibt.

Wiederholungsinventuren des Waldes auf Bundes-, Landes- oder Betriebsebene erbringen im Unterschied zu den bisher dargestellten Verfahren flächenrepräsentative und statistisch abgesicherte Aussagen über Wachstum und Zuwachs. In Deutschland, wo die erste landesweite Inventur mit einheitlichem Stichprobenverfahren (BWI I) im Jahre 1987 erfolgte und eine Wiederholungsinventur nach demselben Verfahren (BWI II) für das Jahr 2002 vorgesehen ist, muß sich ein solcher Datenfundus erst akkumulieren. Fehlen echte Zeitreihen aus Wiederholungsinventuren, so bleibt die Möglichkeit aus einmaligen Inventuren unechte Zeitreihen zu bilden und aus diesen weitere Informationen über Wachstumsstörungen zu erschließen. Der sich aus unechten Zeitreihen ergebende Altersverlauf ist mit großer Vorsicht zu interpretieren, denn die in ihnen zusammengefaßten Bestände repräsentieren aufgrund ihrer unterschiedlichen Geschichte (Bestandesbehandlung, Genetik, Klima) nur bedingt das zeitliche Nacheinander.

## 5.2 Interpretation der beobachteten Zuwachsmuster

Die Inventurauswertungen und die kombinierte Querschnitts/Längsschnittauswertung zum Höhenwachstumsgang auf langfristigen Versuchsflächen (KAHN 1994) erbringen, daß die Zuwächse unserer Waldbestände im Durchschnitt seit mehreren Jahrzehnten mit großregionaler Ausprägung beträchtlich ansteigen. MYNENI et al. (1997) belegen mit Satellitendaten, daß auf der Nordhalbkugel von 1981 bis 1991 die photosynthetische Aktivität der Bodenvegetation aufgrund einer Verlängerung der Vegetationszeit zugenommen hat. Die Regionen mit dem größten Anstieg der photosynthetischen Aktivität liegen zwischen dem 45°N und dem 70°N, was in Europa einer Ausdehnung von Mailand oder Bordeaux bis Murmansk entspricht. Die Aussagen stützen sich auf Rückstrahlungsmessungen im photosynthetisch aktiven Bereich (Wellenlänge 0.4–0.7 µm) die in einen Vegetationsindex NDVI (normalized difference vegetation index) überführt werden. Die Rückstrahlungsmessungen werden vom NOAA-Satelliten (National Oceanic and Atmospheric Administration) ausgeführt. Die NDVI-Indizes zeigen für den Zeitraum von 1981 bis 1991 für den Bereich nördlich von 45°N eine Verlängerung der Vegetationszeit um 12 Tage an. Die Feinanalyse der Rückstrahlungs-Zeitreihen innerhalb der Beobachtungsjahre deutet auf einen früheren Beginn der Vegetationszeit hin, der eine Reaktion auf die globale Temperaturerhöhung darstellt und mit der Veränderung CO<sub>2</sub>-Jahreszyklusveränderung korrespondiert (KEELING et al. 1995). Auch aus den Untersuchungen von FABIAN (1991) und FABIAN und MENZEL (1998) u. a. in Phänologischen Gärten resultiert, daß der großregional feststellbare Zuwachsanstieg vermutlich auf Klimaänderungen zurückzuführen ist. Er wird durch lokal und regional wirksame Einflußfaktoren überprägt (u. a. lokale Standortparameter, Schwefeldioxid-Immission, Stickstoffeintrag, biotische Stressoren). Diese Überlagerung erringt eine Vielfalt von Zuwachsreaktionsmustern und positive wie negative Abweichungen vom erwarteten Zuwachsgang.

Besonders auffällig ist das Reaktionsmuster in Kiefernbeständen mit Zuwachsanstiegen seit den 60er Jahren. Auch Bestände mit Nadelverlusten über 30 % liegen in ihrem Zuwachs aber häufig noch deutlich über den Tafelwerten. Nur sehr stark geschädigte Bestände mit Nadelverlusten über 60 % sinken im Zuwachs unter die Erwartungswerte der Ertrags-tafel ab (PRETZSCH 1987). Offensichtlich werden wachstumssteigernde Einflußfaktoren,

wie die nachlassende Streunutzung und der Eintrag von Stickstoff von wachstumsmindernden Störfaktoren überlagert (HOFMANN et al. 1990, PRETZSCH 1985, SCHMIDT 1969).

