

Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen

(Mit 5 Abbildungen und 2 Tabellen)

Von H. RÖHLE

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Fichte; Wachstumstrends; Bonität.

Norway spruce; growth trends; site class.

1. EINLEITUNG

Über das Wachstum der Fichte im gleichaltrigen Reinbestand liegen zahlreiche Untersuchungen aus dem In- und Ausland vor. Das in Deutschland erarbeitete Wissen dokumentieren die in den letzten 100 Jahren entstandenen Ertragstafeln. Sie beschreiben die Entwicklung von Beständen, die nach einem bestimmten Durchforstungskonzept behandelt werden und bei konstanten Umweltbedingungen aufwachsen. Die Ertragstafeln definieren das Normalwachstum für die Fichte. Die traditionellen forstlichen Bonitierungsverfahren beurteilen das Ertragsvermögen eines Standortes aufgrund der Produktionsleistungen des aufstockenden Waldbestandes. Bei einer weitgehend identischen genetischen Veranlagung aufeinanderfolgender Waldgenerationen dürften die Wachstumsgänge jüngerer Bestände nur geringfügige Abweichungen von den Verlaufskurven älterer Bestände aufweisen; außerdem müßten die Zuwachsgänge älterer wie auch jüngerer Wälder wenigstens vom Trendverlauf her den von ASSMANN (1961) beschriebenen Modellvorstellungen (Aufschwung-, Vollkraft- und Abschwungphase) folgen. Waldwachstumskundliche Beobachtungen zeigen aber, daß die tatsächlichen Zuwachsgänge in vielen Regionen Europas in den letzten Jahrzehnten Sprünge in den Verlaufskurven aufweisen, die in Art und Ausmaß bisher unbekannt

waren (FRANZ, 1983; KELLER 1992; PRETZSCH, 1992; FOERSTER et al., 1993; SPIECKER et al., 1996).

Zur Prüfung von Zuwachsverläufen auf Normalität ist die Definition geeigneter Bezugsgrößen erforderlich. Da fast alle derzeit verfügbaren Wachstumsmodelle unter der Prämisse der Standortkonstanz konstruiert wurden, bedeutet eine Diskrepanz zwischen Modell und Realität nicht unbedingt eine Abweichung von dem „normalerweise“ zu erwartenden Trendverlauf. Denn Bäume reagieren auf die Umweltbedingungen im Rahmen ihrer genetisch verankerten Mechanismen immer normal, d. h. ihren Möglichkeiten und Grenzen gemäß. Insofern sind Abweichungen von den Modellverläufen nur Indizien dafür, daß in einem kurzen Zeitraum ein tiefgreifender Wandel der Umwelt eingetreten sein muß, der in einer veränderten Wuchsdynamik zum Ausdruck kommt.

2. ZIELE DER UNTERSUCHUNG

Im folgenden werden die Bestandesentwicklungen südbayerischer Fichtenwälder insbesondere unter dem Aspekt eventueller Trendänderungen im Wuchsverhalten analysiert. Dazu dienen die Ergebnisse einer ertragskundlichen Auswertung von 9 Fichten-Versuchsreihen mit insgesamt 27 Parzellen (RÖHLE, 1995), die vor mehr als 100 Jahren auf Hochleistungsstandorten in den damaligen Forstämtern Denklingen, Eglharting, Ottobeuren und Sachsenried installiert wurden und z. T. bis zum Jahr 1990 unter Beobachtung standen. Außerdem wird auf das Datenmaterial von 4 jüngeren, raschwüchsigen

gen Fichtenprobeständen zurückgegriffen und auf 2 Fichten-Versuchsreihen das Wachstum aufeinanderfolgender Waldgenerationen verglichen.

