

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

Sonderheft
zum 70. Geburtstag
von Prof. Dr. Dr. h. c. FRIEDRICH FRANZ

ISSN 0002-5852

INHALTSVERZEICHNIS

H. Pretzsch	Prof. Dr. Dr. h. c. FRIEDRICH FRANZ zum 70. Geburtstag	97
<i>AUFSÄTZE</i>		
H. Pretzsch	Wo steht die Waldwachstumsforschung heute? Denkmuster-Methoden-Feedback (Forest yield science – its present stand. Thought patterns, methods, feed-back)	98
K. von Gadow	Strukturentwicklung eines Buchen-Fichten-Mischbestandes	103
	(Development of the structure of a beech-spruce-forest)	
T. Preuhler	Waldwachstumskundliche Beobachtungen im Fichten/Tannen/Buchen-Urwaldreliktbe- stand „Höllbachspreng“ bei Zwiesel	106
	(Structure and growth in the virgin forest relict stand „Höllbachspreng“ near Zwiesel)	
H. Röhle	Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen	110
	(Site class improvements and production level changes in southern bavarian spruce stands)	
M. Kahn und H. Pretzsch	Das Wachstumsmodell SILVA – Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche	115
	(The growth model SILVA 2.1 – A parameterization for pure and mixed species stands from spruce and beech)	
H. Utschig	Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Mischbestände – Eine ökologische und ökonomische Bewertung	124
	(Reconversion of pure spruce stands into mixed forests; an ecological and economic valuation)	
M. Bachmann	Zum Einfluß von Konkurrenz auf das Einzelbaumwachstum in Fichten/Tannen/ Buchen-Bergwäldern	127
	(About the effects of competition on individual tree growth in mountain forests)	
J. Ďurský	Modellierung der Absterbeprozesse in Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche	131
	(Modelling mortality in mixed spruce-beech stands)	
M. Meschederu	Erfassung und Modellierung des Strahlungsangebotes in Fichten-Buchen Mischbeständen	134
	(Recording and modelling of radiation climate in spruce-beech mixed stands)	

168. JAHRGANG 1997 HEFT 6/7 JUNI/JULI

D. SAUERLÄNDER'S VERLAG FRANKFURT AM MAIN

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

Unter Mitwirkung der
Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten
von Freiburg i. Br. und Göttingen

herausgegeben von

Dr. H. Steinlin
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Freiburg i. Br.

Dr. Dr. h. c. H. Kramer
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Göttingen

ISSN 0002-5852

Erscheinungsweise: Jährlich 12 Hefte, bei Bedarf Doppelhefte (zweimonatlich).

Bezugspreis: Jährlich DM 258,— zuzüglich Zustellgebühr; Studenten und in Ausbildung befindliche Forstreferendare DM 206,40 (empf. Richtpreis). Preis der Einzelhefte je nach Umfang verschieden.

Bezug: Durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag. Das Abonnement gilt jeweils für einen Jahrgang. Es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlussheftes eines Jahrgangs eine Abbestellung erfolgt.

Manuskripte (es werden nur Erstarbeiten veröffentlicht) sind nach vorheriger Anfrage an die Herausgeber einzusenden. Für unverlangt eingegangene Manuskripte wird keine Gewähr übernommen. Rücksendung erfolgt nur, wenn Rückporto beiliegt.

Manuskripte mit Tabellen oder Abbildungen werden nur angenommen, wenn die Tabellen-Überschriften und die Abbildungs-Überschriften neben deutscher auch in englischer Sprache abgefaßt sind.

Der Autor hat in der Regel auch die Zusammenfassung in englischer Sprache mitzuliefern. Die Übersetzung ins Französische kann dagegen durch den Verlag erfolgen.

Interessierte Autoren bitten wir, die Hinweise zu beachten, die beim Verlag oder den Herausgebern zu erhalten sind.

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck – auch von Abbildungen –, Vervielfältigung auf photomechanischem oder ähnlichem Wege oder im Magnettonverfahren, Vortrag, Funk- und Fernsehsendung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – bleiben vorbehalten. Werden von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen einzelne Vervielfältigungsstücke im Rahmen des § 54 UrhG hergestellt und dienen diese gewerblichen Zwecken, ist dafür eine Vergütung gem. den gleichlautenden Gesamtverträgen zwischen der Verwertungsgesellschaft Wissenschaft GmbH, 60311 Frankfurt/Main, Großer Hirschgraben 17–21, und dem Bun-

desverband der Deutschen Industrie e. V., dem Gesamtverband der Versicherungswirtschaft e. V., dem Bundesverband deutscher Banken e. V., dem Deutschen Sparkassen- und Giroverband und dem Verband der Privaten Bausparkassen e. V., in die VG Wissenschaft zu entrichten. Die Vervielfältigungen sind mit einem Vermerk über die Quelle und den Vervielfältiger zu versehen. Erfolgt die Entrichtung der Gebühren durch Wertmarken der VG Wissenschaft, so ist für jedes vervielfältigte Blatt eine Marke im Wert von DM 0,40 zu verwenden.

Anzeigenannahme: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, 60322 Frankfurt am Main.

Anzeigenpreis: Die 43 mm breite mm-Zeile DM 0,87. Für Geschäftsanzeigen gilt die Preisliste Nr. 8. Anfragen an Verlag erbeten.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, 60322 Frankfurt am Main, Fernruf (069) 555217, Telefax (069) 5964344. Bankkonten: Commerzbank, Frankfurt a. M. 5408075; Frankfurter Sparkasse (Girokonto 96958); Postgirokonto: Frankfurt a. M. Nr. 896-607.

This journal is covered by Chemical Abstracts, by Current Contents Series Agriculture, Biology and Environmental Sciences (CC/AB) and by the Science Citation Index® (SCI®) of Institute for Scientific Information.

Die Anschriften der Mitarbeiter von Heft 6-7 des 168. Jahrgangs sind:

Diplom-Forstwirt M. BACHMANN, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Dr. J. ĎURSKÝ, Lehrstuhl für Forsteinrichtung und Geodäsie, Forstwissenschaftliche Fakultät der TU Zvolen, Masarykova 24, 96001 Zvolen, Slowakei

Prof. Dr. K. VON GADOW, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen, Büsungenweg 5, D-37077 Göttingen

Dr. M. KAHN, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, Forstwissenschaftliche Fakultät, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Diplom-Physiker M. MESCHEDERU, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Prof. Dr. H. PRETZSCH, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, Forstwissenschaftliche Fakultät, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

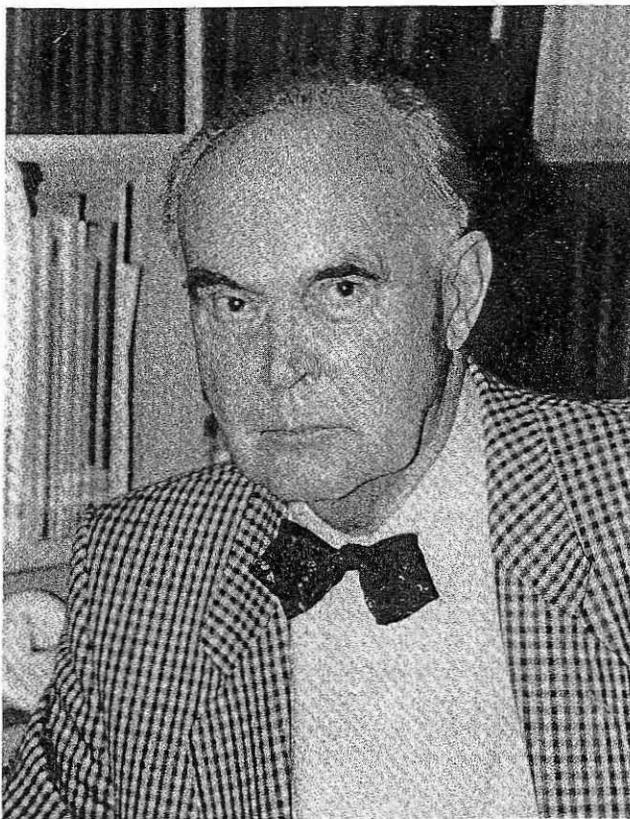
Dr. T. PREUHLER, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Prof. Dr. habil. H. RÖHLE, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, Technische Universität Dresden, Wilsdruffer Straße 18, D-01737 Tharandt

Forstoberrat Dr. H. UTSCHIG, Lehrstuhl für Waldwachstumsforschung der Ludwig-Maximilians-Universität, Am Hochanger 13, D-85354 Freising

Übersetzung der Résumés,
soweit sie nicht von den Autoren zur Verfügung gestellt werden:
J. MAHEUT, 25 Av. du Gal Leclerc, F-54600 Villers-les-Nancy

Prof. Dr. Dr. h.c. FRIEDRICH FRANZ zum 70. Geburtstag



Am 5. August 1997 feiert Professor Dr. Dr. h.c. FRIEDRICH FRANZ seinen 70. Geburtstag. Der Jubilar war mehr als 20 Jahre – von 1973 bis 1994 – Vorstand des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde an der Universität München und Leiter des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern.

Mit dem Namen FRIEDRICH FRANZ eng verknüpft ist die Einführung von EDV und Biometrie in die Deutsche Forstwissenschaft, der er damit völlig neue Wege der Erkenntnisgewinnung eröffnet hat. Die Möglichkeiten der EDV nutzend, hat er die biometrisch geprägte Forschungslinie von GEHRHARDT und ASSMANN weitergeführt und wissenschaftliches Neuland auf dem Sektor der waldwachstumskundlichen Modellbildung, der Prognose- und Simulationstechnik erschlossen. Wichtigstes Ergebnis dieser Arbeiten ist der Wachstumsimulator STAOET, der es erlaubt, die standorttypische Entwicklung von Reinbeständen unter den verschiedensten An- und Aufwuchsbedingungen auch bei sehr unterschiedlicher Behandlung zu simulieren und die Ergebnisse der Simulationsrechnungen in Standort-Leistungstabellen zusammenzufassen. Methodisch neu und richtungsweisend war die von ihm für Bayern konzipierte Großrauminventur mit angeschlossener Holzaufkommensprognose, die bis heute Vorbild zahlreicher Landesinventuren ist. Damit sind nur einige bedeutende Arbeiten genannt, die FRIEDRICH FRANZ internationale Anerkennung als Wissenschaftler eingebracht haben und die zuletzt mit der Verleihung des Ehrendoktorgrades durch die GEORG-AUGUST-Universität Göttingen, des Biometrie-Preises 1993 und des Dr. HANSKARL-GOETTLING-Preises 1995 gewürdigt wurden.

In Zeitz/Sachsen-Anhalt geboren, verbrachte FRIEDRICH FRANZ seine Schulzeit in Gardelegen in der Altmark. Noch vor dem Abitur wurde er von der Schulbank zum Reichsarbeitsdienst und zur Wehrmacht einberufen, geriet als 18jähriger in britische Kriegsgefangenschaft und konnte seine Schulausbildung erst 1947 abschließen. Als Forsteleve lernte er dann unter Prof. Dr. FRITZ RIECKE das Forstamt Bischofswald in Sachsen-Anhalt kennen. Sein Studium der Forst-

wissenschaften von 1947 bis 1952 an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin und Eberswalde verband er mit einem Praktikum am Lehrforstamt Eberswalde unter Leitung der Professoren HEINRICH OSTWALD und EGON WAGENKNECHT und einer Waldfacharbeiterlehre, während der er unter Prof. ALEXIS SCAMONI in der Standortkartierung tätig war.

Nach Abschluß seiner Studienzeit im Jahre 1952 bearbeitete er gemeinsam mit den Kollegen Dr. G. LEMBCKE, H.-U. Pagel, H. SÖGDING und D. KOPP am Institut für Forstwissenschaften Eberswalde unter Leitung von Prof. WERNER ERTELD ertragskundliche, standortkundliche und inventurtechnische Forschungsprojekte. Die Ergebnisse dieser außerordentlich produktiven Schaffensphase mündeten in methodisch neue Arbeiten zum Standort-Leistungs-Bezug, den Aufbau einer biometrischen Arbeitsgruppe und in die Promotion im Jahre 1957 bei den Professoren ERTELD, WAGENKNECHT und RICHTER zum Thema „Methodische Untersuchung der Verteilung der guten Zuwachsträger im gleichaltrigen Kiefern-Reinbestand“. Es folgte eine Assistentenzeit, in der er in Eberswalde als Dozent für Holzmeßkunde und Ertragskunde tätig war.

Nachdem er am 1. August 1960 mit seiner Familie die DDR verlassen hatte, begann seine Schaffensphase am damaligen Institut für Forstliche Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München unter Leitung von Professor Dr. ERNST ASSMANN. Im Mittelpunkt standen zunächst wieder standortkundlich-ertragskundliche Untersuchungen, für die er in Zusammenarbeit mit seinen Kollegen REINHARD KENNEL und ANTON SCHMIDT mit großem Erfolg die Methoden der elektronischen Datenverarbeitung nutzbar gemacht hat. In dieser Zeit hat FRIEDRICH FRANZ zusammen mit Professor ASSMANN unter Ausnutzung modernster EDV im Jahre 1963 eine erste mehrgliedrige, in 3 Ertragsniveaustufen untergliederte Ertrags-tafel für Fichtenbestände in Bayern konstruiert. Mit seiner Schrift „Die Ergebnisse standortkundlich ertragskundlicher Forschung als Grundlage zuverlässiger Ertrags-schätzungen auf gegebener Stand-

orteinheit“ und einem Vortrag „Möglichkeiten und Grenzen der elektronischen Datenverarbeitung in der Forstwissenschaft“ habilitierte sich FRIEDRICH FRANZ im Jahre 1968 vor der Staatswirtschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. Zum 1. Januar 1973 wurde er als Nachfolger von Prof. Dr. ASSMANN auf den Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumkunde berufen und hatte seitdem auch die Leitung des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern inne. Die Liste der Veröffentlichungen von FRIEDRICH FRANZ umfaßt rund 100 Arbeiten. Bei all seinen wissenschaftlichen Leistungen ist FRIEDRICH FRANZ wie nur wenige Forstwissenschaftler auch den Belangen der forstlichen Praxis eng verbunden geblieben. Als Leiter des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern hat er stets Impulse der Praxis aufgegriffen und in Versuche zu neuen Behandlungsvarianten, Baumartenmischungen und Bestandesstrukturen umgesetzt. Mit derselben Konsequenz, mit der er mehr als 20 Jahre neue Forschungsideen entwickelte und die Kontinuität des Bayerischen Ertragskundlichen Versuchswesens gewährleistete, setzte er sich für Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ein, so daß er heute auf eine beachtliche Schar von Schülern blicken kann. FRIEDRICH FRANZ hat während seiner über 20jährigen Tätigkeit am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumkunde 5 Habilitationen, 20 Promotionsarbeiten und, zusammen mit seinen Mitarbeitern, rund

100 Diplomarbeiten geleitet. Die von ihm geprägte außerordentlich freie und produktive Arbeitsatmosphäre und seine gewinnend herzliche Art haben immer wieder junge Wissenschaftler angezogen, die dort in einer akademischen Freiheit wirken konnten, wie sie an Forschungsinstituten nur selten zu finden ist.

Anfang 1994 wurde FRIEDRICH FRANZ im Alter 66 Jahren emeritiert. Leider hat ihn sein nicht immer guter Gesundheitszustand daran gehindert, eine Reihe von Projekten weiter zu verfolgen, deren Ausführung ihm nach seiner Emeritierung besonders am Herzen lag. Dazu gehören unter anderem die Neufassung der „Waldtragskunde“ von ERNST ASSMANN und des „Forstlichen Versuchswesens“ von AUGUST GANGHOFER.

Ihm und seiner Frau gilt an dem runden Geburtstag, den er sicher im Kreis seiner 4 Kinder und Enkel feiern wird, unsere herzliche Gratulation. Seine akademischen Schüler, ehemaligen Mitarbeiter und Freunde wünschen ihm zum Geburtstag vor allem eine Stärkung seiner Gesundheit, die es ihm erlauben möge, den Weg der Waldwachstumsforschung in München noch recht lange mit kritischem Verstand zu begleiten.

H. PRETZSCH

Wo steht die Waldwachstumsforschung heute? Denkmuster-Methoden-Feedback¹⁾

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumkunde der Universität München

(Mit 1 Abbildung)

Von H. PRETZSCH

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Waldwachstumsforschung; Denkmuster; Systemverständnis; Methoden; Umsetzung.