Als Ursachen für die Erkrankung der Fichte in den Hochlagen der nord- und ostbayerischen Grenzgebirge kristallisierten sich vor allem Versauerung und dadurch hervorgerufener Magnesiummangel heraus. Weiter wird eine Ozonschädigung vermutet. Sicher sind die in diesen Gebieten feststellbaren Bestandesauflösungen durch biotische Stressoren, insbesondere durch Borkenkäfer, verstärkt worden. Davon abweichende Zuwachsverläufe und andersartige Zusammenhänge zwischen Nadelverlusten und Zuwachsverlusten im Alpenraum deuten auf die Existenz zweier unterschiedlicher Zuwachsreaktionsmuster in Nordostbayern und im Alpenraum hin.

Die für den Voralpenraum aufgezeigte Wachstumssteigerung und Standortverbesserung kann durch den Vergleich von Vor- und Folgebeständen mit gleicher Genetik, Begründung und Behandlung auf Standortverbesserungen zurückgeführt werden. So haben KENK et al. (1991), RÖHLE (1994), und SCHÖPFER et al. (1994) für zahlreiche Fichtenbestände im süddeutschen Raum sowohl in Bayern als auch in Baden-Württemberg eine Leistungsverbesserung von Vor- zu Folgebeständen um mehrere Leistungsstufen der Ertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) nachgewiesen. Wir interpretieren den diagnostizierten positiven Trend als Reaktion auf wachstumssteigernde Einflußfaktoren unter denen Temperaturanstieg, Stickstoffeintrag und Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration der Luft eine Schlüsselstellung einnehmen dürften, der konkrete Ursachen-Wirkungskomplex und der weitere Zuwachsverlauf bleiben aber bis heute Spekulation.

Die an Tannen zuvor in dieser Form nicht beobachteten dramatischen Zuwachsrückgänge in den 50er bis 70er Jahren lassen vermuten, daß klimatologische Einflüsse wohl verstärkend und vereinzelt auslösend wirkten, daß die abwärts gerichtete Tendenz aber auf übergeordnete Einflüsse zurückzuführen ist. Als Ursache für Zuwachsrückgang und Regeneration wurden wiederholt Schwefeldioxid-Immission in Kombination mit Witterungsextremata genannt. Für diese Hypothese sprechen korrelative Zusammenhänge zwischen dem aufgezeigten Zuwachsgang und der Verlaufskurve der Schwefeldioxid-Emission, die in der Bundesrepublik Deutschland bis in die Jahre 1960 exponentiell angestiegen ist, in den 60er und 70er Jahren mit über 3,5 Mill. Tonnen pro ha ihr Maximum erreichte und seit 1980 auf unter eine Mio. Tonnen reduziert wurde (ELLING 1993). Die verstärkende Wirkung durch Witterungsextremata kommt dadurch zum Ausdruck, daß die Zuwachseinbrüche in den 50er bis 70er Jahren vornehmlich nach Jahren mit Trockenheit und extremer Kälte einsetzten. Gegen die Hypothese, daß allein Witterungseinflüsse für diesen Zuwachsrückgang und die anschließende Erholung verantwortlich zu machen sind spricht, daß auch in vergangenen Jahrhunderten ähnliche Witterungsextrema auftraten, dendrochronologischen Untersuchungen zufolge jedoch nie zu so dramatischen Zuwachseinbrüchen führten wie in den 50er bis 70er Jahren. Heute noch geschlossene Tannenbestände, wie wir sie beispielsweise im Schwarzwald und im Voralpenraum unter Beobachtung haben, müßten sich andernfalls über Jahrzehnte hinweg zunehmend aufgelöst haben.