3. BONITÄTSENTWICKLUNG

Die Oberhöhenentwicklung auf den 27 Parzellen verläuft bis etwa 1950 annähernd ertragstafelkonform. Danach ist ein kontinuierlicher und bis zur letzten Aufnahme im Jahr 1990 anhaltender Bonitätsanstieg im Vergleich zur Ertragstafel ASSMANN/FRANZ (1963) zu verzeichnen. Werden anstelle der erreichten Oberhöhen die Höhenzuwächse mit den Referenzwerten¹⁾ der Tafel verglichen, treten die Änderungen im Wuchsverhalten besonders deutlich hervor. Abbildung 1 belegt, daß die Oberhöhenzuwächse von 1880 bis etwa 1950 ein enges Streuband um die Ertragstafelreferenz beschreiben. In diesem Zeitraum liegen die Mehr- bzw. Minderleistungen bei maximal 25% (75% bis 125% des Ertragstafel-Höhenzuwachses). Nach 1950 weitet sich das Kurvenbündel stark auf, sodaß bis zum Jahr 1990 die Leistungen Werte zwischen 129% (Eglharting 72, A-Grad) und 314% (Denklingen 05, A-Grad) erreichen. In konkreten Zahlen ausgedrückt bedeutet ein Höhenzuwachs von 314% in dem 143jährigen Fichtenbestand Denklingen 05, daß der tatsächliche Oberhöhenzuwachs/Jahr bei 14 cm liegt, die Tafelreferenz aber nur 4,5 cm ausweist.

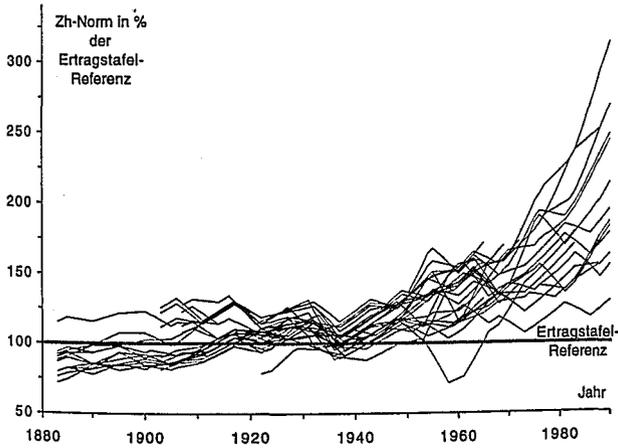


Abb. 1

Normierter Oberhöhenzuwachs (Zh-Norm) der 27 Parzellen auf den 9 Versuchsreihen über dem Kalenderjahr
Standardised top height increment of the 27 parcels on the 9 trial series, plotted against the calendar year

3.1 Regressionsanalytische Schätzung

Zur regressionsanalytischen Schätzung der Bonitätsentwicklung wurden die Ausgangsbonität, die der betreffende Bestand um das Jahr 1920 innehatte, sowie weitere Variablen als Bestimmungsgrößen gewählt. Zielvariable war die Bonität im jeweiligen Jahr. Eine schrittweise multiple Regression ermittelte die Ausgangsbonität und Transformationen der Variablen Kalenderjahr und Bestandesalter als signifikante Erklärungsgrößen. Die statistischen Kennwerte lassen den

¹⁾ Die für die einzelnen Bonitäten aus der Tafel abgegriffenen Höhenzuwächse dienen als Bezugsgrößen zur Normierung der Zuwachswerte der Versuchsfelder. Dabei wurde für jede Versuchsreihe die bei der ersten Aufnahme ermittelte Oberhöhe zur Festlegung der Ursprungsbonität herangezogen. Zum besseren Verständnis sei darauf hingewiesen, daß die Normierung den bei Darstellung von Absolutwerten altersbedingt fallenden Fächer der Höhenzuwachskurvenschar auf eine einzige, abszissenparallele Gerade (Ertragstafel-Normverlauf) reduziert. Somit weist jede Abweichung einer Zuwachskurve von dieser Norm für die betreffende Parzelle ein nicht modellkonformes Wuchsverhalten aus (Mehr- bzw. Minderzuwachs).