Forest yield science; thought patterns; systems thinking; methods; feed-back.

1. EINLEITUNG

Veränderungen der Wachstumsbedingungen, der Waldaufbauformen und des Interesses am Wald fordern die Waldwachstumsforschung heute zu neuen Denkmustern, Untersuchungsmethoden und Informationstechniken heraus. Je nach biologischem Systemverständnis, methodischem Rüstzeug und vorhandener Datenbasis werden waldwachstumkundliche Forschungseinrichtungen diesen Herausforderungen mit Lösungsansätzen begegnen, die mehr oder weniger biologisch, praktisch umsetzbar und beständig sind. Konzentriert sich das Erkenntnisinteresse der Waldwachstumsforschung zu sehr auf biologische Gesetzmäßigkeiten, so gehen Anwendungsbezug und die aus der forstlichen Praxis kommenden Richtungsimpulse verloren. Greift die Waldwachstumsforschung dagegen ausschließlich praxisnahe Fragen auf, so wird sie zu reiner Zweckforschung, der biologische Denkmuster fehlen, wie sie für das tiefere Verstehen und Steuern von Waldökosystemen nötig sind. Wo also steht die Waldwachstumsforschung heute, wo im Spannungsfeld zwischen Theorie und Praxis? Die Antwort auf diese Frage soll am

Beispiel der Waldwachstumsforschung in München entwickelt werden. Dort haben AUGUST GANGHOFER und FRANZ VON BAUR mit Gründung und Ausbau des Versuchsflächennetzes sowie ERNST ASSMANN und FRIEDRICH FRANZ mit dem Übergang zu einer biologisch begründeten und biostatistisch modernisierten Waldwachstumsforschung schon früh die Basis für ein ausgewogenes Verhältnis zwischen praktischer Ausrichtung und theoretischer Fundierung geschaffen. Die folgende Standort- und Perspektivenbestimmung baut dankbar auf der wissenschaftlichen Leistung dieser und anderer Forscherpersönlichkeiten auf.

2. DENKMUSTER

Das tradierte Denkmuster der Waldwachstumsforschung orientiert sich an einschichtigen Reinbeständen, geht von statischen Standortbedingungen aus und ist primär an der Holzproduktion interessiert. Der Erkenntnisweg der Waldwachstumsforschung ist von der Versuchsplanung, über die Messung, Datenorganisation, Modellierung bis hin zur Technik der Wissensrückführung zu Entscheidungsträgern auch heute noch von diesem Denkmuster geprägt. Diese vereinfachende Auffassung vom Waldbestand als strukturarmes geschlossenes System mit der wichtigsten Variable Holzvolumen erscheint heute aber als totes Gleis. Sie vermag kaum noch neue Erkenntnisse zu erbringen und wird dem erweiterten Informationsbedarf forstwirtschaftlicher und umweltpolitischer Entscheidungs-träger nicht mehr gerecht.

Reaktionen unserer Wälder auf Nutzung, Stoffeintrag und Klimaänderung reichen von Wachstumsverbesserungen bis zu Zuwachsverlusten und tiefgreifenden Destabilisierungen. Sie unterstreichen den

¹⁾ Herrn Professor Dr. Dr. h.c. FRIEDRICH FRANZ zum 70. Geburtstag gewidmet.

Charakter der Wälder als *offene Systeme*, die mit ihrer Umgebung Stoffe, Energie und genetische Informationen austauschen. Eine Quantifizierung der zu erwartenden ökologischen und sozioökonomischen Konsequenzen von Störeinflüssen und die Entwicklung gegensteuernder Maßnahmen, wie sie forstwirtschaftliche und umweltpolitische Entscheidungsträger heute von der Forstwissenschaft erwarten, ist unter vereinfachender Annahme konstanter Wuchsbedingungen nicht mehr möglich.

Die Ursachenanalyse der großregional ausgeprägten Wachstumsveränderungen hat Einzelerkenntnisse auf verschiedenen Auflösungsebenen erbracht, deren skalenübergreifende Integration durch eine zweite Eigenschaft von Wäldern möglich wird: Waldökosysteme sind *hierarchische Systeme*. Die sie treibenden Prozesse (Evolution, Sukzession, Systemerneuerung, Bestandesentwicklung, Stoffkreislauf, Bildung von Organen, Assimilation und Stoffaufnahme) laufen auf äußerst unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen. Die Prozesse auf den verschiedenen Ebenen sind nicht unabhängig voneinander, sondern korrespondieren miteinander über Regelkreise, Signale und Ordnungsparameter (ULRICH, 1993).

Bei der wissenschaftlichen Behandlung von Mischbeständen werden weitere Systemeigenschaften essentiell, die bei der Analyse und Nachbildung von Reinbeständen weitgehend ausgeblendet wurden. Konnte die Entwicklung von Reinbeständen die Raumstruktur noch vernachlässigen und über Bestandesmittelwerte und Bestandessummenwerte beschrieben werden, so würde ein solches Vorgehen in Mischbeständen eine zentrale Systemeigenschaft außer acht lassen. Eine Eigenschaft von Wäldern, die nach der Umwandlung von strukturalarmen Beständen verstärkt in den Vordergrund tritt, ist ihre *Struktur-Determinierung*. Die Bestandesstruktur stellt die Wuchsbedingungen von Einzelbaum und Bestand ein, die Wuchsbedingungen determinieren den Zuwachs, und der Zuwachs äußert sich wiederum in Strukturveränderungen von Baum und Bestand (Abb. 1). Im Extremfall hält die Bestandesstruktur Bäume über Jahrzehnte im Unterstand und wird so zur wichtigsten dynamikprägenden Einflußgröße.

Wenn in mehrschichtigen Beständen Bäume gleichen Alters aufgrund ihrer Geschichte unterschiedliche Höhen und Höhenzuwächse erbringen oder sich höhengleiche Bäume in ihrer weiteren Ent-

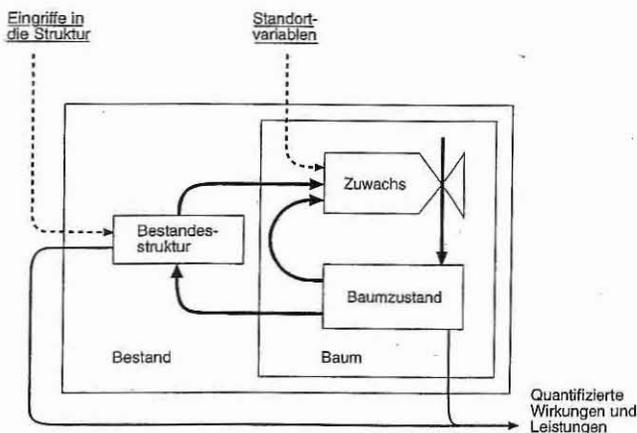


Abb. 1

Vereinfachtes Systemdiagramm des Wachstumsmodells SILVA mit den Ebenen Bestand und Baum, den externen Variablen zu Struktureingriff und Standort und der Rückkopplungsschleife Bestandesstruktur → Zuwachs → Baumzustand → Bestandesstruktur

Simplified system diagram of the growth model SILVA 2.0 with the levels stand and tree, the external variables describing structural modification and site conditions and the feedback loop stand structure → growth → tree dimension → stand structure

wicklung grundlegend unterscheiden, so läßt das den *dynamischen Systemcharakter* von Wäldern erkennen. Waldbestände und Bäume entwickeln sich nicht – wie beispielsweise in den Ertragstafeln unterstellt –, allein in Abhängigkeit von der Zeit, sondern sind in hohem Maße von Ereignissen in zurückliegenden Entwicklungsphasen determiniert. So kann beispielsweise die zu erwartende Entwicklung unterständiger Bäume, die vielfach eine Brücke zu dauerwaldartigen Bestockungen darstellen, nur unter Berücksichtigung der individuellen Geschichte korrekt eingeschätzt werden.

Ihre Ausstattung mit einem Geflecht von Rückkopplungskreisen macht Waldbestände zu *kybernetischen Systemen*. Eindrucksvolles Beispiel für den stabilisierenden Effekt von Rückkopplungskreisen ist der Plenterwald, in dem große Teile des Bestandesraums mit assimilierender Biomasse besetzt sind, so daß auch stärkere Störungen der Bestandesstruktur kaum Zuwachseinbußen verursachen. Denn auf eine Verminderung der Bestandesdichte können die verbleibenden Bäume mit steigenden Zuwächsen reagieren. Eine solche zuwachsstabilisierende Rückkopplung ist in einschichtigen Beständen nur in viel geringerem Maße gegeben (ASSMANN und FRANZ, 1963).

Die Zunahme der Belastung von Waldbeständen, der Wandel im Waldaufbau und in der Waldbehandlung sowie die Veränderung der Nutzungsinteressen führen zu einer Erweiterung des Informationsbedarfes forstwirtschaftlicher und umweltpolitischer Entscheidungsträger. Neben Baum- und Bestandesattributen wie Massenleistung, Sortenleistung, Holzqualität und Wertleistung interessieren heute Strukturparameter, die vor allem den Erholungs- und Schutzwert des Waldes bestimmen und Indikatorgrößen, die die Risikobelastung bzw. ökologische Stabilität indizieren (BEESE, 1996). Die Waldwachstumsforschung muß auf eine solche Erweiterung des Informationsbedarfes mit der Erweiterung ihrer Variablenliste bei der Erfassung, Abbildung und Modellierung des Waldwachstums reagieren. Waldbestände werden damit zu Systemen, von denen uns *multikriterielle Zustands- und Ausgabegrößen* interessieren.

3. METHODEN

Welche Konsequenzen hat dieser Übergang zu einer wirklichkeitsnäheren Systemvorstellung für die Methoden der Erkenntnisgewinnung und für das Feedback zwischen Wissenschaft und Praxis? Klassische Methode zur Untersuchung der Wirkung von z.B. Durchforstung, Düngung oder Astung ist das Experiment. Im Experiment wird versucht, alle auf ein Versuchsfeld einwirkenden Faktoren bis auf die zu untersuchenden konstant zu halten. Die zu untersuchenden Faktoren werden dann in definierter Weise verändert und in ihrem Effekt auf die Entwicklung von Bäumen oder Beständen geprüft. Gerade die Faktoren Kohlendioxidkonzentration, Temperatur oder Niederschlag, Ozon oder Stickoxide, die uns durch ihre Einwirkung den offenen Systemcharakter von Wäldern erst so recht vor Augen geführt haben, sind im Freiland aber nur mit großem Aufwand einstellbar und deshalb experimentell schwer zugänglich. Werden solche Experimente dann im Freiland nur punktuell oder in Phytotronen unter künstlichen Bedingungen ausgeführt, so sind ihre Ergebnisse kaum auf die Fläche übertragbar.

Tragfähige Alternative zum Experiment ist in solchen Fällen das korrelative Erschließen der Beziehungen zwischen Standortfaktoren und Waldwachstum aus Streuversuchen und Längsschnittdaten. Ein Netz langfristiger Versuchsflächen, das ein breites Spektrum von Standorten abdeckt, langfristig unter definierter Behandlung gehalten wird und ebenso langfristig multikriterielle Reaktionsgrößen auf die definierten Einflüssen aufzeichnet, bietet der Waldwachstumsforschung eine solide Datenbasis für eine korrelations- und regressionsanalytische Analyse der Wachstumsreaktionen auf Veränderungen der Waldbehandlung und Wuchsbedingungen. Der von KAHN (1994) entwickelte Ansatz zur Schätzung der Höhenentwicklung in Abhängigkeit von Standortfaktoren bildet ein gutes Beispiel für das

korrelationsanalytische Erschließen und regressionsanalytische Quantifizieren von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen aus zeitlich und räumlich breit gestreuten Freilanddaten. Im Unterschied zu Experimenten erbringen Korrelationsanalysen aber lediglich Hypothesen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen, die es biologisch zu untermauern und zu prüfen gilt. Werden solche korrelativen Befunde in Wachstumsmodelle umgesetzt, so machen sie beispielsweise Prognosen zu den Klimafolgen möglich, die gegenüber denen mit bottom-up-Modellen den Vorteil einer gesicherten Datenbasis haben.

Indem die Waldwachstumsforschung Systemerneuerung, Bestandesentwicklung und Bildung von Organen mesoskalig über Dimensionsgrößen wie Durchmesser, Höhe, Kronenansatzhöhe, und Standortvariablen wie Niederschlag im Jahr und in der Vegetationsperiode, Jahresmitteltemperatur, Sonnenscheindauer usw. erfaßt, steht sie vermittelnd zwischen mikro- und makroskaliger Annäherung an das Waldwachstum. Sie versorgt höher auflösende Untersuchungsansätze mit Basisdaten zur Parametrisierung von Modellen und Validierung von Hypothesen und geringer auflösende Ansätze mit Rüstzeug zur Erklärung der Prozesse. Erklärung bedeutet auf jeder hierarchischen Ebene letztendendes nur Rückführung auf eine Ebene mit höherer Auflösung. Die Wirklichkeit wird bei abnehmender Ebene zwar mit höherer Auflösung, aber nicht zwangsläufig mit größerer Treffgenauigkeit im Gesamtverhalten des Systems approximiert (LANDSBERG, 1986).

Ihre solide Ausstattung mit standörtlich und zeitlich breit gestreuten hoch aggregierten Daten und ihre Praxisorientierung prädestinieren die Waldwachstumsforschung bei der Erfassung, Organisation und Modellierung für einen „top-down-Ansatz“. Ausgangspunkt ist eine Modellvorstellung vom Waldbestand, die zunächst nur die wichtigsten Triebkräfte einbezieht und nah an Eingabe- und Ausgabe-größen bleibt, mit fortschreitendem Wissen in der Beschreibung aber hierarchisch niedrigere Ebenen mit einbezieht und damit prozeßnäher wird. So wird das von KAHN (1994) entwickelte Standort-Leistungsmodell gegenwärtig um ein Wasserhaushalts- und Strahlungsmodell erweitert (MESCHEDERU, 1996).

Der Grad der Struktur-Determiniertheit der Waldentwicklung nimmt mit der Strukturvielfalt zu, so daß die Struktur in den Wäldern von morgen mehr und mehr zur dynamikprägenden Größe wird. Entsprechend wichtig werden Methoden zur quantitativen Behandlung der Bestandesstruktur. Bei der Erfassung läuft dies auf eine verfeinerte Aufnahme der Raumstruktur von Bestand, Biogruppe und Einzelbaum hinaus. Auf langfristigen Versuchsflächen und permanenten Inventurflächen sollten die Vermessung der Baumpositionen und Baumarchitektur unter Einbeziehung der Verjüngung weiter intensiviert werden. Methodisches Rüstzeug zur quantitativen Beschreibung von Struktur liefern Indizes für die Bestandesstruktur insgesamt und die Konkurrenz von Einzelbäumen. Solche Indizes verdichten geometrische Strukturinformationen zu biologisch interpretierbaren rechenfähigen Maßzahlen. Indizes für die Bestandesstruktur, wie sie u. a. CLARK und EVANS, COX, PIELOU entwickelt haben, quantifizieren die strukturelle Vielfalt und können so zur Einwertung der Schutz- und Erholungsleistung gegebener Bestandesaufbauformen beitragen. Für die modellhafte Nachbildung der Bestandesstruktur haben sich positionsabhängige Einzelbaummodelle besonders bewährt, weil sie die Struktur-Determiniertheit von Waldbeständen im Modell konsequent umsetzen. Sie zerlegen den Bestand in sein Mosaik von Einzelbäumen und bilden ihn als räumlich-zeitliches System nach (PRETZSCH, 1996). Zur Erklärung und Prognose des Zuwachses von Einzelbäumen werden dabei Konkurrenzindizes eingesetzt (BACHMANN, 1996).