Die für die zurückliegenden ein bis zwei Dekaden nachgewiesene Temperaturerhöhung und Verlängerung der Vegetationszeit dürfte dem Wachstum der Buche aufgrund ihrer ökologischen Amplitude besonders förderlich sein, so daß in den eutrophierenden Stoffeinträgen und den Klimaveränderungen die Hauptursachen für den positiven Wachstumstrend der Buche gesehen werden. Untersuchungen in Buchenbeständen, die von größeren Blattverlusten betroffen sind, ergeben ebenfalls ein relativ einheitliches Bild. Zwischen Blattverlusten und Zuwachsgang ist erstaunlicherweise kein klarer Zusammenhang festzustellen. Selbst bei hohen Blattverlusten (größer 60 %) zeichnen sich nur geringe Zuwachsausschläge ab (PRETZSCH 1996). Bäume mit geringen und hohen Blattverlusten lassen sich in ihrem Zuwachsverhalten kaum differenzieren. Mit einem solchen Verhalten unterscheidet sich die Buche grundsätzlich von den Baumarten Tanne, Fichte und Kiefer, für die sich auch bei geringen Nadelverlusten bereits klare Korrelationen zwischen äußerem Erscheinungsbild in Form von Benadelungszustand und Zuwachsreaktionen ergeben.

Für die Eiche ergibt sich ebenfalls ein sehr ambivalenter Befund: Während in vielen Beständen die seit vier bis fünf Jahrzehnten positive Abweichungen von den Erwartungswerten der Ertragstafeln bis heute andauern, treten in anderen Zuwachsrückgänge und Abgänge auf. Von langfristigen Versuchsflächen wissen wir, daß von solchen Ausfällen häufig gerade die vitalsten und besonders wertvollen Zukunftsbäume betroffen sind. Räumliches Verteilungsmuster und zeitliche Entwicklung der Erkrankung deuten auf biotische Stressoren hin; über die Ursachen gibt es bislang aber keinen Konsens (JUNG et al. 1996, HARTMANN 1992).

### 5.3 Konsequenzen für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft

In Regionen mit deutlich positivem Wachstumstrend können die Konsequenzen auf eine Ausschöpfung der standörtlichen Verbesserung durch Übergang zu höheren Bestandesdichten, Anhebung der Nutzungssätze oder Erweiterung des standortbedingten Baumartenspektrums hinauslaufen. Den abwärts gerichteten Wachstumstrends kann durch Schadstoffminderung, Maßnahmen der Bestandesstabilisierung und Risikostreuung begegnet werden. Für die Forstwissenschaft reichen die Konsequenzen aber über diese rein praktischen Maßnahmen weit hinaus. Denn die Klimaveränderung, der wir eine Schlüsselrolle bei dem Wandel der Wuchsbedingungen zuschreiben, bildet nur einen Einflußfaktor, der unsere Waldökosysteme einem Wandel unterzieht. Anhaltende Schadstoffeinträge, zunehmende Quellwasserentnahmen in Waldgebieten, Übergang zu neuen Begründungs- und Pflegeregimen und die Vermehrung von Mischbeständen konfrontieren Forstwirtschaft und Forstwissenschaft mit letzten Endes derselben Situation: Wir kennen die Auswirkungen solcher Einflußfaktoren und Maßnahmen nicht, und müssen doch in der Gegenwart forstwirtschaftliche Entscheidungen treffen. Dies ist nur möglich wenn Forstwissenschaft und Forstwirtschaft mit der Entwicklung bzw. mit dem praktischen Einsatz von standortsensitiven Wuchsmodellen reagieren. Denn diese erbringen nicht nur die im vorliegenden Aufsatz ausgeführten „so ist-Befunde“ sondern auch „wenn dann-Aussagen“. So bieten standortsensitive Modelle bestmöglichen Ersatz für die Ertragstafeln, deren Gültigkeit als Planungswerkzeug grundsätzlich in Frage gestellt ist. Modelle dieses Typs sind nicht nur dafür geeignet, unterschiedliche Behandlungsstrategien für die Begründung und Behandlung von Rein- und Mischbeständen durchzuspielen, sondern sie eignen sich auch bspw. zur Abschätzung der Konsequenzen von Klimaänderungen für das Wachstum von Fichten-Buchen-Mischbeständen. Mit dem am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde entwickelten Einzelbaumsimulator SILVA 2.2 soll abschließend ausprobiert werden, wie sich die von FABIAN (1991) zu erwartenden Klimaveränderungen auf das Wachstum von Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche im oberbayerischen Tertiärhügelland auswirken.