strengen Zusammenhang zwischen der Zielgröße und den Erklärungsvariablen erkennen (Tab. 1). Wie die Regressionskoeffizienten belegen, fällt der Einfluß des Kalenderjahres wesentlich höher aus als der Einfluß des Bestandesalters. Da die untersuchten Bestände nur den Bonitätsbereich zwischen 32 und 40 nach der Ertragstafel ASSMANN/FRANZ abdecken und zum Zeitpunkt der letzten Aufnahme zwischen 110 und 143 Jahren alt waren, erschien eine Berechnung der Funktionswerte nur für dieses Bonitäts- und Altersspektrum zulässig. Deshalb enthält Abbildung 2 nur einen Überblick über die Bonitätsentwicklung theoretischer Modellbestände, die im Basisjahr 1920 Ausgangsbonitäten von 32, 36 und 40 aufweisen und die im Jahr 1990 Alter von 100, 120 bzw. 140 Jahren besitzen. Die Bonitätsschätzung erfolgte für den Zeitraum von 1920 bis 1995, eine Extrapolation über das Jahr 1995 hinaus wäre hypothetischer Natur gewesen und mit dem vorliegenden Datenmaterial auch nicht zu rechtfertigen. Insofern erlaubt die Schätzfunktion nur eine Zustandsbeschreibung, aber keine Prognose der künftigen Bonitätsentwicklung.

Aus der Grafik geht hervor, daß die Verbesserung für den Schätzzeitraum von 1920 bis 1995 zwischen 2,24 Bonitätsstufen bei einem Bestandesalter von 100 im Jahr 1990 und 2,67 Bonitätsstufen bei einem Bestandesalter von 140 im Jahr 1990 liegt. Außerdem hat die Geschwindigkeit der Bonitätsänderung im Lauf der Zeit merklich zugenommen: Während in der Dekade zwischen 1920 und 1930 die Verbesserung je nach Bestandesalter 0,10 bis 0,16 Bonitätsstufen betrug, lag sie im Zeitraum zwischen 1980 und 1990 mit Werten von 0,47 bis 0,53 Bonitätsstufen fast 5 mal höher.

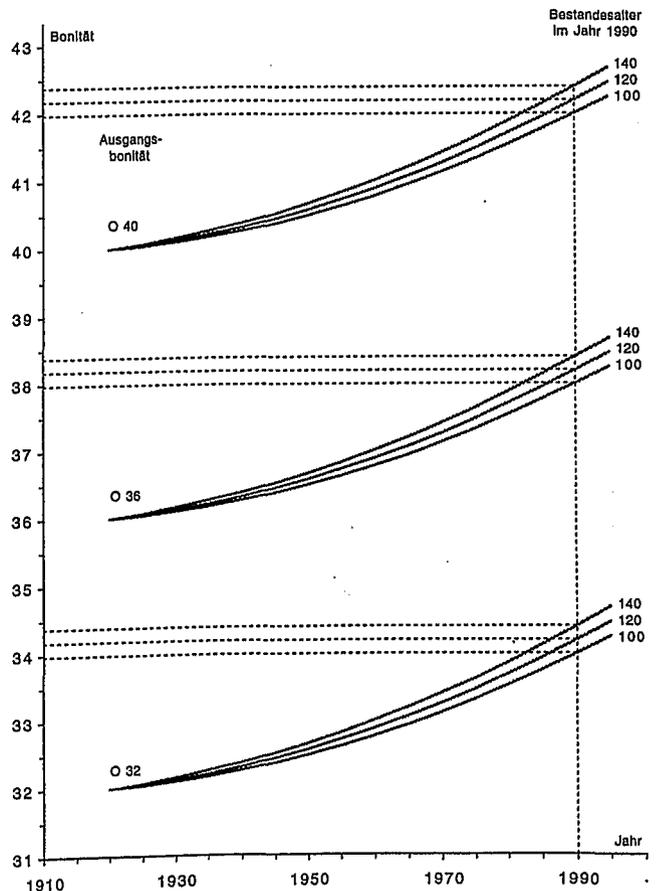


Abb. 2

Bonitätsentwicklung südbayerischer Fichtenbestände nach den Ergebnissen der Regressionschätzung für den Zeitraum von 1920 bis 1995. Jahr 1990 durch Signatur besonders hervorgehoben
Site class development of southern Bavarian spruce stands for the time period from 1920 to 1995. The year 1990 is provided with special symbolisation