Durch den Übergang zu strukturreichen und naturverjüngten Beständen wird außerdem die Entwicklungsgeschichte der Einzelbäume in größerer Bandbreite variieren, so daß der dynamische Systemcharakter von Waldbeständen stärker in den Vordergrund tritt. Ein tieferes Verstehen und wirklichkeitsnäheres Prognostizieren

wird deshalb verstärkt die genetischen Anlagen, die Entwicklungsgeschichte und das von diesen Faktoren geprägte äußere Erscheinungsbild von Baum und Bestand berücksichtigen müssen. Die bisher eher qualitative Beschreibung dieser Faktoren und ihrer Wirkung auf das Wachstum muß durch quantitative Methoden ersetzt werden. Genetische Inventuren auf verschiedenartig strukturierten Versuchsflächen nach den Vorschlägen von SCHOLZ (1993) und die Verknüpfung von genetischem und dendrometrischem Muster ebnet den Weg für eine Nutzbarmachung genetischer Informationen bei Systemanalyse und Prognose. Im Vergleich zu diesen inneren Anlagen und ihren Konsequenzen sind die äußeren Faktoren der Baum- und Bestandesgeschichte und ihre Wirkungen leichter zugänglich. So sind beispielsweise Bodenzustands- und Klimaentwicklung großregional dokumentiert und durch Transferfunktionen auf gegebene Waldstandorte übertragbar. Die Wuchskonstellation von Einzelbäumen ist entweder durch wiederholte Erfassung ihrer räumlichen Umgebungsstruktur bekannt oder über retrospektive Analysen aus Jahrmustern oder Kronenmorphologie rekonstruierbar. Mit der Quantifizierung solcher geschichtlicher Faktoren und der Analyse ihrer Wirkung auf Baum und Bestand reagiert die Waldwachstumsforschung auf den dynamischen Systemcharakter von Waldbeständen.

Zum Verständnis und zur Nachbildung der Rückkopplungsschleifen, die Waldbestände zu kybernetischen Systemen machen, kann die Waldwachstumsforschung wirkungsvolle Beiträge leisten. Die langfristigen Zeitreihen aus periodischen Zustandsaufnahmen von Altbestand und Verjüngung und die in demselben Zeittakt aufgezeichneten Triebkräfte wie Temperatur, Niederschlag, Durchforstungseingriff, Düngung, Astung usw. bilden ein bestens geeignetes Zahlenmaterial für eine systemanalytische Auswertung und Nutzung. Auch für fachübergreifende Ökosystemanalysen, bei denen Baum- und Bestandeswachstum in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erfaßt und modelliert werden, gewinnen Zeitreihen von Dauerversuchsflächen einen unschätzbaren Wert für die Modellparametrisierung und Validierung. Denn die Kombination aus langfristigen Zeitreihen zu Bestandesstruktur, Einzelbaumdynamik und Triebkräften, die gegebenenfalls über Transferfunktionen auf Bestand und Baum zu übertragen sind, eignen sich für alle Stufen einer systemanalytischen Behandlung: Für die Entwicklung von Modellvorstellungen, die Aufstellung und Parametrisierung der darin enthaltenen Differentialgleichungen, die Validierung sowie Optimierung von Struktur und Parametern des Modells und die permanente Aktualisierung des Modells als Prognose- und Forschungswerkzeug. Im Gegensatz zu Modellansätzen wie beispielsweise den Ertragstafeln, die keine Rückkopplungsschleifen enthalten, können kybernetische Modelle Systemreaktionen auf verschiedenartige Störungen quantifizieren. Diese Eigenschaft kybernetischer Modelle ist angesichts der zunehmenden Belastung unserer Waldbestände und den daraus entstehenden Fragen nach Entwicklungstrends, Stabilität oder gegensteuernden Maßnahmen heute unverzichtbar. Dank seiner Ausstattung mit dem in Abbildung 1 beispielhaft hervorgehobenen Rückkopplungskreis bildet der Simulator SILVA für ein breites Spektrum verschiedenartiger Störungen der Bestandesstruktur, wie sie z. B. Durchforstung, Verjüngungshieb, Sturmwurf, Windbruch darstellen, die Rückwirkungen auf Zuwachs und Struktur in Folgeperioden ab.

4. FEEDBACK

Der Wandel im Denkmuster läuft also hinaus auf eine Auffassung vom Wald als hierarchisches, offenes, dynamisches System, das räumlichen Charakter hat, durch ein Netz von Rückkopplungskreisen mit Anpassungsfähigkeit ausgestattet ist und an dem uns ein ganzer Vektor von Zustands- und Outputvariablen interessiert. Einerseits rückt die Waldwachstumsforschung mit diesem Wandel im Denkmuster Nachbarwissenschaften wie der theoretischen Ökologie, Biologie und Systemanalyse näher, deren Theorien und methodische Grundlagen

uns ein besseres Verständnis von Waldökosystemen ermöglichen. Andererseits wird mit größerer Wirklichkeitsnähe und dem Abrücken von Vereinfachungen bei der Erfassung und modellhaften Nachbildung von Waldbeständen der Wissenstransfer zwischen Forstwissenschaft und Praxis erschwert. Ein Kompendium von Ertragstabellen oder normativ festgelegte Behandlungsprogramme werden heute dem gewandelten Systemverständnis und Informationsbedarf forstwirtschaftlicher und umweltpolitischer Entscheidungsträger nicht mehr gerecht. Vielmehr erscheint angesichts der komplexeren Auffassung vom System Wald, des gewachsenen Kenntnisstandes und gestiegenen Informationsbedarfes eine rasche und am Nutzer orientierte Rückführung quantitativer Informationen zum Entscheidungsträger nur mehr über durch Computer gestützte Wachstumsmodelle möglich zu sein. Diese sollten sich in ihren Eingangs- und Ausgangsgrößen an der Informationsausstattung bzw. dem Informationsbedarf der Praxis orientieren, dabei aber so viel Systemverständnis wie möglich implizieren.

Mit dem bereits mehrfach vorgestellten Einzelbaumsimulator SILVA können verschiedene Behandlungsprogramme, Waldaufbauformen und Störeinflüsse in ihren ertragskundlichen, betriebswirtschaftlichen und ökologischen Konsequenzen analysiert und bewertet werden (PRETZSCH, 1996; PRETZSCH und KAHN, 1996). Das stark vereinfachte Flußdiagramm in Abbildung 1 zeigt, daß das Modell schon in seiner Grobstruktur von einem erweiterten Systemverständnis in folgenden Punkten ausgeht: Als externe Variablen steuern Behandlung, Risiko- und Standortfaktoren den Baumzuwachs und die Bestandesstruktur. Das Modell wird damit offen für die Abbildung der Wachstumsreaktionen auf Management- und Störeinflüsse. Der hierarchischen Organisation von Waldökosystemen trägt das Modell Rechnung, indem das Bestandeswachstum auf der Basis der Einzelbäume und das Einzelbaumwachstum wiederum u. a. von der Kronen- und Stammmorphologie determiniert wird. Durch Einbindung des Modells in ein geographisches Informationssystem wird die Modellierung ganzer Betriebsklassen oder Forstbetriebe möglich, eine feinere Nachbildung der Stamm- und Kronenentwicklung erbringt u. a. Aussagen zur Holzqualität. Die Verbindungsstellen zu Ebenen mit höherer und geringerer Auflösung sind vorgezeichnet. Dem räumlichen und dynamischen Systemcharakter wird SILVA gerecht, indem es in 5-Jahres-Schritten die räumliche Bestandesstruktur modelliert, aus dieser für jeden Baum seine individuelle Wuchskonstellation abgreift und den Baumzuwachs in Abhängigkeit von der Wuchskonstellation und der Ausgangsdimension des Baumes steuert. In der Dimension des Baumes zu Periodenbeginn sind jeweils die Resultate seiner geschichtlichen Entwicklung gespeichert. Die Rückkopplungsschleife Bestandesstruktur > Zuwachs > Baumzustand > Bestandesstruktur bildet gewissermaßen das Rückgrat des Modells und prägt neben anderen implizierten Rückkopplungen seinen kybernetischen Systemcharakter. Gewollte Eingriffe in die Struktur durch Läuterung, Durchforstung oder Verjüngung oder ungewollte durch Sturm, Wind oder Altersstod, lassen sich in ihren Konsequenzen für die Bestandesdynamik nachbilden. Die schrittweise Modellierung des Wachstums aller Einzelbäume über Differentialgleichungssysteme ermöglicht es, die auf den Holzertrag ausgerichteten Ergebnisgrößen Höhe, Brusthöhdurchmesser, Stammzahl usw. um Informationen zur Sortiment- und Holzerlösentwicklung, Bestandesstruktur, Bestandesstabilität und Diversität zu erweitern. Die Abwägung zwischen ertragskundlichen, sozioökonomischen und ökologischen Wirkungen und Leistungen von Waldbeständen wird damit auf eine quantitative Grundlage gestellt.

Die begonnene Einführung des Wachstumsmodells SILVA in Forschung, Lehre und Praxis erbringt ein zunehmend klareres Bild von den Anforderungen der Nutzer: An 1. Stelle steht eine möglichst breite datenmäßige Absicherung des Modells und Möglichkeit einer Reparametrisierung für vorgegebene Wuchsbedingungen, Kosten- und Preisspiegel. An 2. Stelle steht die Benutzerfreundlichkeit, die

durch eine professionelle Programmoberfläche, zweckorientierte graphische und numerische Aufbereitung der ertragskundlichen, ökonomischen und ökologischen Ergebnisgrößen und größtmögliche Flexibilität und Unterstützung bei der Vorgabe von Start und Steuergrößen gewährleistet werden kann. An 3. Stelle steht die Erweiterung des Aussagespektrums um Informationen zu Risiko, Holzqualität und Verjüngung. Die Einbindung des Modells in ein geographisches Informationssystem verspricht wertvolle betriebswirtschaftliche und ökologische Planungsgrundlagen auf Betriebsebene.

5. SCHLUSS

Statische und normative Ansätze der Modellierung und Steuerung von Waldbeständen schöpfen den Kenntnisstand über Waldökosysteme nicht annähernd aus und bleiben hinter dem Informationsbedarf und den Wuchsbedingungen weit zurück. Nur Gesetzmäßigkeiten und ausgereifte theoretische Grundlagen gewährleisten eine beständige Basis für das Verständnis und die Prognose des Waldwachstums (FRANZ, 1987). Das Forschungsinteresse richtet sich deshalb auf die Erschließung von Ursachen-Wirkungs-Beziehungen zwischen Triebkräften und Wachstum, auf neue Methoden der Erfassung und Organisation und ein verändertes Systemverständnis bei der Verdichtung von Informationen. Forstwirtschaftliche und umweltpolitische Entscheidungsträger können nicht auf eine abschließende mechanistische Erklärung des Waldökosystems warten; zumal eine erschöpfende mechanistische Klärung nie möglich sein wird. Denn Erklärung bedeutet letztlich immer nur Rückführung auf eine höhere Auflösungsebene, und hier gibt es keine Begrenzung (VON BERTALANFFY, 1951). Die forstliche Praxis muß vielmehr kontinuierlich weiter arbeiten und sollte hierbei bestmöglich mit quantitativen Informationen über Waldzustand und Walddynamik versorgt werden. Ausgangspunkt ist ein Prognose- und Erklärungsmodell für das Waldwachstum, das nach dem „top-down-Prinzip“ zunächst nur die wichtigsten Triebkräfte und Systemeigenschaften einbezieht, nah an praxisrelevanten Eingabe- und Ausgabegrößen bleibt, aber mit fortschreitendem Wissen in der Beschreibung prozeßnäher wird. Die der Waldwachstumsforschung in ihrer Mittlerfunktion zwischen Wissenschaft und Praxis gestellte Aufgabe der Wissensbündelung und -rückführung zu den Entscheidungsträgern ist gegenwärtig am ehesten auf mesoskaligem Erklärungsniveau möglich da die Datenbasis für höher auflösende Erklärungs- und Prognosemodelle noch erhebliche Lücken aufweist.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Veränderung der Wuchsbedingungen durch Nutzung, Stoffeintrag und Klimaänderung, der Übergang zu Mischbeständen und das erweiterte Nutzungsinteresse am Wald fordern die Waldwachstumsforschung zu einem Paradigmenwechsel heraus. Dieser läuft hinaus auf eine Auffassung vom Wald als hierarchisches, offenes dynamisches System, das räumlichen Charakter hat, durch ein Netz von Regelkreisen mit Anpassungsfähigkeit ausgestattet ist und an dem uns ein ganzer Vektor von Zustands- und Output-Variablen interessiert. Erst durch konsequente Übernahme einer solchen komplexeren Systemvorstellung vermag die Waldwachstumsforschung forstwirtschaftliche und umweltpolitische Entscheidungsträger wieder mit beständigen quantitativen Informationen über Waldzustand, Handlungs- und Entwicklungsalternativen zu versorgen. Voraussetzung ist eine Umsetzung dieser Systemvorstellung auf allen Stufen der Waldwachstumsforschung, vom Versuchsdesign über die Messung bis zum Modell. Auch das Feedback von Information zwischen Wissenschaft und Praxis wird künftig nicht mehr über ein Kompendium von Ertragstabellen möglich sein. Entscheidungsträger müssen mit einfach zu bedienenden Computermodellen ausgestattet werden, in denen der aktuelle Wissensstand zum Waldwachstum verdichtet ist. Am Prototyp eines solchen Wachstumsmodells werden beispielhaft Konzeption und Einsatzmöglichkeiten einer neuen Generation von

Informationssystemen skizziert. Ausgangspunkt ist eine Modellvorstellung vom Waldbestand, die zunächst nur die wichtigsten Triebkräfte einbezieht und nah an praxisrelevanten Eingabe- und Ausgabegrößen bleibt, mit fortschreitendem Wissen in der Beschreibung aber prozeßnäher wird.

7. Summary

Title of the paper: *Forest yield science – its present stand. Thought patterns, methods, feed-back.*

A change in thought-patterns in forest yield research is called for as a consequence of forest utilization's adverse effects on growth-conditions, pollution and climate change combined with the gradual transition to mixed stands and growing interest in making more varied use of forests. A new concept of the forest is required as a hierarchic, open dynamic and spatially oriented system, endowed with a network of adaptable, automatic control systems. This involves an entire vector of interesting variables on the state of the forest and its output. Only consistent adherence to this more complex systems concept will put forest yield researchers in a position to go on providing foresters and environmentalists with a steady stream of quantitative information on the state of forests and viable alternatives for concerted action and development. It requires that this concept be applied to all stages in forest yield research, from test series planning to measuring and modelling. Also, data feedback between scientific research and practical application will no longer be feasible merely on the basis of yield tables. Decision makers need to be furnished with simple computer models that are a concise reflection of all that is currently known in forest yield science. The concept for and potential applications of a new generation of information systems are outlined using the example of a prototype of this kind of growth model. It goes back to a model concept of forest stands involving, for the present, only the most important driving variables and adhering closely to input and output parameters as obtained from forestry practice. In time and with progressive expertise in describing the state of forests it will, however, become better adapted to actual biological processes in forest growth.

8. Résumé

Titre de l'article: *Où en est aujourd'hui la recherche sur la croissance des forêts? Schéma de réflexion, méthodes, feedback.*

La modification des conditions de croissance par suite de l'utilisation de la forêt, de l'influence de certaines substances et des changements climatiques, ainsi que du passage aux peuplements mélangés et de l'intérêt croissant porté aux productions de la forêt, obligent la recherche sur la croissance des forêts à revoir totalement ses modèles et paradigmes. Cela découle de ce qu'on conçoit la forêt comme un système dynamique ouvert, hiérarchisé, ayant un caractère spatial; celui-ci est pourvu d'un réseau de «boucles d'asservissement» dont nous intéressent un vecteur entier des variables relatives à la situation et à l'output. Ce n'est qu'en accordant une complète attention à un tel

système complexe que la recherche sur la croissance des forêts sera en mesure d'apporter à nouveau aux décideurs dans les domaines de l'économie forestière et de la politique de l'environnement, des informations quantitatives inattaquables sur l'état des forêts et les alternatives envisageables pour le traitement et le développement. On doit supposer un transfert de cette présentation systématique à tous les niveaux de la recherche sur la croissance des forêts, du «design» du dispositif expérimental au modèle, en passant par les mesures. Par ailleurs le feedback des informations entre la science et la pratique ne sera plus possible à l'avenir par le simple compendium que constituent les tables de production. Les décideurs doivent disposer de modèles sur ordinateurs faciles à utiliser, qui condensent l'état actuel de nos connaissances sur la croissance des forêts. Comme prototype d'un tel modèle de croissance, on a esquissé, à titre d'exemple, quelles pourraient être la conception et les possibilités d'extension d'une nouvelle génération de systèmes d'information. Le point de départ est la présentation d'un modèle de peuplement forestier qui, initialement, n'intègre que les éléments essentiels de la croissance et reste proche des entrées et sorties couramment admises dans la pratique, mais dont la description est faite suivant une méthode plus proche des connaissances scientifiques qui progressent toujours.