Die Einsatzmöglichkeiten standortsensitiver Wuchsmodelle sollen durch folgende Szenariorechnung verdeutlicht werden, die für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche im oberbayerischen Tertiärhügelland (Standorteinheit 203, mäßig frischer bis frischer Lehm) folgenden Fragen nachgeht:

1. Wie entwickelt sich der dGZ auf dieser Standorteinheit unter gegebenen Klimabedingungen? Abbildung 16 (links) zeigt den Anstieg des dGZ bis auf über 20 m<sup>3</sup> pro ha und einen Rückgang ab Alter 140. Dieser Altersgang der Fichte unter gegenwärtigen Klimabedingungen wird in Abb. 16 (rechts) als Referenz (100 %-Linie) eingesetzt und mit dem Bestandeswachstum der Fichte bei Klimaveränderungen (Temperaturanstieg in der Vegetationsperiode um 2 Grad Celsius, Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10 % und Verlängerung der Vegetationszeit um 10 Tage) gegenübergestellt. Wir erkennen, daß der dGZ der Fichte dann um etwa 10 % absinkt.
2. Weiter wird geprüft, inwieweit dem zu erwartenden Zuwachsverlust durch eine Beimischung von 30 bzw. 70 % Buche entgegengewirkt werden kann. Bei einer Beimischung von 30 % Buche, die den unterstellten Klimabedingungen besser gewachsen ist, können

die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte bei Umtriebszeiten von 100 bis 150 Jahren überkompensiert werden. Eine Beimischung von 70 % Buche vermag die klimabedingten Zuwachsverluste der Fichte erst im Alter 150 auszugleichen. Szenariorechnungen wie diese zeigen, daß die gegenwärtige Zuwachssteigerung bei stärkeren Klimaänderungen je nach ökologischer Amplitude der Baumarten auch in gravierende Zuwachsrückgänge und Verschiebungen der Konkurrenzverhältnisse umschlagen kann. Waldbauliche Entscheidungen können mit Hilfe von Szenariorechnungen auch unter veränderlichen Klima- und Standortbedingungen auf eine quantitative Grundlage gestellt werden.

## 6 Danksagung

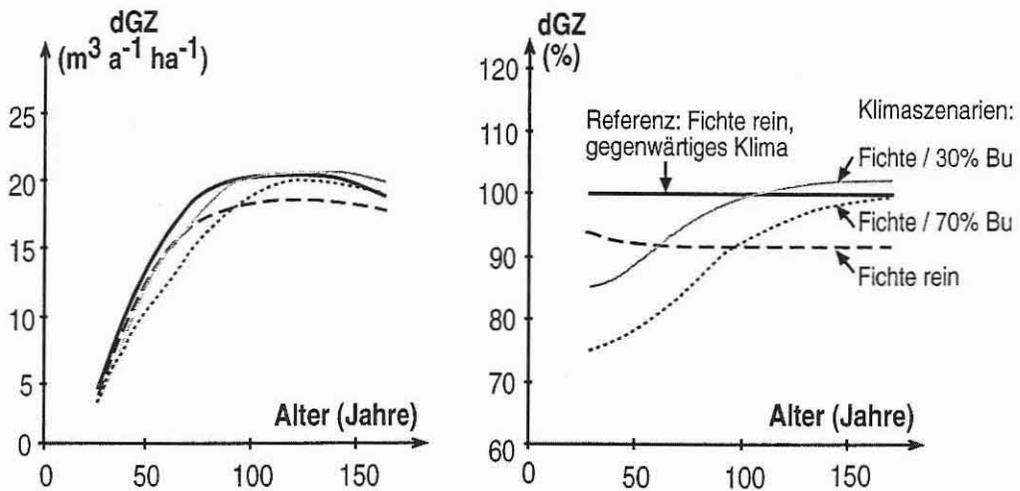


Abb. 16: Wuchsleistung der Fichte im Rein- und Mischbestand unter gegenwärtigen und veränderten Klimabedingungen.

Standort: Oberbayerisches Tertiärhügelland, Standorteinheit 203, mäßig frischer bis frischer Lehm.