Tab. 1

Statistische Kennwerte der Regressionsfunktion zur Schätzung der Bonitätsentwicklung von 1920 bis 1995
 Statistical characteristics of the regression function for the estimation of site class development from 1920 to 1995

$$BON = a_0 + a_1 \cdot A-BON + a_2 \cdot JHR^2 + a_3 \cdot ALT^2$$

BON: Bonität im jeweiligen Jahr
 A-BON: Ausgangsbonität im Jahr 1920
 JHR: Kalenderjahr
 ALT: Bestandesalter im jeweiligen Jahr
 a_0, a_1, a_2, a_3 : Regressionskoeffizienten

Stichproben- umfang	Bestimmt- heitsmaß	Signifi- kanzgrad	Regressions- koeffizienten
234	0,961	***	a_0 9,4571 E-01 a_1 9,6402 E-01 a_2 2,3924 E-04 a_3 7,0548 E-05

Um die Absolutbeträge der Kalenderjahre bei den Transformationen (getestet wurden quadrierte Werte wie auch höhere Potenzen) nicht ins „Astronomische“ wachsen zu lassen, wurde das Jahr 1911 programmintern mit dem Betrag „1“ belegt, das Jahr 1912 mit dem Betrag „2“ usw.

3.2 Bonitierungsflächen für die Fichte in Bayern

Wie gezeigt wurde, werden die bisherigen Bonitierungsgrundlagen dem aktuellen Status quo nicht mehr gerecht. Deshalb wird für die Fichte in Bayern ein neuer Bonitätsfächer präsentiert. Daß dieses Unterfangen kritisch zu bewerten ist, steht außer Frage, da zur Konstruktion eines aktualisierten Fächers nur Informationen von Beständen mit Bonitäten über 32 vorlagen und die momentanen Umweltbedingungen noch (?) keinen neuen Gleichgewichtszustand

erreicht haben, sondern vielmehr intermediären Charakter aufweisen und möglicherweise raschen und nicht annähernd vorhersagbaren Verschiebungen unterliegen werden.

Zur Konstruktion des neuen Bonitierungsflächen für wurde eine von Sloboda (1971) vorgeschlagene Differentialgleichung verwendet, die bereits mehrfach erfolgreich zum Ausgleich von Höhenwachstumsverläufen bzw. bei der Ertragstafelaufstellung herangezogen wurde (NAGEL, 1985; RÖHLE 1992). Bei dem Vergleich des neuen Bonitätsfächers mit der Ertragstafel ASSMANN/FRANZ fällt neben der Erweiterung des Leistungsspektrums (bis Bonität 48) und des Altersrahmens (bis 140 Jahre) insbesondere auf, daß die Kurvenverläufe zwischen dem Alter 40 und dem Bonitierungsalter 100 weniger stark gekrümmt sind und der Zuwachstrend nach dem Alter 100 steiler verläuft als in der Tafel angegeben. Die in Abbildung 3 eingetragenen Höhenentwicklungen von 4 jüngeren bzw. mittelalten Fichtenflächen demonstrieren darüber hinaus, daß in Bayern derzeit auf den besten Standorten Bonitäten zwischen 44 (Stadtwald Augsburg) und 46 (Kaufbeuren) erreicht werden.