J. M.

9. Literatur

- ASSMANN, E. und FRANZ, F.: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstl. Forschungsanst. München. 104 S., 1963
- BACHMANN, M.: Indizes zur Erfassung der Konkurrenz im Bergmischwald – Eine Methodenstudie. Bericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Neresheim. S. 249–265, 1996
- BEESE, F. O.: Indikatoren für eine multifunktionelle Waldnutzung. Forstw. Cbl. 115, 65–79, 1996
- BERTALANFFY, L. VON: Theoretische Biologie. II. Band. Stoffwechsel, Wachstum. Verlag A. Francke AG. 418 S., 1951
- FRANZ, F.: Zum Aufbau eines neuzeitlichen Informationssystems für die Forstwirtschaft. Forstarchiv 58, (4), 131–137, 1987
- KAHN, M.: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 141, 221 S., 1994
- LANDSBERG, J. J.: Physiological Ecology of Forest Production. Academic Press. 198 S., 1986
- MESCHEDERU, M.: Einfluß räumlicher Bestandesstrukturen auf die Strahlungsverhältnisse in Fichten-Buchen-Mischbeständen. Bericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Neresheim. S. 293–305, 1997
- PRETZSCH, H.: Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handels. AFZ 167 (11), 213–221, 1996
- PRETZSCH, H. und KAHN, M.: Modelling growth of Bavarian mixed stands in a changing environment. IUFRO XX World Congress Tampere/Finland. Congress Report, Volume II, 234–248, 1995
- PRETZSCH, H. und KAHN, M.: Wachstumsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. Anwendungsbeispiel: Variantenstudie Fichtenreinbestand versus Fichten/Buchen-Mischbestand. AFZ 51 (25), 1414–1419, 1996
- SCHOLZ, F.: Anforderungen an die forstliche Forschung aufgrund der prognostizierten Klimaänderung. AFZ 48 (12), 592–595, 1993
- ULRICH, B.: Prozeßhierarchie in Waldökosystemen. Ein integrierender ökosystemtheoretischer Ansatz. Biologie in unserer Zeit 23 (5), 322–329, 1993

Strukturentwicklung eines Buchen-Fichten-Mischbestandes

Aus dem Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen

(Mit 1 Abbildung und 2 Tabellen)

Von K. VON GADOW¹⁾

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Bestandesstruktur; Differenzierung; Durchmischung; Dichte; Durchforstung.

Forest structure; differentiation; mingling; density.

1. EINLEITUNG

Die Entwicklung eines Waldes, der forstlicher Bewirtschaftung unterliegt, wird durch die periodischen waldbaulichen Eingriffe, durch ungeplante Störungen und durch das zwischen den Eingriffen stattfindende Wachstum der Bäume bestimmt. Eine realistische Entwicklungsprognose muß diese unterschiedlichen Zustandsveränderungen und Prozesse beschreiben. Sie kann sich nicht nur auf das ungestörte Wachstum beschränken. Diese Feststellung trifft um so mehr zu, je ungleichförmiger der Bestandesaufbau und je vielfältiger die forstlichen Eingriffe sind, denn eine Voraussetzung für die wirksame Planung und Kontrolle forstbetrieblicher Maßnahmen ist die verbesserte Beschreibung des Waldzustandes und das Sammeln von Erfahrungen darüber, wie die Dichte-, Struktur- und Wertverhältnisse in den unterschiedlichsten Beständen durch forstliche Eingriffe verändert werden. Diese Kenntnisse liegen bisher kaum vor, und deshalb steht die Forstwissenschaft ziemlich unvorbereitet einer großflächigen Umgestaltung der Waldbaupraxis gegenüber.

Besondere Bedeutung für die Beschreibung von Mischbeständen und deren Zustandsveränderung hat die räumliche Struktur. Wie die Raumstruktur eines Mischbestandes für die Forstpraxis verständlich und für die Modellierung ausreichend genau beschrieben werden kann, soll mit Hilfe von Aufnahmedaten der Parzelle 1 der Buchen-Fichten Mischbestands-Versuchsfläche Zwiesel 111 aufgezeigt werden (Tab. 1)²⁾.

Die Parzelle 1 der Versuchsfläche Zwiesel 111, im Forstamt Zwiesel im Wuchsgebiet *Bayerischer Wald* gelegen, hat eine Flächenausdehnung von 60 m x 60 m. Sie wurde 1954 von ASSMANN und MAGIN angelegt und von KENNEL (1964) erstmals ausgewertet. FRANZ (1986) stellte die Versuchsergebnisse nach etwa 30jähriger Beobachtungszeit zusammen. Auch die letzte wissenschaftliche Auswertung durch PRETZSCH (1992) erbrachte zahlreiche neue Erkenntnisse und wichtige Impulse im Bereich der waldwachstumskundlichen Modellforschung.

2. ZUSTAND UND ZUSTANDSVERÄNDERUNG

Grundlage der Beschreibung der *Entwicklungspfade* von Waldbeständen, also der Abfolge von eingriffsbedingten Veränderungen und natürlichen Wachstumsphasen, ist eine ausreichend genaue Zustandsbeschreibung, insbesondere die Beschreibung der *Bestandesdichte* und *Struktur*.

Zu den bekannten Dichtemaßen zählt der *relative Baumabstand*³⁾, der zwar nur in Beständen mit geschlossenem Kronendach wirksam

¹⁾ Manuskript verfaßt zum Anlaß des 70. Geburtstages von Prof. F. FRANZ, 1997.

²⁾ Die Daten wurden mir freundlicherweise vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München zur Verfügung gestellt.

³⁾ Der relative Baumabstand – das Verhältnis von mittlerem Abstand der Bäume zur Bestandesoberhöhe – ist in der Fachliteratur auch bekannt als S-Prozent (engl. *relative spacing*).

Tab. 1

Datenerhebungen in der Parzelle 1 der Versuchsfläche

Zwiesel 111 (H bedeutet Aufnahme im Herbst;

F bedeutet Aufnahme im Frühling;

BHD = Durchmesser in 1,3 m Höhe cm; H = Baumhöhe m;

KRA = Kronenansatzhöhe m; BKL = Baumklasse nach KRAFT;

KOORD = Stammfußkoordinaten)

Data assessed in plot 1 of the growth trial Zwiesel 111

(H means measurements taken in autumn;

F means measurements taken in spring;

BHD = diameter at 1.3 m height cm; H = tree height m;

KRA = height to base of crown M, BKL = tree class

according to KRAFT; KOORD = tree coordinates)

Aufnahmen	Durchforstung	Datenerhebungen				
		BHD	H	KRA	BKL	KOORD
1954 H		✓	✓	✓		✓
1959 H	✓	✓	✓		✓	
1970 F	✓	✓	✓			
1982 H	✓	✓	✓		✓	✓
1987 H	✓	✓	✓		✓	
1992 H		✓	✓	✓		

ist, dort aber die eingriffsbedingte Veränderung der Bestandesdichte anschaulicher als die *Grundfläche* beschreibt. Beide bestandesbezogenen Dichtemaße berücksichtigen nicht die unterschiedlichen Raumansprüche der Baumarten und sind daher streng genommen nur in Reinbeständen anwendbar. Für die Quantifizierung der Dichte von Mischbeständen sind bisher nur der Ertragstafel-Bestockungsgrad – bzw. die auf Grundlage der Holztrockendichteverhältnisse biologisch vergleichbaren Grundflächen nach ASSMANN (1961) – und der *Kronenkonkurrenzfaktor* nach KRAJICEK et al. (1961) verfügbar. Zunehmende Bedeutung erhalten die einzelbaumbezogenen Konkurrenz- bzw. *Punktichtemaße*, und deren Verteilung, auf die hier allerdings nicht näher eingegangen werden kann (PRETZSCH, 1992; BIBER, 1996; LEE und GADOW, 1997).

Beispielhaft ist die Grundflächenentwicklung der Parzelle 1, getrennt für die Fichten und Buchen, in Abbildung 1 dargestellt. Deutlich erkennbar ist die wesentlich höhere Grundflächenhaltung der Fichten sowie die höheren Eingriffstärken im Fichtenkollektiv in den Jahren 1958 und 1970. Auf die längeren Phasen ungestörten Wachstums folgen stärkere Eingriffe. Auf die Eingriffe reagiert das Fichtenkollektiv mit einem erheblich höheren Grundflächenzuwachs als das Buchenkollektiv. Bestandesdichte und Eingriffsstärke fluktuieren teilweise stark während der 40jährigen Beobachtungsperiode.

In Mischbeständen gelingt eine ausreichend genaue Zustandsbeschreibung nur mit Hilfe von Variablen, die eine räumliche Aussage ermöglichen. Als geeignet erwiesen haben sich z. B. die Verteilungen der *Artendurchmischung* und *Dimensionsdifferenzierung* (GADOW und FÜLDNER, 1992) und die Verteilung der Abstände zu den n nächsten Nachbarn (POMMERENING, 1996). Die Artendurchmischung

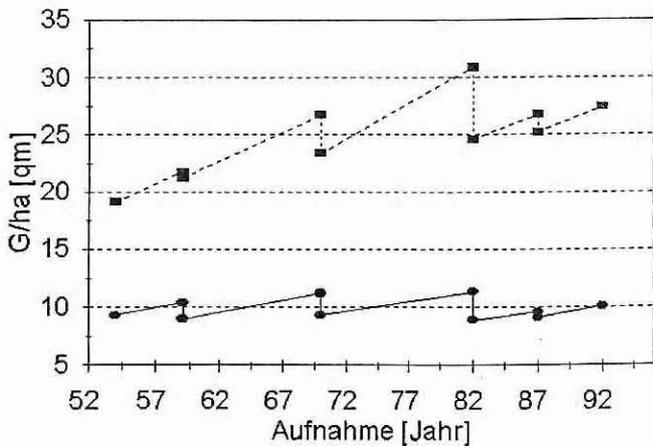


Abb. 1

Eingriffstärke, gemessen in entnommener Grundfläche pro ha für 4 Durchforstungen in Parzelle 1, Zwiesel 111. Die obere Linie zeigt die Entwicklung für das Fichtenkollektiv, die untere Linie für das Buchenkollektiv
 Thinning weights, measured in terms of basal area per ha removed in plot 1, Zwiesel 111. The upper line indicates the development of the spruce trees, the lower line represents the beech trees

(M_i) gibt den relativen Anteil artfremder Nachbarn j ($j=1..n$) des i 'ten Baumes an:

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

wobei v_{ij} eine diskrete binäre Variable ist, die den Wert 0 annimmt, wenn der Nachbar j der gleichen Art angehört, den Wert 1, wenn es sich um eine andere Art handelt.

Für den i 'ten Baum und dessen n nächste Nachbarn j ($j=1..n$) ist die *Durchmesserendifferenzierung* (T_i) definiert als

$$T_i = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min(BHD_i, BHD_j)}{\max(BHD_i, BHD_j)}$$

mit BHD=Brusthöhendurchmesser (cm). Statt des Brusthöhendurchmessers kann eine beliebige Dimensionsvariable (z.B. die Baumhöhe) berücksichtigt werden.

Die Strukturbeschreibung wird vervollständigt durch eine dritte Variable, den durchschnittlichen Abstand des i 'ten Baumes zu dessen n nächsten Nachbarn (A_i)

$$A_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{ij}$$

mit s_{ij} =der Abstand des i 'ten Baumes zu dessen j 'ten Nachbarn (m). Bestände mit komplizierten räumlichen Strukturen lassen sich, wenn auch bisher nur bedingt, aus Stichprobenaufnahmen erzeugen (PRETZSCH, 1993; LEWANDOWSKI und GADOW, 1997). Diese Ansätze eröffnen neue Möglichkeiten für den Einsatz positionsabhängiger Wachstumsmodelle in der Forstpraxis. Zunächst geht es aber darum, die

Waldentwicklung zu modellieren, die zwar auch durch das Wachstum der Bäume, aber vor allem durch die Stärke und die Art der forstlichen Eingriffe bestimmt wird⁴⁾. Die Modellierung von Eingriffen gehört zweifellos zu den vorrangigen Aufgaben der Waldforschung (FRANZ, 1972; SCHOBER, 1987; FÜLDNER und GADOW, 1994; KAHN, 1995; DAUME, 1995).

Die Eingriffsart kann auf unterschiedliche Weise beschrieben werden. Eine übliche Darstellung ist die Verlagerung der Durchmesser-Verteilung (KRAMER, 1988, S. 85). Geeignet für die Modellierung sind auch der *Trennungparameter* (GADOW und STÜBER, 1993) oder das Verhältnis von relativer Stammzahlentnahme zu relativer Grundflächenentnahme (KASSIER, 1993). Im Herbst 1987 wurden im Buchenkollektiv der Parzelle 1 immerhin 32,7% der Stammzahl, aber nur 12,4% der Grundfläche entnommen, bei der Fichte waren es 26,6% der Stammzahl und 20,4% der Grundfläche. Das Verhältnis der Buchendurchforstung ist mit $32,7/12,4=2,64$ etwa doppelt so hoch wie bei der Fichtendurchforstung. Da selbst die vollwüchsigen Buchen Mühe hatten, mit der Fichte Schritt zu halten, wurden sie gesont; zum Erhalt der Mischung wurde bei der Fichte dagegen stärker im Herrschenden eingegriffen, – dies wäre eine mögliche Interpretation.

Die Analyse der eingriffsbedingten Veränderung der *räumlichen Verteilung* der Arten und Baumdimensionen vermittelt weitere Einsichten und erleichtert die Modellierung von Durchforstungen in Mischbeständen auf der Grundlage der bereits erwähnten Verteilungen der *Artendurchmischung*, *Dimensionsdifferenzierung* und *Abstände zu den n nächsten Nachbarn* erheblich. Tabelle 2 zeigt beispielhaft die relativen Häufigkeiten der gemeinsam verteilten Durchmischungs- und Differenzierungswerte für den Gesamtbestand vor dem Eingriff und den ausscheidenden Bestand 1987, getrennt für die Fichten und Buchen. Es wurden jeweils die drei nächsten Nachbarn berücksichtigt. Je dunkler ein Feld umlegt ist, desto höher ist der relative Häufigkeitswert.

Aus den Daten der Tabelle 2 lassen sich Entnahmepreferenzen ableiten (vgl. DAUME 1995). Zum Beispiel befanden sich nur 13%, der Fichten im Herbst 1987 vor dem Eingriff in der Durchmischungsklasse (0,33)⁵⁾ und in der Differenzierungsklasse (0,3 bis 0,5). Entnommen wurden in diesem Wertebereich aber 75% aller Bäume. Alle entnommenen Fichten hatten genau eine Buche zum Nachbarn. Ähnliche Interpretationen ergeben sich für das Buchenkollektiv. 40% aller entnommenen Buchen befanden sich in reinen Buchengruppen. Bei weiteren 40% der entnommenen Buchen waren 2 der 3 nächsten Nachbarn ebenfalls Buchen.

Besonders interessant im Zusammenhang mit der Analyse eines Eingriffes ist der Vergleich der beobachteten mit erwarteten Strukturparametern. Speziell handelt es sich dabei um die erwartete Verteilung der Differenzierungswerte bei gegebener Durchmesser-Verteilung bzw. die erwartete Verteilung der Durchmischungswerte bei gegebenen Artenanteilen. Auf diese Vergleichsmöglichkeiten bei der Analyse eines forstlichen Eingriffes soll hier nicht näher eingegangen werden. Einzelheiten finden sich bei POMMERENING (1997, S. 55 ff).

3. DAUERVERSUCHSFLÄCHEN, WUCHSREIHEN, INTERVALLFLÄCHEN

Die Ergebnisse aus langfristig beobachteten Dauerversuchsflächen, den sogenannten *echten Zeitreihen*, bildeten bisher die wichtigste Grundlage bei der Erstellung von Ertragstabellen und anderen Wachstumsmodellen für gleichaltrige Reinbestände und Mischbestände. Zu den Nachteilen der Dauerversuchsflächen gehören die langfristige Bindung an die Versuchsanlage und die damit verbundenen hohen

⁴⁾ Die Anzahl der möglichen Eingriffe in einem Bestand mit n Bäumen, einschließlich der Optionen *Kahlschlag* und *Nichtstun*, ist gleich 2^n .

⁵⁾ Bei 3 Nachbarn kann ein Baum nur 4 mögliche M -Werte annehmen.