Klimaszenario: Temperatur in der Vegetationszeit steigt um 2 Grad C, Niederschläge in der Vegetationszeit sinken um 10 %, Vegetationszeit verlängert sich um 10 Tage.

Fig. 16: Growth performance of spruce in pure and mixed stands under current and changed climatic conditions. Site: Tertiary hills in Upper Bavaria, stand unit 203, moderately fresh to fresh clay. Climate Scenario: Temperature rises by 2 Grad C during the vegetation period, precipitation decreases by 10 % in the vegetation period, vegetation period is prolonged by 10 days.

Die Mehrzahl der gezeigten Wachstums- und Zuwachsbefunde geht auf die Auswertung langfristiger Versuchsflächen, Bohrkern- und Stammanalysen und Wiederholungsinventuren am Münchener Lehrstuhl für Waldwachstumskunde zurück. Für die Baumarten Tanne und Eiche haben mir die Professoren Dr. G. Kenk von der Baden-Württembergischen Forstlichen Versuchsanstalt/Freiburg und Dr. W. Elling von der Fachhochschule Weihenstephan/Freising dankenswerterweise aufschlußreiches Material überlassen.

## 7 Literatur

- BMELF, 1999: Bericht über den Zustand des Waldes 1998. Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitoring, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, 53 S.
- COOK, E. R., 1985: The use and limitations of dendrochronology in studying effects of air pollution on forests, Proceeding of Nato Advanced Research Workshop: Effects of Acidic Deposition on Forests, Wetlands, and Agricultural Ecosystems, Toronto, 32 S.

- ELLING, G. W., 1993: Immissionen im Ursachenkomplex von Tannenschädigung und Tannensterben, AFZ, 48. Jg., H. 2, S. 87–95.
- FABIAN, P., 1991: Klima und Wald – Perspektiven für die Zukunft, Forstw. Cbl., 110 Jg., S. 286–304.
- FABIAN, P. und MENZEL, A., 1998: Wie sehen die Wälder von morgen aus – aus der Sicht eines Klimatologen, Forstw. Cbl., 117 Jg., S. 339–354.
- FOERSTER, W. und BÖSWALD, K., 1995: Vorratsstruktur, Zuwachs und Bonität in den bayerischen Waldbeständen nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur 1986–1990 in Verbindung mit einer Abschätzung der gespeicherten Kohlenstoffvorräte und der Möglichkeit zu deren Erhöhung, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Univ. München, unveröff. Abschlußber. gem. LMS v. 2. 12. 1993, Nr. V2-FV 100 A-2470, 74 S.
- FRANZ, F. und PRETZSCH, H., 1988: Zuwachsverhalten und Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf, Forstliche Forschungsberichte München, Bd. 92, 169 S.
- HARTMANN, G., 1992: Winterfrost, Kahlfraß und Prachtkäferbefall als Faktoren im Ursachenkomplex des Eichensterbens in Norddeutschland, Forst und Holz, 47. Jg., H. 15, S. 443–452.
- JUNG TH., BLASCHKE, H., LANG, K.-J. und OSSWALD, H., 1996: Phytophthora-Wurzelfäule der Stiel- und Traubeneiche, AFZ/Der Wald, 1996, S. 2–5.
- KAHN, M., 1994: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort, Forstl. Forschungsber. München, Nr. 141, 221 S.
- KAUPPI, P. E., MIELIKÄINEN, K., KUUSELA, K., 1992: Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990, Science, Bd. 256, S. 70–74.
- KEELING, C. D., WHORF, T. P., WAHLEN, M. und VAN DER PLICHT, J., 1995: Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980, Nature, Vol. 375, S. 666–670.
- KENK, G., SPIECKER, H. und DIENER, G., 1991: Referenzdaten zum Waldwachstum, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 82, 59 S.
- KLEINER, CH. und ROHRBACHER, M., 1994: Untersuchungen zu Schädigungen an Stieleiche und Rotbuche anhand von Kronenmerkmalen und Jahring im FA Freising, Diplomarbeit, FH Weihenstephan, Fachbereich Forstwirtschaft, 103 S. und Anhang.
- MIELIKÄINEN, K. und NÖJD, P., 1996: Growth trends in the Finnish forest – results and methodological considerations, Conference of Effects of Environmental Factors on Tree and Stand Growth, Techn. Univ. Dresden, Tagungsbericht, S. 164–174.
- MYNENI, R. B., KEELING, C. D., TUCKER, C. J., ASRAR, G. und NEMANI, R. R., 1997: Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991, Nature, Vol. 386, S. 698–702.
- POTT, M., 1997: Wachstum der Fichte in Bayern – Auswertung von Daten der Forsteinrichtungsdatenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung, Dip.-Arb. MWW-DA 117, LMU München, 95 S.
- PRETZSCH, H., 1985: Wachstumsmerkmale süddeutscher Kiefernbestände in den letzten 25 Jahren, Forstl. Forschungsberichte München, Nr. 65, 183 S.
- PRETZSCH, H., 1987: Zur Frage des „Normalwachstums“ der Kiefer in der Oberpfalz, Forst- und Holzwirt, 42. Jg., H. 11, S. 286–293.
- PRETZSCH, H., 1989a: Zur Zuwachsreaktionskinetik der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf in der Oberpfalz, AFJZ, 160. Jg., H. 2/3, S. 43–54.
- PRETZSCH, H., 1989b: Untersuchungen an kronengeschädigten Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) in Nordost-Bayern, Forstarchiv, 60. Jg., H. 2, S. 62–69.
- PRETZSCH, H., 1992: Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. Konsequenzen für zukünftige ertragskundliche Informationssysteme, Forstw. Cbl., 111. Jg., S. 366–382.
- PRETZSCH, H., 1996: Growth trends in Forests in southern Germany, In: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaard J. P. [Hrsg.]: Growth trends in european forests, Springer-Verlag, S. 107–131
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 1989: Das „Zuwachstrend-Verfahren“ für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in den bayerischen Schadegebieten, Forstarchiv, 60. Jg., H. 5, S. 188–193.
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 1995: Die Eichen-Versuchsflächen im Forstamt Elmstein-Nord, AFZ, 50. Jg., H. 2, S. 67–71.
- PRETZSCH, H. und UTSCHIG, H., 1998: Wachstumstrend der Fichte in Bayern, Abschlußbericht zum Projekt W 30 des Kuratoriums der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 162 S.
- REINEKE, L. H., 1933: Perfecting a stand density index for even-aged forests, Journal Agric. Res., Vol. 46, S. 627–638.
- RÖHLE, H., 1987: Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluß der neuartigen Walderkrankungen, Forstl. Forschungsber. München, Nr. 83, 122 S.
- RÖHLE, H., 1994: Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Ertragskundliche Auswertung langfristig beobachteter Versuchsreihen unter besonderer Berücksichti-