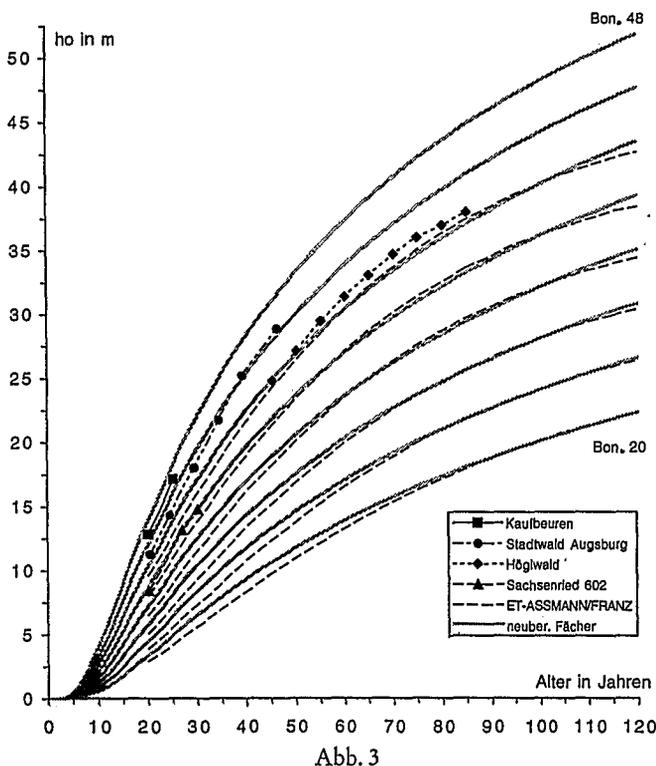


Abb. 3
 Vergleich des Neuberechneten Bonitätsfächers für die Fichte in Bayern mit dem Bonitätsfächer der Ertragstafel ASSMANN/FRANZ und Höhenwachstumsgängen ausgewählter Versuchsflächen. Zur besseren Übersichtlichkeit ist der Neuberechnete Fächer nur in der 4er Bonitätsstufe (Bonitäten 20, 24 bis 44, 48) ausgedruckt

Comparison of the new site class system for spruce in Bavaria with the site class system of the ASSMANN/FRANZ yield table and the height growth curves of selected trial plots.

- ASSMANN/FRANZ site class system: black broken lines
- new site class system: boldtype grey lines

4. ÄNDERUNG DES ERTRAGSNIVEAUS

Wachstumsfördernde Änderungen der Standortverhältnisse schlagen sich bei älteren Fichtenbeständen in einer Abschwächung oder sogar in einer Umkehr des Alterstrends nieder. Jüngere Bestände reagieren darauf i.d.R. mit einem steiler ansteigenden Zuwachsverlauf, was zu drastischen Verbesserungen der Wuchsleistungen führen kann. So beobachteten KENK et al. (1991) an Fichte in Baden-Württemberg Bonitätsanstiege um bis zu 10 Stufen nach der Ertragstafel ASSMANN/FRANZ (Versuchsfläche 116, Forstbezirk Obertal: Anstieg von Bonität 28 auf 38). Diesbezügliche Untersuchungen auf 2 Fichtenstandorten im Bereich der Forstämter Schongau (Vorbestand Sachsenried 03 / Folgebestand Sachsenried 602) und Kaufbeuren (Vorbestand Ottobeuren 08 / Folgebestand Kaufbeuren) deuten ebenfalls auf eine Steigerung des Leistungsvermögens hin (Tab. 2). Ein Teil dieser Überlegenheit ist sicherlich auf die geringeren Begründungsdichten der Folgegenerationen zurückzuführen, wodurch selbst im A-Grad für den Einzelbaum günstigere Wuchskonstellationen geschaffen worden sein dürften. Dadurch lassen sich aber nur die Divergenzen der Mittelstammwerte erklären, nicht jedoch die enormen Unterschiede bei den übrigen Ertragsgrößen. Auffällig ist darüber hinaus, daß der Wachstumsvorsprung bei den Grundflächen- und Vorratswerten stärker in Erscheinung tritt als bei der Höhenentwicklung. Dies bedeutet, daß nicht nur die Bonität angestiegen ist, sondern auch eine Verbesserung des Ertragsniveaus selbst stattgefunden haben muß. Abbildung 4 zeigt die Überlegenheit der Folgebestände am Beispiel der Volumenentwicklung: So liegt der Vorrat auf

Tab. 2

Leistungen von Vor- und Folgebeständen auf den Flächen Sachsenried 03/Sachsenried 602 und Ottobeuren 08/Kaufbeuren. Absolutwerte nach den Flächenaufnahmen und Relativwerte (kursiv in Klammern) in % der Angaben der Bonität O 40, Fichten-Ertragstafel ASSMANN/FRANZ (1963)