Tab. 2

Relative Häufigkeiten der gemeinsam verteilten Durchmischungs- und Differenzierungswerte für den Gesamtbestand vor dem Eingriff und für den ausscheidenden Bestand, getrennt für die Fichten und Buchen 1987
 Relative frequencies of the distributions of mingling and differentiation
 (Gesamt means before thinning, ausscheidend means removed trees, in 1987)

Fichte/spruce						Buche/beech					
Gesamt		M3				Gesamt		M3			
		0	0,33	0,67	1			0	0,33	0,67	1
T3	0 -0,3	0,00	0,33	0,15	0,00	T3	0 -0,3	0,19	0,08	0,04	0,00
	0,3-0,5	0,04	0,13	0,00	0,00		0,3-0,5	0,07	0,07	0,04	0,01
	0,5-0,7	0,00	0,02	0,09	0,02		0,5-0,7	0,04	0,06	0,07	0,01
	0,7-1,0	0,00	0,06	0,11	0,06		0,7-1,0	0,13	0,07	0,08	0,03
ausscheidend		M3				ausscheidend		M3			
		0	0,33	0,67	1			0	0,33	0,67	1
T3	0 -0,3	0,00	0,25	0,00	0,00	T3	0 -0,3	0,20	0,20	0,00	0,00
	0,3-0,5	0,00	0,20	0,00	0,00		0,3-0,5	0,20	0,20	0,20	0,00
	0,5-0,7	0,00	0,00	0,00	0,00		0,5-0,7	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,7-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00		0,7-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00

Kosten einer dauerhaften Versuchsflächeninfrastruktur. Der Aufwand wird gänzlich untragbar, wenn nicht nur langfristige Entwicklungen beobachtet, sondern gleichzeitig auch allgemeingültige Aussagen über die Beziehungen zwischen Wachstum, Standort und waldbaulicher Behandlung erarbeitet werden sollen.

Einen kostengünstigen und zeitsparenden Ausweg bot bisher das sog. *Wuchsreihenkonzept*. Unter einer *Wuchsreihe* versteht man eine Reihe von einmalig aufgenommenen Probestellen, mit deren Hilfe das zeitliche Nacheinander der Beobachtungen auf Dauerversuchsflächen durch ein räumliches Nebeneinander von Beobachtungen ersetzt werden kann (BIBER, 1996).

Allerdings müssen Einzelbaum-Entwicklungen mit Hilfe von Bohrungen oder Stammanalysen reproduziert werden, und die größte Schwierigkeit besteht darin, das historische Umfeld der Bäume zu reproduzieren, um ihren speziellen Wachstumsrhythmus aus der Kenntnis der früheren unmittelbaren Nachbarschaftsverhältnisse erklären zu können. Diese Reproduktionen können mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein und deshalb ist das Wuchsreihenkonzept grundsätzlich nur als letzter Ausweg zu betrachten, wenn sonst keine Beobachtungen zur Verfügung stehen.

Einen praktikablen Kompromiß bietet das Intervallflächenkonzept, bei dem die Nachteile der Dauerversuchsflächen und der Wuchsreihen aufgehoben, ihre Vorzüge jedoch beibehalten werden (GADOW und STÜBER, 1996). Die Intervallflächen werden dem Versuchsziel entsprechend ausgewählt und mindestens 2 Mal aufgenommen. Zwischen der Anfangs- und der Endaufnahme darf kein Eingriff erfolgen. Um kurzfristige Witterungseinflüsse auszuschalten und die relativ zum Zuwachs hohen Meßfehler zu reduzieren, sollten die Zeitintervalle zwischen den Aufnahmen mindestens 5 Jahre betragen. Da das für Dauerversuchsflächen notwendige *eiserne Durchhalten* über lange Zeiträume nicht unbedingt erforderlich ist, können sich erhebliche Kosteneinsparungen ergeben.

Das Intervallflächenkonzept erhebt nicht nur Zustände, sondern auch mindestens eine eingriffsbedingte Zustandsveränderung bei der

ersten Aufnahme, sowie eine ununterbrochene Wachstumsphase nach dem Eingriff. Der Versuch braucht nicht weitergeführt, sondern kann nach dem ersten Wachstumsintervall jederzeit abgebrochen werden. Wartezeiten sind also gering. Eingebunden in ein sinnvolles betriebliches Inventurkonzept⁶⁾ wären die Daten ohne zusätzlichen Aufwand verfügbar.

4. DANKSAGUNG

Für die Bereitstellung der Daten danke ich Herrn Prof. Dr. PRETZSCH. Die Auswertungen hat Herr HENDRIK HEYDECKE mit großer Sorgfalt durchgeführt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit einigen Fragen der Dichte- und Strukturentwicklung in Mischbeständen am Beispiel der Parzelle 1 der bayerischen Versuchsfläche Zwiesel 111. Besondere Bedeutung hat die Modellierung forstlicher Eingriffe. Die Anlage und der Erhalt von Dauerversuchsflächen ist nicht immer notwendig, und häufig sogar unnötig. Eine praktische Lösung bietet das sog. Intervallflächenkonzept. Dabei kommt es darauf an, geeignete Flächen dem Versuchsziel entsprechend auszuwählen und mindestens 2 Mal aufzunehmen. Zwischen der Anfangs- und der Endaufnahme darf kein Eingriff erfolgen.

6. Summary

Title of the paper: *Development of the structure of a beech-spruce forest.*

The paper presents methods that can be used for describing the development of a mixed forest, based on data from plot 1 of the

⁶⁾ Die *Kontrollstichprobe* bzw. *Betriebsinventur* ist (neben dem unglücklichen, nur auf die Volumenschätzung ausgerichteten Probekreis-Entwurf) wegen der in regelmäßigen Abständen stattfindenden Aufnahmen ungeeignet, da die dazwischenliegenden Eingriffe nicht erfaßt werden.

Bavarian research trial Zwiesel 111. Specific emphasis is placed on describing the changes of density and structure, caused by thinnings. It is argued that it is not always necessary to establish costly longterm growth trials in order to obtain useful data for growth models. A practical approach would be to gather observations about the changes caused by growth and the changes caused by thinnings. This can be achieved if plots are measured twice at 2 successive thinnings.

7. Résumé

Titre de l'article: *Evolution de la structure d'un peuplement mélangé de hêtres et d'épicéas.*

La présente contribution s'intéresse à quelques questions relatives à l'évolution des grosseurs et des structures dans des peuplements mélangés en prenant comme exemple la parcelle 1 du dispositif expérimental bavarois Zwiesel 111. La modélisation des interventions sylvicoles revêt une importance toute particulière. L'installation et l'entretien de placettes permanentes ne sont pas toujours nécessaires et sont même souvent inutiles. Le concept des «placettes temporaires» offre une solution pratique. Il importe de bien choisir des surfaces parfaitement adaptées à l'objectif de la recherche, et d'y pratiquer au moins 2 inventaires entre lesquels ne doit avoir bien aucune intervention.

J. M.

8. Literatur

- ASSMANN, E.: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft, München Bonn, Wien. 490 S., 1961
- BIBER, P.: Konstruktion eines einzelbaumorientierten Wachstumssimulators für Fichten-Buchen-Mischbestände im Solling. Diss., Forstw. Fak. d. Ludwig-Maximilians-Univ. München. 239 S., 1996
- DAUME, S.: Durchforstungssimulation in einem Buchen-Edellaubholz-Mischbestand. Diplomarbeit, Institut f. Forsteinr., Univ. Göttingen. 103 S., 1995
- FRANZ, F.: Ertragskundliche Prognosemodelle. Forstw. Cbl. 91, 65–80, 1972
- FRANZ, F.: Fichten-Buchen-Mischbestandsversuch Zwiesel 111. Exkursionsführer MWWEF 55. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde d. Ludwig-Maximilians-Univ., München. 29 S., 1986
- FÜLDNER, K. und GADOW, K. VON: How to Define a Thinning in a Mixed Deciduous Beech Forest. Proc. IUFRO Conference in Louisa, Portugal. Mixed stands – research plots, measurements and results, models. 31–42, 1994
- GADOW, K. VON und FÜLDNER, K.: Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Tagungsbericht der Arbeitsgruppe Forsteinrichtung, Klieken bei Dessau, 15. 10. 1992. 1992
- GADOW, K. VON und STÜBER, V.: Die Inventuren der Forsteinrichtung. Forst und Holz 49 (5): 129–131, 1993
- GEHRHARDT, E.: Ertragstabellen für reine und gleichartige Hochwaldbestände von Eiche, Buche, Tanne, Fichte, Kiefer, grüner Douglasie und Lärche. 2. Aufl. Julius Springer Verlag, 1930
- KAHN, M.: Die Nachbildung von Durchforstungseingriffen in Rein- und Mischbeständen mit dem Wachstumssimulator SILVA 2. Tagungsbericht d. Sektion Ertragskunde des DVFFA Joachimsthal, 29. 5. 1995 bis 31. 5. 1995. 151–165, 1995
- KASSIER, H. W.: Dynamics of Diameter and Height Distributions in Commercial Timber Plantations. PhD dissertation, Faculty of Forestry, Univ. of Stellenbosch, South Africa, 1993
- KENNEL R.: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Diss., Univ. München. 93 S., 1964
- KRAJICEK, J. E., BRINKMANN, K. A. und GINGRICH, S. F.: Crown competition – a measure of density. For. Sci. 7: 35–42, 1961
- KRAMER, H.: Waldwachstumslehre. Paul Parey. 374 S., 1988
- LEE, W. K. und GADOW, K. VON: Ein iteratives Verfahren zur Modellierung der Konkurrenz. Im Druck, AFJZ, 1997
- LEWANDOWSKI, A. und GADOW, K. VON: Ein heuristischer Ansatz zur Reproduktion von Waldbeständen. Im Druck, AFJZ, 1997
- POMMERENING, A.: Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in strukturreichen Wäldern. Diss., Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen, 1997
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Schriftenreihe d. Forstw. Fak. d. Univ. München, No. 115, 332 S., 1992
- PRETZSCH, H.: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen – Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Vers. Anst., Band 114. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main, 1993
- SCHOBER, R.: Durchforstung nach Zahlen? AFJZ 158 (10): 174–183, 1987

Waldwachstumskundliche Beobachtungen im Fichten/Tannen/Buchen-Urwaldreliktbestand „Höllbachgspreng“ bei Zwiesel

(Mit 1 Abbildung und 2 Tabellen)

Von T. PREUHSLER

(Angenommen Februar 1997)

Herrn Prof. em. Dr. Dr. h.c. FRIEDRICH FRANZ zum 70. Geburtstag am 5. 8. 1997 gewidmet

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Waldwachstum; Bestandesstruktur; Bergmischwald; Urwaldrelikt. Growth and yield; stand structure; mountain mixed stand; virgin forest relict stand.

1. LANGFRISTIGE WALDWACHSTUMSKUNDLICHE BEOBACHTUNGEN IN BAYERISCHEN RELIKTBESTÄNDEN

Weitgehend ungestörte, urwaldartige Bergmischwälder der bayerischen Alpen waren in den 50er und 60er Jahren von Prof. Dr. ROBERT MAGIN und Prof. Dr. ERNST ASSMANN am Institut für Ertragskunde in München in wissenschaftlich-langfristige waldwachstumskundliche Beobachtung gestellt worden (MAGIN, 1959). Diese Dokumentation urwüchsiger Bestandesstrukturen und Wuchsleistungen im Rahmen des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern wurde in den 80er Jahren durch Prof. Dr. Dr. h.c. FRIEDRICH

FRANZ und seine Mitarbeiter in ausgewählten bayerischen Beständen wie den Plenterwaldbeständen Steinhüttel im Forstamt Bodenmais (RAUSCHER, 1981) und Bärnau im Kreuzberger Forst (PRETZSCH, 1981), dem Furniereichenbestand Eichhall im Forstamt Rohrbrunn (PREUHSLER und STÖGBAUER, 1990) und dem Buchenstarkholz-Reliktbestand Kleingelein im Forstamt Gerolzhofen (PREUHSLER und REBHAN, 1991) fortgesetzt. Auf Anregung des zuständigen Waldbaureferenten M. WALDHERR und mit Unterstützung des Leiters des Forstamtes Zwiesel H. DEMMELBAUER wurden auch in den Urwaldreliktbeständen Höllbachgspreng und Mittelsteighütte in Bereich des Forstamtes Zwiesel waldwachstumskundliche Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Anlage und Grundaufnahme erfolgten im Jahre 1987. Die beiden Parzellen der Beobachtungsfläche „Höllbachgspreng“ sind in der Diplomarbeit von M. HARTINGER (1988) ausgezeichnet dargestellt; sie wurden mit der Bezeichnung ZWI 138/1 und ZWI 138/2 in das bayerische ertragskundliche Versuchsflächennetz aufgenommen.

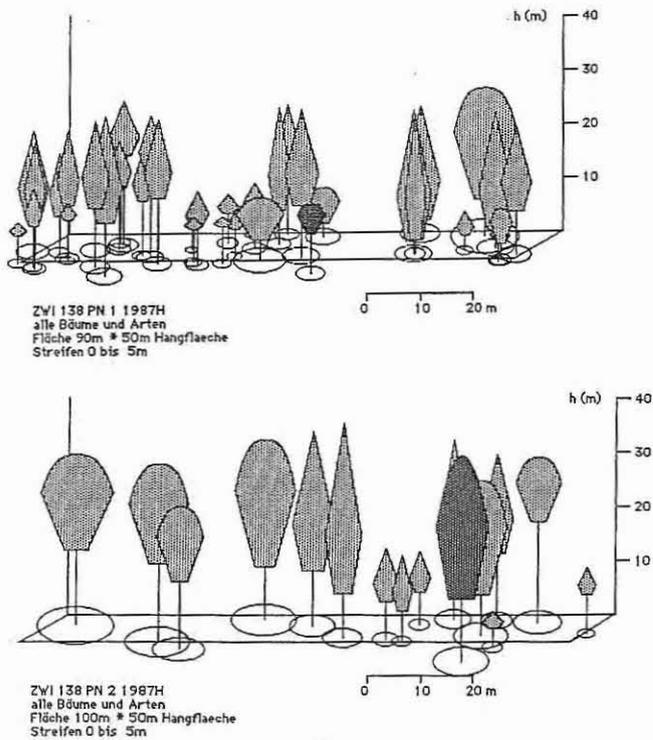


Abb. 1

Strukturausschnitte der Parzellen ZWI 138/1 (oben) und 138/2 (unten) der waldwachstumskundlichen Beobachtungsfläche „Höllbachspreng“

Lay-out of plots ZWI 138/1 and 138/2 at virgin forest relict stand „Höllbachspreng“

2. NATURSCHUTZGEBIET UND NATURWALD-RESERVAT „HÖLLBACHSPRENG“

In der ersten inventurmäßigen Erfassung der Waldbestände des Forstamtes Zwiesel – im sog. „Primitiven Operat“ aus dem Jahr 1856 – wird für die heutige Abteilung Schwarzbachhäng des Distriktes Höllbach ein Mischbestand mit 40% Fichte, 30% Tanne und 30% Buche beschrieben. Bei einer Altersspanne der Bäume von rund 60 bis 210 Jahren war der Bestand damals im Mittel 135 Jahre alt. Im Jahr 1986 ermittelt die Zwischenrevision 35% Fichte, 25%, Tanne, 25%, Buche und 5% Bergahorn, eine Altersspanne von 61 bis 361 Jahren und ein mittleres Alter von 261 Jahren.

In den Forsteinrichtungswerken der vergangenen 130 Jahre war von „Auszugshauungen“, „Reinigungen“ und „Plenterungen“ die Rede, doch haben diese forstlichen Nutzungs- und Pflegemaßnahmen in dem abgelegenen und steilen Waldgelände kaum erkennbares Ausmaß erreicht: Die Schwierigkeiten einer forstlichen Nutzung mit anschließender Wiederverjüngung hätten kaum einen Gewinn übrig gelassen. Streunutzungsrechte in den bewaldeten Steilhängen wurden nie ausgeübt, auch wenn die nahebei gelegene Höllbachschwelle mit Umgriff bis 1938 beweidet worden war.

So wurde im Jahr 1914 ein Schongebiet „Höllbachspreng“ abgegrenzt, in dem nach damaliger forstamtlicher Mitteilung „zahlreiche herumliegende Baumriesen aus ältester, alter und neuer Zeit“ darauf hinwiesen, „daß in diesem überaus felsigen Steilgelände eine Wirtschaft bisher nicht stattgefunden hat“. Das Schongebiet wurde in der Folge um Teile der Abteilung Schwarzbachhäng erweitert, da „gerade hier nun ... der Urwaldcharakter in einer Mächtigkeit von Baumformen ... wie er wohl selten mehr zu finden ist“ erhalten geblieben war.