- gung von Trendänderungen im Wuchsverhalten, Habilitationsschrift Forstwiss. Fak. Univ. München, 249 S.
- RÖHLE, H., 1997: Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen, AFJZ, 168. Jg., H. 6/7, S. 110–114.
- SCHMIDT, A., 1971: Wachstum und Ertrag der Kiefer auf wirtschaftlich wichtigen Standorteinheiten in der Oberpfalz, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 1, 178 S.
- SCHWEINGRUBER, F. H., 1983: Der Jahrring, Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart, 234 S.
- SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL M., SKOVGAARD, J. P. [Hrsg.], 1996: Growth trends in european forests, Springer-Verlag, 372 S.
- UTSCHIG, H., 1989: Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. Auswertung der Zuwachstrendanalyseflächen des Lehrstuhles für Waldwachstumskunde für die Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Bayern, Forstl. Forschungsber. München, Nr. 97, 198 S.
- WEISE, U., 1991: Ertragsniveau und Zuwachsgang der Weißtanne, AFZ, 46. Jg., H. 4, S. 192–95.
- WIEDEMANN, E., 1923: Zuwachsrückgang und Wuchsstockungen der Fichte in den mittleren und unteren Höhenlagen der sächsischen Staatsforsten, Kommissionsverlag W. Laux, Tharandt, 181 S.

*Anschrift des Verfassers:* Prof. Dr. Hans Pretzsch, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising, Tel.: 0049 8161 71 4710, Fax.: 0049 8161 71 4721, Email: H.Pretzsch@lrz.uni-muenchen.de