Performances of advance and successive crops on the plots Sachsenried 03/Sachsenried 602 and Ottobeuren 08/Kaufbeuren. Absolute values according to surveys of plots and relative values (in brackets) given in % of the O 40 site class, ASSMANN/FRANZ yield table (1963)

Versuchsfläche	Jahr	Alter	N	G	dm	hm	ho	V
Sachsenried 03 (Vorbestand)	1882	33	7428	43,3	8,6	10,6	13,8	180
in % von O 40			(230)	(112)	(57)	(72)	(78)	(62)
Sachsenried 602 (Folgebestand)	1992	29	4708	59,5	12,7	12,5	14,5	339
in % von O 40			(46)	(183)	(96)	(98)	(95)	(154)
Ottobeuren 08 (Vorbestand)	1882	32	4232	54,8	12,8	14,0	17,1	356
in % von O 40			(171)	(146)	(88)	(98)	(100)	(129)
Kaufbeuren (Folgebestand)	1993	25	3175	48,3	13,9	14,7	17,1	341
in % von O 40			(99)	(153)	(124)	(141)	(134)	(212)
Et Ass./FRANZ, Bon. O 40		25	3217	31,6	11,2	10,4	12,8	161
		30	2467	35,9	13,6	13,2	16,0	235
		35	1979	39,8	16,0	16,0	18,0	311
N	Stammzahl/ha		G	Grundfläche in m ² /ha				
dm	Mitteldurchmesser in cm		hm	Mittelhöhe in m				
ho	Oberhöhe in m		V	Volumen in VfmD/ha				

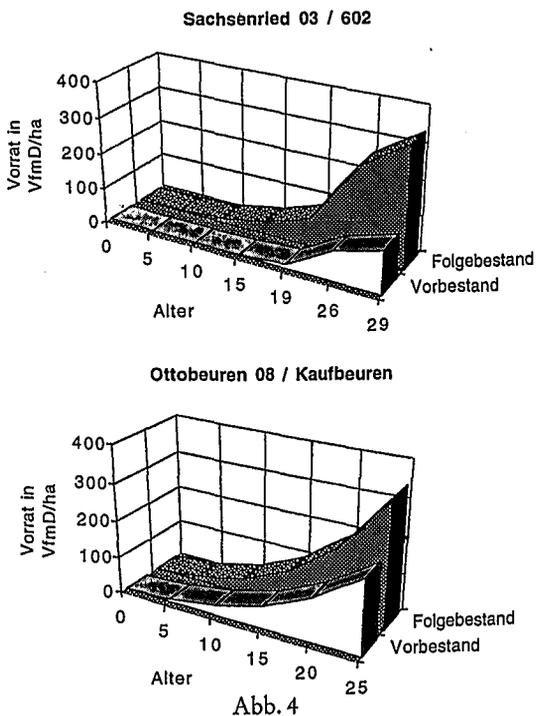


Abb. 4

Volumenentwicklung von Vor- und Folgebeständen auf den Flächen Sachsenried 03/Sachsenried 602 (oben) und Ottobeuren 08/Kaufbeuren (unten) im Vergleich

Volume development of advance and successive crop on the plots Sachsenried 03/Sachsenried 602 (top), and Ottobeuren 08/Kaufbeuren (below)

der Versuchsfläche Sachsenried 602 im Alter von 29 Jahren bei 339 VfmD/ha; die Vorgängergeneration dagegen erreichte im Alter von 33 Jahren mit 180 VfmD/ha nur 50% der stehenden Masse, welche die Fichte heute 4 Jahre früher erbringt. Mindestens ebenso bemerkenswert ist die Vorratsakkumulation auf der Probefläche Kaufbeuren: Hier stockt im Folgebestand im Alter 25 mit einem Volumen von 341 VfmD/ha fast dieselbe Holzmasse, die der nach ASSMANN (1961) ausgesprochene raschwüchsige Vorbestand mit 356 VfmD/ha erst im Alter 32 erreicht hatte.