Im Januar 1941 wurde das Schongebiet Höllbachspreng mit der Abteilung Höllbachspreng sowie Flächen der Abteilungen Höll-

bachriegel, Schwarzbachhäng und Höllbachau zum Naturschutzgebiet erklärt. Der Urwaldreliktbestand hat eine Größe von 51,3 ha.

Im Jahr 1978 wies die bayerische Staatsforstverwaltung ein Naturwaldreservat „Höllbachspreng“ mit insgesamt 96,4 ha aus, in dessen Kern das Naturschutzgebiet liegt und das im Rahmen der 145 bayerischen Naturwaldreservate von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft betreut wird (Bay. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1993).

3. LAGE, STANDORT UND KLIMA DER BEOBSACHTUNGSFLÄCHE „HÖLLBACHSPRENG“

Die langfristige waldwachstumskundliche Beobachtungsfläche „Höllbachspreng“ liegt in Mitten des Naturschutzgebietes „Höllbachspreng“ in den oberen Hanglagen zwischen rund 900 m und 1200 m NN, im Osten bzw. Südosten des 1312 m hohen Großen Falkenstein. Es handelt sich nach KREUTZER und FOREST (1978) um den Wuchsbezirk „11.3 Innerer bayerischer Wald“ im Wuchsgebiet „11. Bayerischer Wald“. Die beiden Parzellen befinden sich in den steilen, ostexponierten Einhängen des v-förmig eingeschnittenen Höllbaches, oberhalb bzw. unterhalb einer Triftschwelle des nahezu ebenen Talschlusses vor dem steilen Gefällsbruch zu den flachen Rücken und Plateaus der Hochlagen. Das geologische Ausgangsgestein bilden Gneise und Glimmer des südwestlichen Randgebietes der Böhmisches Masse.

Das Klima ist gekennzeichnet durch den Grenzbereich des atlantischen und kontinentalen Einflusses mit einerseits atlantischen Hochdruckgebieten und von Westen auflaufenden Wetterfronten mit ausgeprägten Niederschlagsmaxima im Sommer und andererseits häufigen osteuropäisch-kontinentalen kalten Hochdruckgebieten im Winter. Gemäß Klimaatlas für Bayern betragen die Jahresniederschläge in den oberen Hanglagen rund 1300 mm bis 1600 mm, mit 10% bis 20% als Starkregen und 30% bis 50% als Schnee in der Zeit von Oktober bis Mai, bei einer Schneedeckenzzeit von 5 bis 6 Monaten. Einen bedeutsamen Einfluß auf die natürliche Vegetation im Distrikt Höllbach haben die Inversionen in rund 800 m bis 950 m Seehöhe, die Kaltluftabflüsse aus den Hochlagen und der hohe Anteil von Nebelniederschlag. Minimumfaktor für das Wachstum ist die Temperatur mit Jahresmittelwerten von 4,5°C. FOERST und KREUTZER (1978) ordnen die Bestände der Hanglagen des Bayerischen Waldes den „submontanen und montanen Bergmischwäldern“ zu, die der Hochlagen den „hochmontanen Fichtenwäldern“.

Parzelle 138/1 liegt in rund 1050 m NN im Bestand XX1a¹ der Abteilung Höllbachspreng. Geringe Sonneneinstrahlung, über den Geländeabbruch des angrenzenden Talschlusses abstürzende Hochlagen-Kaltluft und Block-Humus-Böden mit mächtiger Moder- bis Rohhumusauflage sowie ein rund 400 m² großes Niedermoor in Parzellenmitte prägen die kleinstandörtlichen Verhältnisse. Die Meßparzelle hat die Abmessung 90 m x 50 m Hangstrecke und eine Größe von 0,4377 ha in Horizontalprojektion, bei einer mittleren Hangneigung von 12°.

Parzelle 138/2 liegt in rund 950 m NN im Bestand XX4a¹ der südlich angrenzenden Abteilung Schwarzbachhäng. Ihre Abmessung in Hangstrecke beträgt 100 m x 50 m, die Größe in Horizontalprojektion 0,4728 ha. Zwar ist die Parzelle mit 19° mittlerer Hangneigung steiler als Parzelle 1, doch kann der SO-exponierte Hang die Sonneneinstrahlung besser nutzen als der O-Hang der Parzelle 1. Im Nordteil der Parzelle finden sich ebenfalls Block-Humus-Böden, im Südteil Block-Lehm-Böden. Der Bestand wird oftmals von Inversionen betroffen.

4. STRUKTUR DES ALTBESTANDES

Die beiden Parzellen zeigen 2 sehr unterschiedliche Bestockungsbilder des Urwaldreliktbestandes, die in erster Linie auf die rund

100 m Höhendifferenz und auf kleinstandörtlichen Unterschiede zurückzuführen sind:

Parzelle 1 wird von Fichte dominiert, die über alle Dimensionen hinweg 89% der Stammzahl, 80% der Grundfläche und 76% des stehenden Vorrates einnimmt (Tab. 1). Buche findet sich fast nur auf trockeneren und humusreicheren Plätzen, die wenigen Tannen gehören entweder dem Unterstand oder den stärkeren Klassen an. Trotz der relativ hohen Stammzahl von 525/ha beträgt die Gesamtüberschirmung wegen des lediglich von einigen wenigen schwächeren Fichten besiedelten Nieder Moores nur 76,5%. Beteiligt sind überwiegend Fichten mit mittleren Kronengrundflächen von 40 m² in Baumklasse 1, 26 m² in Klasse 2 und 18 m² in Klasse 3, daneben Buchen mit im Mittel 136 m² bzw. 110 m² und 79 m² in diesen 3 Baumklassen sowie einige wenige Tannen in Klasse 1 mit im Mittel 47 m² Kronengrundfläche; die Fichten erreichen Höhen bis 37 m und Durchmesser bis rund 76 cm, während Buchen und Tannen zwar im Durchmesser mithalten können, in den erreichbaren Höhen aber um 4,5 m bzw. 6,5 m zurückbleiben.

Tab. 1

Waldwachstumskundliche Bestandesdaten der Parzellen ZWI 138/1 und ZWI 138/2 der waldwachstumskundlichen Beobachtungsfläche „Höllbachspreng“ (erfaßt sind alle stehenden lebenden, und toten Bäume mit einem Durchmesser über 6,4 cm = Durchmesser-Stufe 7 cm, 1987H)

Stand data of plots ZWI 138/1 and ZWI 138/2 at virgin forest relict stand „Höllbachspreng“ (all standing living and dead trees with more than 6.4 cm bhd)

		Parz ZWI 138/1		Parz ZWI 138/2	
		lebend	totstehend	lebend	totstehend
N/ha	Fi	468	96	72	4
	Ta	7	9	4	–
	Bu	43	5	324	17
	Bah	7	2	–	4
	ges.	525	112	400	25
G/ha (m ²)	Fi	32,65	1,76	16,72	0,61
	Ta	2,06	5,14	2,73	–
	Bu	5,64	0,61	21,92	2,26
	Bah	0,45	0,03	–	0,14
	ges.	40,80	7,54	41,37	3,01
V/ha (Ndlb: Vfm S) (Lbb; Vfm D)	Fi	352,3	11,4	233,0	7,7
	Ta	27,1	67,7	40,7	–
	Bu	76,9	7,5	335,5	34,4
	Bah	5,1	0,2	–	1,2
	ges.	461,4	86,8	609,2	43,3
dm (cm)	Fi	29,8	–	54,4	–
	Ta	61,8	–	90,7	–
	Bu	40,7	–	29,4	–
	Bah	29,0	–	–	–
hm (m)	Fi	21,7	–	31,7	–
	Ta	32,2	–	39,6	–
	Bu	24,2	–	21,8	–
	Bah	20,2	–	–	–
dmax (cm)	Fi	75,9	28,5	97,4	56,4
	Ta	81,3	107,3	92,2	–
	Bu	76,8	47,1	94,0	67,5
	Bah	44,2	13,3	–	25,1
dmax (cm)	Fi	37,0	17,2	42,4	33,1
	Ta	30,5	35,3	36,3	24,9
	Bu	32,5	16,3	36,3	24,9
	Bah	24,5	8,2	–	15,2

Daß Tannen auf diesem Standort auch größere Dimensionen erreichen konnten, zeigt eine abgestorbene, stehende Tanne auf der Meßparzelle mit 35,5 m Höhe und 107,3 cm Durchmesser. Die hohe Zahl von 112 stehenden toten Bäumen pro Hektar umfaßt hauptsächlich schwächere Fichten, der beträchtliche stehende Totholzvorrat von 86,8 Vfm wird jedoch überwiegend von starken Tannen gebildet. Zusätzlich wurden 12,3 Vfm liegendes (Fichten-) Totholz ermittelt.

Auf Parzelle 2 sind 81% der Stammzahlen, 54% der Grundfläche und 55% des Vorrates Buche. Sie bildet zusammen mit Fichte in allen Durchmesserstufen sowie mit geringer Beteiligung von stärkeren Tannen den Hauptbestand, dessen Gesamtüberschirmung 77,4% beträgt. Die Überschirmung wird von großkronigen Buchen bestimmt mit 161 m² mittlerer Kronengrundfläche in Baumklasse 1 bzw. 112 m² in Klasse 2 und 61 m² in Klasse 3, die Fichten haben im Mittel lediglich 46 m² bzw. 36 m² und 21 m² Kronengrundfläche. Im SO-Teil der Parzelle hat sich in ausgedehnten Überschirmungslücken ein flächiger Buchenunterstand mit Durchmessern bis etwa 11 cm und Höhen bis etwa 13 m eingestellt; er ist (ab Durchmesserstufe 7 cm) mit rund 225 Bäumchen an der hohen Stammzahl von 400/ha Übergewichtig beteiligt, wirkt sich aber bei Grundfläche (rund 5%) und Vorrat (rund 2,5%) kaum aus.

Auch auf Parzelle 2 bleibt die Buche in ihrer Höhenkurve wie auch in der erreichten Maximalhöhe deutlich hinter der Fichte zurück und ist in der Bestandesoberschicht kaum beteiligt.

Das stehende Totholz umfaßt mit 25 Bäumen bzw. 43,3 Vfm überwiegend Unterstandsbuchen sowie einige wenige Buchen, Fichten und Bergahorne mittlerer Dimensionen. Zusätzlich finden sich 5,7 Vfm liegendes Totholz, das über seine Stammfüße noch erkennbar aus der Parzelle stammt.

5. STRUKTUR DER VERJÜNGUNG

Die Verjüngungsvollaufnahme umfaßte die Bäumchen bis einschließlich Durchmesserstufe 6 cm sowie alle Baumpflanzen unter 1,3 m Höhe.

Parzelle 1 weist rund 6500 Verjüngungspflanzen pro ha auf (Tab. 2). Buche dominiert mit 53,8%, Fichten und Tannen umfassen zusammen 13,5%, die Pionierbaumart Vogelbeere erreicht knapp 22% und Bergahorn 9%. Dies würde für die gesicherte Verjüngung eines vielschichtigen Mischbestandes ausreichen, wenn alle Pflanzen Überlebenschancen hätten. Im Bereich der Parzelle befinden sich jedoch derzeit über 90% der Nadel- und Laubbäumchen in der Klasse „unter 1,3 m Höhe“. Nur wenige Fichten (72/ha) und Buchen (380/ha) erreichen Durchmesser bis 6,4 cm; sie sind zudem im NO- und O-Teil der Parzelle konzentriert.

Parzelle 2 hat mit rund 14000 Pflanzen eine doppelt so hohe Verjüngungsdichte wie Parzelle 1, wobei die wärmebedürftigen und schattenertragenden Buchen und Tannen mit 84,8% bzw. 9% an der Gesamtzahl wesentlich stärker beteiligt sind als auf Parzelle 1. Mit Ausnahme von Buche und Vogelbeere befinden sich in jeder Baumart über 90% der Verjüngungspflanzen mit Pflanzhöhen unter 1,3 m „in Warteposition“. Die Buchenverjüngung zeigt in ihren Dimensionen gleitende Übergänge zum bereits erwähnten Buchenunterstand; Tanne, Fichte und Vogelbeere erreichen mit einigen Exemplaren auch die Durchmesserstufe 4 cm.

Die kleineren Pflanzen sind auf beiden Parzellen meist signifikant geklumpt verteilt, mit zunehmender Pflanzengröße zeichnet sich eine zunehmende Gleichmäßigkeit der räumlichen Verteilung ab.

Vom Wild verbissen sind auf Parzelle 1 insgesamt 9,1% der Pflanzen, auf Parzelle 2 sind es nur 2,5%. Bevorzugt werden Tanne (Parz. 1: 25,2%; Parz. 2: 17,5% aller Tannenpflanzen), Vogelbeere (Parz. 1: 23,3%; Parz. 2: 14,0% aller Vogelbeeren) und Weide (nur auf Parz. 1: 25,2% aller Weidenpflanzen).

Tab. 2

Pflanzenzahlen der Verjüngung auf den Parzellen ZWI 138/1 und ZWI 138/2 der waldwachstumskundlichen Beobachtungsfläche „Höllbachspreng“ (N/ha Horizontalfläche, nach „kleiner 1,3 m Höhe“ und 2 cm-Durchmesserklassen)

Numbers of regeneration plants at plots ZWI 138/1 and ZWI 138/2 at virgin forest relict stand „Höllbachspreng“

Baumart	Parz. ZWI 138/1					Parz. ZWI 138/2				
	< 1,3 m	-2,4 cm	-4,4 cm	-6,4 cm	Gesamt	< 1,3 m	-2,4 cm	-4,4 cm	-6,4 cm	Gesamt
Fichte	458	33	24	15	530	568	31	2		601
Tanne	339	2			341	1217	31	6		1254
Eibe	2				2	23				23
Nadelb.	799	35	24	15	873	1808	62	8		1878
Buche	3113	285	69	26	3493	6278	3694	1357	549	11878
Bergahorn	529	24		2	555	122			2	124
Vogelbeere	1299	117			1416	77	27	8	2	114
Weide	122	25			147	2				2
Laubb.	5063	451	69	28	5611	6479	3721	1365	553	12118
Gesamt	5862	486	93	43	6484	8287	3783	1373	553	13969

6. ZUSAMMENFASSUNG

So knapp der Überblick in dieser Präsentation auch sein muß, so zeigt er doch einige wichtige Aspekte auf:

– Die beiden waldwachstumskundlichen Beobachtungspartellen des Urwaldreliktbestandes Höllbachspreng zeigen bei nur geringer horizontaler und vertikaler Distanz große Variabilität hinsichtlich Kleinstandort und Strukturtyp, wie sie auf so engem Raum in anderen Urwaldbeständen kaum anzutreffen sind (Abb. 1). Das unterstreicht die Bedeutung dieses Naturschutzgebietes und Naturwaldreservates für langfristig vergleichende forstliche Forschung.

– Der Urwaldreliktbestand Höllbachspreng befindet sich in der oberen Hanglage des Bayerischen Waldes, die an die Bergmischwaldstufe der mittleren Hanglagen anschließt und nach oben hin in die fichtenreichen Hochlagen übergeht. Durch seine kleinstandörtlichen Besonderheiten, vor allem durch die Kaltluftabstürze aus den Hochlagen und durch die nach unten angrenzende Inversionszone wird er in seiner Struktur, in der Zusammensetzung der Baumarten und in der Wuchsentwicklung besonders sensibel auf sich ändernde Umweltparameter reagieren. Er hat darum einen hohen Weiserwert im Zusammenhang mit der sich abzeichnenden Klimaänderung.

– Die Daten des Altbestandes zeigen bei allen vorkommenden Baumarten ausgewogene und stabile Einzelbaum- und Bestandesstrukturen; sie belegen aber auch, daß in den letzten 100 bis 150 Jahren die Tanne nahezu gänzlich ausgefallen war. Dies mag insbesondere auf den hohen Wilddruck vergangener Zeiten zurückzuführen sein.

– Die Verjüngungsaufnahme belegt, daß eine vielschichtige Folgegeneration „in Wartestellung“ mit den wichtigsten Baumarten, einschließlich wieder der Tanne, auf freiwerdende Altbestandslücken vorbereitet ist und diese ggf. auch nutzt. Der Wildverbiß spielt in diesem Bestand heutzutage keine große Rolle.

– Die waldwachstumskundliche Dauerbeobachtungsfläche umfaßt einen wichtigen Teilbereich des komplexen Forschungsauftrages für das Naturwaldreservat und Naturschutzgebiet. Die demnächst fällige Zweitaufnahme wird bereits Aussagen über derzeitige Strukturentwicklungen ermöglichen.