Allerdings sind die von ASSMANN/FRANZ für die Fichte in Bayern formulierten Ertragsniveaubeziehungen nicht nur im Lichte von Klimaänderung und Stickstoffeinträgen kritisch zu überprüfen, wie die Grundflächenentwicklungskurven der beiden A-Grad-Parzellen auf den Versuchsflächen Ottobeuren 08 und Denklingen 05 unterstreichen (Abb. 5): Während auf der Fläche Ottobeuren 08 die Grundfläche mit 86 m²/ha im Alter von 69 Jahren kulminiert und danach bis zum Ende der Beobachtung langsam aber stetig auf 82 m²/ha zurückfällt, wächst auf der Fläche Denklingen 05 die Grundfläche über die gesamte Meßperiode kontinuierlich an; das Maximum von 90 m²/ha wird erst bei der letzten Aufnahme erreicht. Aus diesen grundsätzlichen Unterschieden in der Entwicklungsdynamik darf gefolgert werden, daß die standörtliche Leistungsfähigkeit differenzierter betrachtet werden muß, als dies in dem gestaffelten Ertragsniveaufächer der Fichtentafel ASSMANN/FRANZ zum Ausdruck kommt.

5. AUSBLICK

Als Hauptfaktoren für die veränderten Wachstumsbedingungen werden die Entwicklung von Klimageschehen, CO₂-Gehalt und Stickstoffkonzentration der Atmosphäre angesehen. Allerdings ist

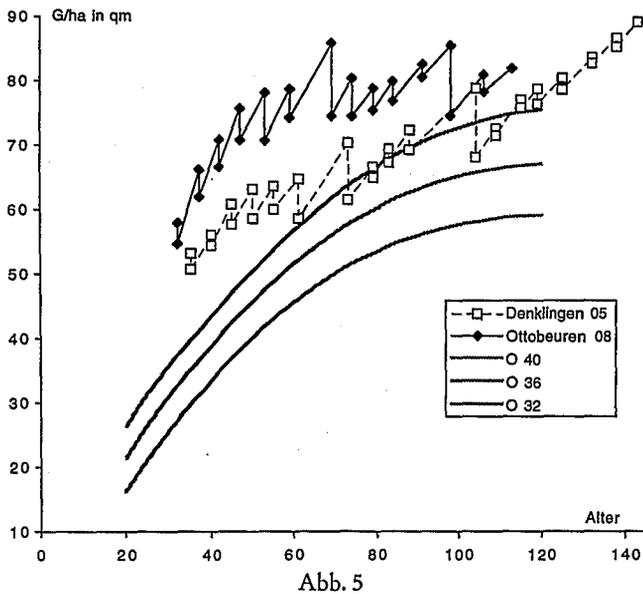


Abb. 5
Grundflächenentwicklung auf den A-Grad-Parzellen der Versuchsfelder Denklingen 05 und Ottobeuren 08 über dem Alter

Basal area development on the thinning-grade-A parcels of the trial plots Denklingen 05 and Ottobeuren 08, plotted against the age

die Waldwachstumskunde mit dem ihr zur Verfügung stehenden Instrumentarium nicht in der Lage, eine umfassende Datengrundlage bereitzustellen, mit der sie aus eigener Kraft die Ebene der rein deskriptiven Analyse verlassen könnte. Daraus lässt sich für die waldwachstumskundliche Forschung die Notwendigkeit ableiten, künftig verstärkt in interdisziplinären Vorhaben mitzuarbeiten. Nur dann wird es gelingen, die relevanten Umweltparameter zu quantifizieren und mit den biologischen Wirkungsmechanismen zu verknüpfen und damit zum besseren Verständnis der im Wald ablaufenden Produktionsvorgänge beizutragen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Auf Fichten-Hochleistungsstandorten in Südbayern werden Trendänderungen im Wuchsverhalten analysiert. Besonderes Augenmerk wird dabei auf Bonitätsverbesserungen und Ertragsniveauänderungen gelegt:

- Auf den untersuchten Flächen verläuft die Höhenentwicklung bis 1950 weitgehend ertragstafelkonform und lässt danach bis 1990 im Vergleich zur Ertragstafel ASSMANN/FRANZ ein beschleunigtes Wachstum erkennen.
- Die bisher gültigen Grundlagen zur Bonitierung der Fichte werden dem aktuellen Status quo nicht mehr gerecht. Deshalb wird ein neuer Bonitätsfächer präsentiert.
- Der unmittelbare Wachstumsvergleich von Vorgänger- und Folgegeneration auf demselben Standort belegt die Leistungsüberlegenheit junger Fichtenbestände und weist neben einem Anstieg der Bonität auch auf eine Verbesserung des Ertragsniveaus hin.

7. Summary

Title of the paper: *Site class improvements and production level changes in southern bavarian spruce stands.*

Trend changes in growth behaviour are analysed on high-yield spruce sites in southern Bavaria. Here, special emphasis has been placed on site class improvements and production level changes.

- The height development up to 1950 is largely in conformity with the ASSMANN/FRANZ yield table, thereafter up to 1990 it shows an accelerated growth compared to the table.
- The basic rules for site class assessment of spruce that have been valid until now do no longer correspond to the actual status quo. Therefore, a new site class system is presented.
- The immediate growth comparison between the advance and successive generation on the same site ascertains the superiority in performance of young spruce stands and points also to a production level improvement in addition to an increase of site class.

8. Résumé

Titre de l'article: *Modification de la fertilité et du niveau de production des peuplements d'épicéas du sud de la Bavière.*

Sur des stations d'épicéas hautement productives du sud de la Bavière on a analysé les nouvelles tendances du processus de la croissance, en s'attachant tout particulièrement aux augmentations de fertilité et aux modifications du niveau de production.

- Sur les parcelles étudiées, la croissance en hauteur correspondait très sensiblement à celle donnée par les tables de production jusqu'en 1950; ensuite, jusqu'à 1990, la croissance se révèle plus rapide que celle des tables ASSMANN/FRANZ.
- Les bases retenues jusqu'à maintenant pour le classement des épicéas ne conviennent plus à la situation actuelle et c'est la raison pour laquelle on propose des nouvelles classes de fertilités.
- La comparaison directe de 2 générations successives sur la même station établit la supériorité de la production des jeunes peuplements d'épicéas et montre, outre une élévation de la fertilité, une amélioration du niveau de production.

J. M.

9. Literatur

- ASSMANN, E.: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft, München-Bonn-Wien, 1961
- ASSMANN, E und FRANZ, F.: Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern. Selbstverlag Institut für Ertragskunde der Forstl. Forschungsanstalt, München, 1963
- FOERSTER, W., BÖSWALD, K. und KENNEL, E.: Vergleich der Inventurergebnisse von 1971 und 1987. AFZ 47, 1178-1180, 1993
- FRANZ, F.: Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. FwCbl 102, 186-201, 1983
- KELLER, W.: Bonität in Fichten-Folgebeständen ehemaliger Fichten-Versuchsfelder der WSL. Tagungsberichte der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, 123-129, 1992
- KENK, G., SPIECKER, H. und DIENER, G.: Referenzdaten zum Waldwachstum. Kernforschungszentrum Karlsruhe. KfK-PEF 82. 1991
- NAGEL, J.: Wachstumsmodell für Bergahorn in Schleswig-Holstein. Dissertation, Universität Göttingen 1985
- PRETZSCH, H.: Zunehmende Unstimmigkeiten zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. FwCbl 111, 366-382, 1992
- RÖHLE, H.: Yield tables for Aleppo pine (*Pinus halepensis*) in Israel. Selbstverlag Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, 1992
- Röhle, H.: Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayern, 48. Heft, 1995
- SLOBODA, B.: Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differentialgleichungen erster Ordnung. MittBaWü/FVA Nr. 32, 1971
- SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M. und SKOVSGAARD, J. P.: Growth Trends in European Forests. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1996