7. Summary

Title of the paper: *Structure and growth in the virgin forest relict stand „Höllbachspreng“ near Zwiesel.*

A brief characteristic of the yield observation plots ZWI 138/1 and ZWI 138/2 in the virgin forest relict stand „Höllbachspreng“, which was installed in 1987, shows some important aspects:

– The 2 plots show great variety in site and stand structure characteristics, even at short horizontal and vertical distance. It underlines the importance of this nature reserve stand in respect of long term comparing research.

– By its extrem site conditions the stand will react very sensible upon changing environment conditions. Therefore the stand has importance as indicator for global change effects.

– The main stand has well balanced stability in single tree and stand structure; but demonstrates an almost total loss of fir during the last 100 to 150 years, may be by reason of game.

– The multiform regeneration with the main important species – including again fir – is already waiting for a breach in the canopy and will be able to use it. Game nowadays does not seem to be the problem.

– The yield observation plots contribute as an important part to the complex research aims in nature preserve stands; first informations about the developing stand structures soon will be available after the second measurement.

8. Résumé

Titre de l'article: *Observations relatives à l'accroissement des forêts faites dans le peuplement relique sapins, épicéas et hêtres «Höllbachspreng» près de Zwiesel (Bavière).*

Bien que dans cette présentation il ne puisse s'agir que d'un bref aperçu, il s'en dégage néanmoins quelques aspects importants:

– Les 2 placettes d'observations portant sur la croissance des forêts sises dans le peuplement relique d'Höllbachspreng montrent une forte variabilité – même à de faibles distances horizontales et verticales – en ce qui concerne la microstation et le type de structure, telle qu'on en rencontre bien rarement dans d'autres peuplements représentant la forêt primitive (Fig. 1). Cela souligne tout l'intérêt que présente pour les recherches forestières comparatives à long terme cette zone de protection de la nature et de réserve de forêt naturelle.

– Le peuplement relique d'Höllbachspreng se trouve à la partie supérieure des versants de la forêt bavaroise, contiguë à la forêt

melangée de montagne des altitudes moyennes, et, vers les sommets, aux peuplements purs d'épicéas. En raison de ses particularités microstationnelles dues essentiellement aux courants d'air froid provenant des hautes altitudes et à la proximité de la zone d'inversion des températures, ce peuplement est particulièrement sensible pour la répartition des essences et l'évolution de sa croissance, aux modifications des paramètres de l'environnement auxquelles il réagit. Il a ainsi une grande valeur indicatrice du fait de cette réaction aux modifications du climat.

– Les données collectées dans le vieux peuplement montrent, pour toutes les essences, que les structures des arbres et du peuplement sont équilibrées et stables; mais elles mettent aussi en évidence que le sapin a presque complètement disparu au cours des 100 à 150 dernières années. Cela peut être principalement attribué à une forte pression du gibier dans le passé.

– L'inventaire de la régénération indique qu'une nouvelle génération pluriétagée comprenant les principales essences, y compris de nouveau le sapin, est «en position d'attente» prête à occuper les vides libérés dans le vieux peuplement et elle sera utilisée le cas échéant. L'abrutissement n'a plus aujourd'hui un rôle important.

– La placette d'observations permanente installée pour suivre la croissance de la forêt correspond à une part importante des missions de la recherche concernant la réserve de forêt naturelle et la protection de la nature. Le deuxième inventaire, qui interviendra sous peu, permettra d'avoir des indications sur l'évolution actuelle des structures.

J. M.

9. Literatur

- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Naturwaldreservate in Bayern. München, 1993
- FOERST, K. und KREUTZER, K.: Regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns – nach Hauptbaumarten. Bay. Staatsministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 1978
- HARTINGER, M.: Urwaldbestand „Höllbachspreng“ im Forstamt Zwiesel. Diplomarbeit, Forstw. Fakultät, LMU München, 1988
- KREUTZER, K. und FOERST, K.: Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns. Bay. Staatsministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, München, 1978
- MAGIN, R.: Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder in den bayerischen Alpen. Mitt. a. d. Stafo Bayern, H. 30, 1959
- Oberforstdirektion Regensburg: Langfristige Forstbetriebsplanung für das Forstamt Zwiesel 1986. 1986
- PRETZSCH, H.: Ertragskundliche Merkmale des Plenterwaldversuches Kreuzberger Forst (Versuchsfläche Freyung: FRY 129). Diplomarbeit, Forstw. Fakultät, LMU München, 1981
- PREUHSLER, T. und REBHAN, P.: „Kleinengelein“, ein Buchenstarkholz-Relikt im Forstamt Gerolzhofen. Forst und Holz 46, (16), 436–445, 1991
- PREUHSLER, T. und STÖGBAUER K.: Strukturmerkmale des Furniereichenbestandes „EICHHALL“ im Bayerischen Forstamt Rohrbrunn. Forst und Holz 45 (11), 283–289, 1990
- RAUSCHER, G.: Ertragskundliche Merkmale des Plenterwaldversuches BOM 130 im Forstamt Bodenmais. Diplomarbeit, Forstw. Fakultät, LMU München, 1981
- Regierungsforstamt Regensburg: Operat für das Forstamt Zwiesel 1856. 1856

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 jüngerer, raschwüchsi-

gen Fichtenprobestflächen 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% (Eggharting 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.

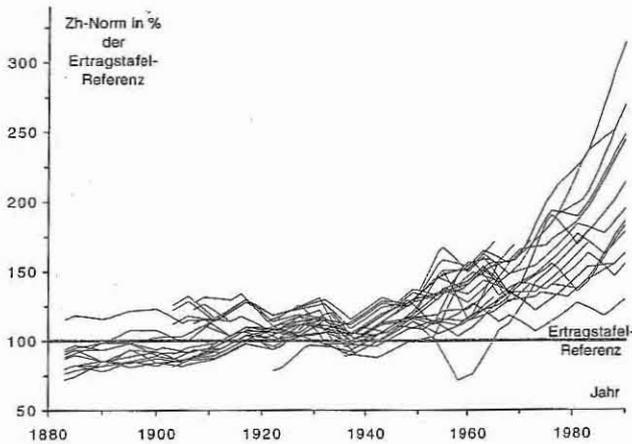


Abb. 1

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 Versuchsflächen. 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).

straffen 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.

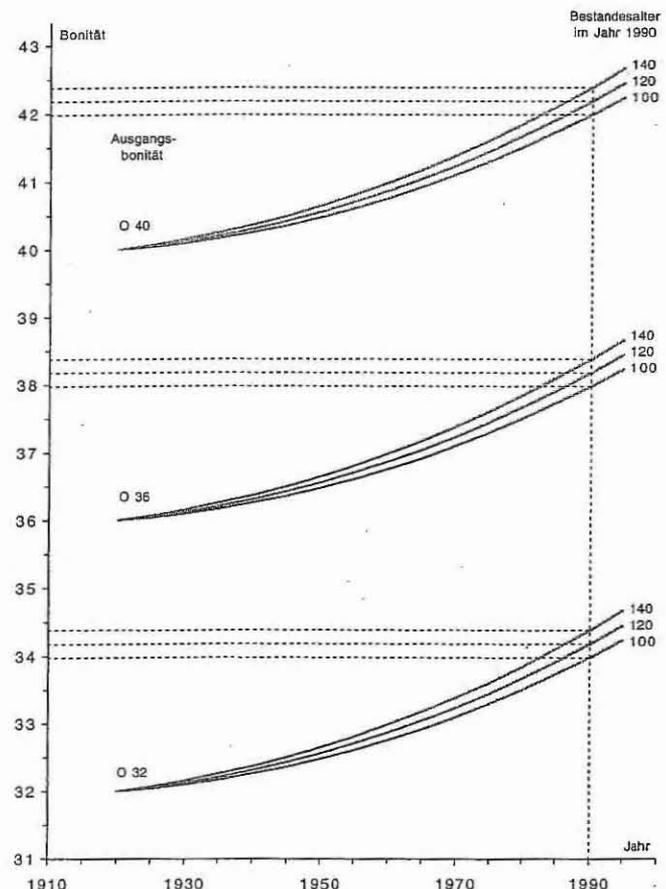


Abb. 2

Bonitätsentwicklung südbayerischer Fichtenbestände nach den Ergebnissen der Regressionsschätzung 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.

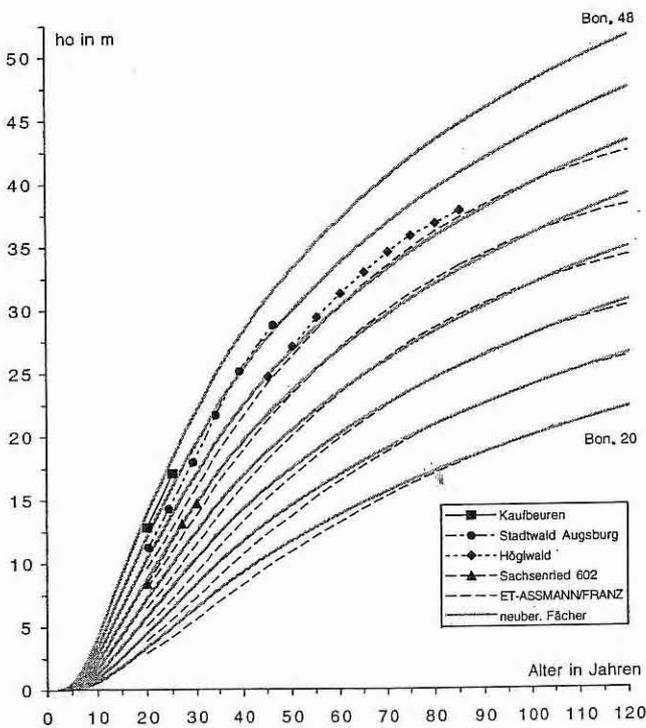


Abb. 3

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 Bonitätsstufung (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 Volumentwicklung: 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
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 m²/ha
 dm Mitteldurchmesser in cm hm Mittelhöhe in m
 ho Oberhöhe in m V Volumen in VfmD/ha

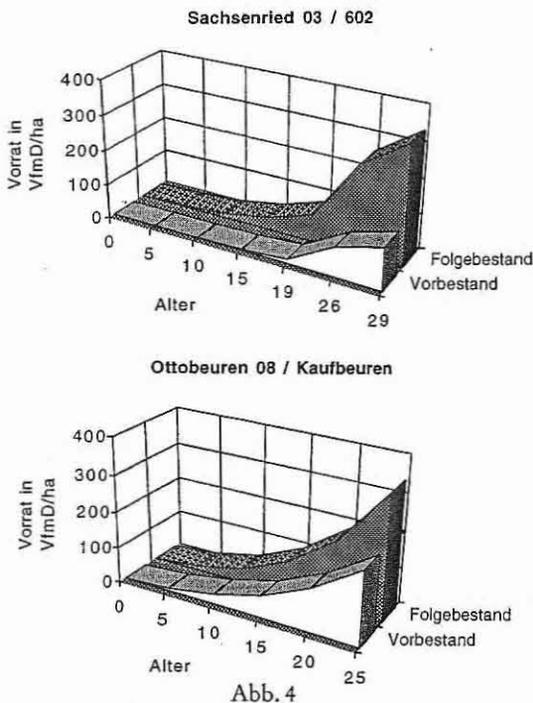


Abb. 4

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

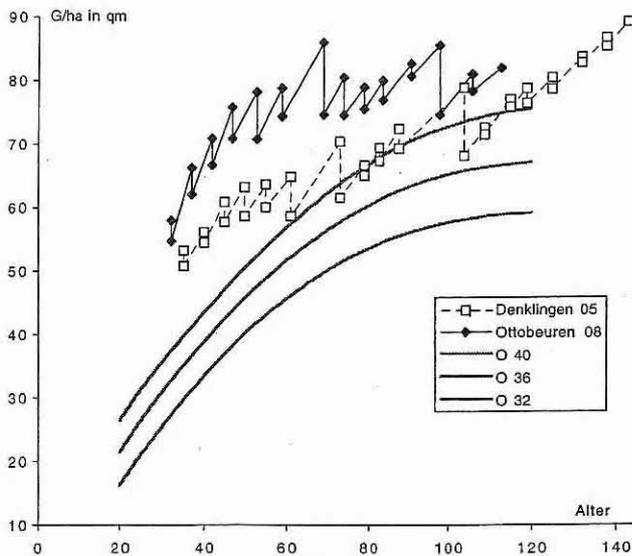


Abb. 5
Grundflächenentwicklung auf den A-Grad-Parzellen der
Versuchsflächen Denklingen 05 und Ottobeuren 08
über dem Alter

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 waldwachstumkundliche 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.: Waldtragskunde. 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-Versuchsflächen 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

Das Wachstumsmodell SILVA – Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Ludwig-Maximilians-Universität, München

(Mit 2 Abbildungen und 4 Tabellen)

Von M. KAHN und H. PRETZSCH

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Einzelbaumbezogenes Wachstumsmodell; Parametrisierung der Modellfunktionen; Fichte; Buche.

Single tree growth model; parameterization; spruce; beech.

1. EINLEITUNG

Die Entwicklung von baumpositionsabhängigen, einzelbaumorientierten Wachstumsmodellen geht bis auf die 1960er Jahre zurück. Die Stärke der Einzelbaumwachstumsmodelle gerade im Hinblick auf die Nachbildung von Wachstumsprozessen in ungleichaltrigen Mischbeständen läßt eigentlich keinen Zweifel offen, daß sich auch schon unsere Vorgänger bei der Entwicklung der so erfolgreichen Ertrags tafeln dieses Modellansatzes bedient hätten, wären Ihnen die heutigen computergestützten Modellierungswerkzeuge verfügbar gewesen.

Im Jahr 1989 begann am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der LMU München die Entwicklung des Einzelbaumwachstums simulators SILVA 1.0, der 1992 in einem Prototypen fertiggestellt werden konnte (PRETZSCH, 1992). In den folgenden Jahren wurde für SILVA eine Reihe weiterer Zusatzmodule entwickelt. Zu diesen zählen ein Strukturgenerator, ein standortabhängiges Höhen- und Durchmessermodell, ein Durchforstungsmodul, eine Schnittstelle zur Holzsortierung, Holzerntekostenberechnung und Wertleistungsermittlung sowie eine Schnittstelle zur Indikation ökologischer Entwicklungs- und Zustandsgrößen. Daraus ging die Programmversion 2.0 des Wachstumsmodells SILVA hervor (PRETZSCH, 1993, 1996; PRETZSCH und KAHN, 1995, 1996; UTSCHIG, 1997).

Neben der Implementierung dieses neuen methodischen Rüstzeuges wurde gleichfalls die Erweiterung einer für die Modellparametrisierung notwendigen Datenbasis vorangetrieben: zum einen durch die Neuanlage von Versuchsflächen in Mischbeständen und der damit verbundenen Neubeschaffung von einzelbaumbezogenen Wachstumsdaten, zum anderen durch die Aufarbeitung und Umstrukturierung der bisher i.w. nur für Bestandeskalkulationen genutzten Daten schon bestehender Versuchsflächen in Rein- und Mischbeständen. Dieser Prozeß der Datenbeschaffung und -organisation ist nun soweit gediehen, daß eine Neuparametrisierung des Wachstumsmodells SILVA für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche erfolgen kann, die zu der Modellversion 2.1 führt. Das dieser Version zugrunde liegende Datenmaterial und der Aufbau sowie die Parameter der wichtigsten Funktionen werden nachfolgend beschrieben.

2. DATENMATERIAL

Das für die Parametrisierung der Modellfunktionen von SILVA 2.1 verwendete Datenmaterial stammt zu wesentlichen Teilen aus dem Versuchsflächenetz des Münchener Lehrstuhls für Waldwachstumskunde. Für das standortabhängige Höhenwachstumsmodell konnte dankenswerterweise auch auf Daten der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen sowie der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft im schweizerischen Birmensdorf zurückgegriffen werden. Diese Daten bleiben im folgenden außer Betracht (KAHN, 1994).

Der verwendete Datensatz basiert auf 139 Parzellen von 31 Versuchsflächen. Die erste der insgesamt 343 Aufnahmen stammt aus dem Jahr 1954, die letzte aus dem Jahr 1996 (Tab. 1). Die Daten resultieren sowohl aus Wiederholungsaufnahmen als auch aus bisher einmalig aufgenommenen Wuchsreihen mit Zuwachsbohrungen. Für die neu angelegten Mischbestands-Wuchsreihen in Bodenmais (821), Freising (813), Kreuth (823) und Schongau (814) wurden die Zuwachsdaten des Brusthöhendurchmessers aus Bohrspananalysen ermittelt.

Über alle genannten Versuchsflächen und Aufnahmen hinweg liegen insgesamt 59914 Datensätze vor, mit 37092 Fichten, 19428 Buchen und 3394 Bäumen anderer Baumarten. Die Brusthöhendurchmesser der Fichte reichen von 2 cm bis 200 cm, die der Buche von 2 cm bis 123 cm. Die Baumhöhen liegen zwischen 2 m und 48 m bei der Fichte und zwischen 3 m und 44 m bei der Buche. Entsprechend vielfältig sind auch die Bestandesstrukturen auf den Versuchsparzellen, die durch Strukturindizes gekennzeichnet werden können (PRETZSCH, 1996): der modifizierte SHANNON-Index variiert zwischen 0 (einschichtig) und 1,1 (vertikal stark differenziert), der CLARK- und EVANS-Index schwankt von 0,3 (extreme Klumpung) bis 1,8 (Pflanzverband), und der Index nach PIELOU liegt bei 1 in Reinbeständen und erreicht als Extremwert bei reicher Einzelmischung der Baumarten -0,26.

3. MODELLFUNKTIONEN VON SILVA 2.1

Die folgende Beschreibung der Modellfunktionen von SILVA 2.1 beginnt mit den Schätzfunktionen zur Kronenansatzhöhe und zum Kronendurchmesser. Dann werden die standortabhängigen Funktionen zur Nachbildung des potentiellen Höhen- und Durchmesserwachstums entwickelt, und es schließen sich an die Funktionen zur Modellierung des Höhen- und des Durchmesserzuwachses. Nach einem kurzen Bezug auf das Mortalitätsmodell werden ebenfalls Schätzfunktionen des Strukturgenerators STRUGEN neu parametrisiert.

3.1 Kronenansatzhöhe und Kronendurchmesser

Zur Schätzung von Kronenansatz und Kronendurchmesser werden Modellfunktionen aufgestellt, die auf den Variablen Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe beruhen. Das Modell zur Schätzung des Kronenansatzes lautet:

$$kra = h \cdot \left(1 - e^{-(a_0 + a_1 \cdot \frac{h}{bhd} + a_2 \cdot bhd)} \right)$$

Es bedeuten:

kra = Kronenansatz, (m)

h = Baumhöhe, (m)

bhd = Brusthöhendurchmesser, (cm)

a_0, a_1, a_2 = baumartenspezifische Funktionsparameter

Die Parameter der Schätzgleichung sind mit Standardfehlern, Bestimmtheitsmaßen und Stichprobenumfängen in Tabelle 2 zusammengefaßt. Die Residuen zeigen über den vom Modell prognostizierten Kronenansätzen keinen Trend, die Prognosen sind stabil (Abb. 1).

Tab. 1

Datenbasis für die Parametrisierung des Wachstumsmodells SILVA 2.1 bilden 31 Versuchsflächen mit 139 Parzellen. Aus Versuchsflächen mit längeren Beobachtungszeitreihen wurden nur bestimmte Wachstumszeiträume zur Parametrisierung herausgegriffen.

(BHD = Messung des BHD, Höhe = Messung von Baum- und Kronenansatzhöhe,

Krone = Kronenablotung, Zuwachsbohrung = Entnahme von Bohrspänen, Koordinaten = Einmessung der Baumfußpunkte)

Data for parameterizing the growth model SILVA 2.1 from 31 experimental areas with 139 plots

Versuchsfläche	Wuchs- bezirk	Baum- arten	Anzahl Parzellen	erste Auf- nahme	letzte Auf- nahme	Zuwachs- perioden	Anzahl der Aufnahmen				
							BHD	Höhe	Krone	Koordi- naten	Zuwachs- bohrung
Bodenmais 130	11.03	Fi/Ta/Bu	3	1980H	1993H	2	2	2	1	1	
Bodenmais 821	11.03	Fi/Ta/Bu	5	1995H	1995H	1	1	1	1	1	1
Denklingen 5	14.04	Fi	3	1979H	1990H	1	2	2	1	1	
Denklingen 118	14.04	Fi/Bu	1	1995H	1995H	1	1	1	1	1	1
Denklingen 606	14.04	Fi	6	1982H	1995F	1	2	2		1	
Ebrach 640	02.02	Bu	8	1987H	1996F	1	2	2		1	
Eglharting 73	13.02	Fi	2	1970H	1983H	1	2	2	1	1	
Fabrikschleichach 15	05.02	Bu	3	1982H	1991F	1	2	2	1	1	
Freising 813	12.08	Fi/Bu	6	1994H	1994H	1	1	1	1	1	1
Freyung 129	11.03	Fi/Ta/Bu	3	1980H	1993H	2	3	3	1	1	
Gerolzhofen 627	05.05	Bu	4	1984F	1995H	1	2	2	1	1	
Köching 95	06.02	Fi	2	1977F	1991F	2	3	3		1	
Kreuth 823	15.05	Fi/Ta/Bu	1	1994H	1994H	1	1	1	1	1	1
München 145	13.02	Fi/Ta/Bu	2	1991H	1991H	1	1	1	1	1	1
Rothenbuch 634	02.02	Bu	5	1986F	1994H	1	2	2	1	1	
Rothenbuch 640	05.02	Bu	10	1987H	1996F	1	2	2		1	
Sachsenried 67	14.04	Fi	3	1978H	1990H	1	2	2	1	1	
Sachsenried 68	14.04	Fi	3	1978H	1990H	1	2	2	1	1	
Sachsenried 607	14.04	Fi	13	1982H	1995F	1	2	2		1	
Schongau 144	14.04	Fi, Bu, Fi/Bu	3	1958H	1990F	1	2	2	1	1	
Schongau 814	14.04	Fi/Bu	8	1995F	1994H	1	1	1	1	1	1
Starnberg 91	14.04	Bu	5	1980F	1994F	2	3	3	1	1	
Traunstein 639	14.04	Fi	2	1988H	1995H	1	2	2	1	1	
Weissenburg 613	05.08	Fi	7	1975F	1995H	3	4	4	1	1	
Zusmarshausen 603	12.07	Fi	6	1975F	1995H	4	5	5		1	
Zusmarshausen 604	12.07	Fi	4	1975F	1995H	4	5	5		1	
Zwiesel 111	11.03	Fi, Bu, Fi/Bu	7	1954H	1992H	5	6	6	2	1	
Zwiesel 134	11.03	Fi, Bu, Fi/Bu	5	1985F	1994H	2	3	3	1	1	
Zwiesel 135	11.03	Fi, Bu, Fi/Bu	5	1985F	1994H	2	3	3	1	1	
Zwiesel 137	11.03	Fi/Ta/Bu	2	1987H	1987H	-	1	1	1	1	
Zwiesel 138	11.03	Fi/Ta/Bu	2	1987H	1987H	-	1	1	1	1	

Zur Schätzung des Kronendurchmessers wird auf eine exponentielle Beziehung mit multiplem Variablensatz zurückgegriffen:

$$kd = e^{b_0 + b_1 \cdot \ln(bhd) + b_2 \cdot h + b_3 \cdot \ln\left(\frac{h}{bhd}\right)}$$

Es bedeuten:

kd = Kronendurchmesser, (m)

h = Baumhöhe, (m)

bhd = Brusthöhendurchmesser, (cm)

b_0, b_1, b_2, b_3 = baumartenspezifische Funktionsparameter

Die Bestimmtheitsmaße sind wie bei der Schätzung des Kronenansatzes relativ hoch, die Standardfehler der Funktionsparameter hingegen gering, so daß von stabilen Modellparametern gesprochen werden kann (Tab. 2). Auch hier weisen die Residuen über den prognostizierten Werten keine Verzerrungen auf (Abb. 1). Das Kronendurchmessermodell wurde mittels linearer Regressionen parametrisiert, so daß sich die Standardfehler der Modellschätzung auf die logarithmierten Kronendurchmesser beziehen (vgl. Tab. 2).

Die Variablen Kronenansatz und Kronendurchmesser werden benötigt, um mit den im Wachstumsmodell SILVA implementierten Kronenformmodellen räumliche Kronenformen zu erzeugen. Die

Parameter dieser baumartenspezifischen Kronenformmodelle wurden bereits von PRETZSCH (1992) publiziert.

3.2 Standortabhängiges Potential des Höhenwachstums

Die Parametrisierung des standortabhängigen Potentials zum Höhenwachstum gründet auf den Daten von insgesamt 277 Versuchspartellen, die räumlich von Schleswig-Holstein bis in die Schweiz reichen und aus dem niedersächsischen sowie schweizerischen Versuchswesen stammen. Hinzu kommen noch 50 Versuchspartellen aus dem bayerischen Versuchsflächenetz. Der Ansatz zur Berechnung des Höhenpotentials beruht auf einer 2-parametrischen Wachstumsfunktion nach VON BERTALANFFY (vgl. KAHN, 1995; PRETZSCH und KAHN, 1995):

$$h_{pot} = A \cdot (1 - e^{-k \cdot t})^3$$

Es bedeuten:

h_{pot} = Bestandesoberhöhe, (m)

A = Asymptote, (m)

k = Steigungsparameter, (1/Jahr)

t = Bestandesalter, (Jahr)

Tab. 2

Parameter der Kronenansatzhöhen- und der Kronendurchmesserfunktionen von SILVA 2.1 (N = Stichprobenumfang, Rq = Bestimmtheitsmaß; SE = Standardfehler; MSE = Mittlerer quadratischer Fehler)

Parameter of the function for estimating crown intersection and crown diameter

Baumart	Parameter	Schätzwert	Standardfehler
Kronenansatzhöhe			
Fichte	N = 8275; Rq = 0,78; MSE = 6,1		
	a0	-0,094441	0,0322143
	a1	-0,849057	0,0244689
	a2	0,0000377	0,0003288
Buche	N = 7439; Rq = 0,78; MSE = 8,2		
	a0	-0,4995272	0,0257143
	a1	-0,1709472	0,0176391
	a2	-0,0007804	0,0002938
Kronendurchmesser			
Fichte	N = 7928; Rq = 0,80; SE = 0,28		
	b0	-0,092425	0,024293
	b1	0,312609	0,013757
	b2	0,013118	0,000863
	b3	-0,282520	0,010066
Buche	N = 5876; Rq = 0,75; SE = 0,33		
	b0	0,339905	0,056572
	b1	0,326561	0,032139
	b2	0,014466	0,001890
	b3	-0,041266	0,026059

Der Steigungsparameter k ist festgelegt, wenn der Zeitpunkt der Zuwachskulmination des Höhenwachstums bekannt ist:

$$k = \frac{-\ln(1/3)}{t_{kulm}}$$

Es bedeuten:

k = Steigungsparameter, (1/Jahr)

t_{kulm} = Bestandesalter, zu dem der Höhenzuwachs kulminiert, (Jahr)

Die Parameter A und t_{kulm} werden nun als Funktionen in Abhängigkeit vom Standort modelliert. Der Standort wird in Form von 9 Standortvariablen beschrieben, und s_n beinhaltet die Faktorausprägung eines Standortes mit der Standortvariablen n. Es ist:

s₁ = Nährstoffversorgung des Bodens

s₂ = NO_x-Gehalt der Luft

s₃ = CO₂-Gehalt der Luft

s₄ = Länge der Vegetationszeit

s₅ = Jahrestemperaturamplitude

s₆ = Mittlere Temperatur in der Vegetationszeit

s₇ = Ariditätsindex nach DE MARTONNE

s₈ = Niederschlagssumme in der Vegetationszeit

s₉ = Bodenfrische

Die Variablen Nährstoffversorgung des Bodens und Bodenfrische sind ordinal skaliert. Sie werden mittels des fuzzy set – theoretischen Konzepts linguistischer Variablen auf metrisches Skalenniveau gehoben. Sämtliche Klimainformationen können aus der Wuchsbezirkszugehörigkeit eines Standortes hergeleitet werden. NO_x und CO₂ sind i.d.R. globale Variablen. Alle Variablen werden über unimodale Dosis-Wirkungsfunktionen f(s_n) auf das Intervall [0; 1] abgebildet:

$$r_n = f(s_n), n = 1..9 \text{ und } r_n \in [0; 1]$$

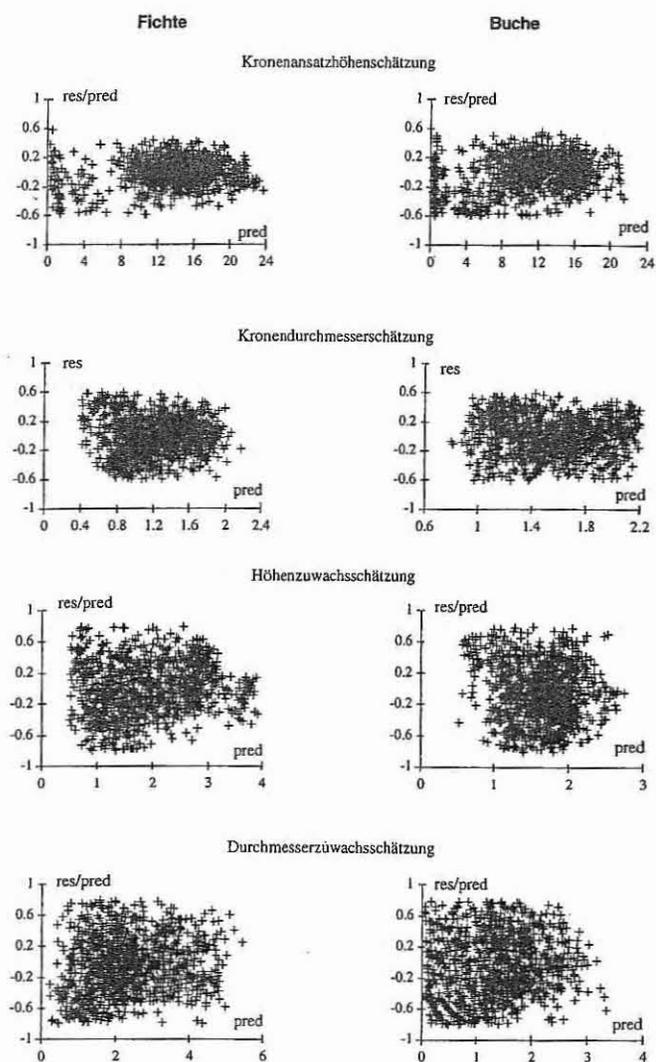


Abb. 1

Residuen (res) und prognostizierte Werte (pred) der Schätzfunktionen für Kronendurchmesser, Kronenansatzhöhe, Höhenzuwachs und Durchmesserzuwachs

Residuals (res) and predicted values (pred) of the functions for estimating crown diameter, crown intersection, height increment and diameter increment

Der Wirkungswert r_n beschreibt die Wirkung der Faktoren s_n auf das potentielle Höhenwachstum einer Baumart, ist also kontextsensitiv für die Baumarten. Diese Wirkungswerte werden nun zunächst zu komplexen ökologischen Faktoren zusammengefasst:

$$KF_j = \left(\prod_{i=(j-1)*3+1}^{j*3} r_i \right)^{1-\gamma_{j+2}} * \left(1 - \prod_{i=(j-1)*3+1}^{j*3} (1 - r_i) \right)^{\gamma_{j+2}}$$

Es bedeuten:

KF = komplexer ökologischer Faktor

r = Wirkungswert

γ = baumartenspezifischer Funktionsparameter

j = Laufvariable (j=1..3)

So ergeben sich die drei ökologischen Faktoren KF₁, KF₂ und KF₃. Diese können interpretiert werden als Nährstoffversorgung (KF₁), Wärmeversorgung (KF₂) und Wasserversorgung des Standortes (KF₃). In einem weiteren Schritt werden die ökonomischen Faktoren nun

baumartenspezifisch auf die Asymptote und den Zeitpunkt der Zuwachskulmination abgebildet:

$$A = A_0 + A_1 * \left(\prod_{j=1}^3 KF_j \right)^{1-\gamma_1} * \left(1 - \prod_{j=1}^3 (1 - KF_j) \right)^{\gamma_1}$$

und

$$t_{kulm} = t_0 + t_1 * \left(\prod_{j=1}^3 KF_j \right)^{1-\gamma_2} * \left(1 - \prod_{j=1}^3 (1 - KF_j) \right)^{\gamma_2}$$

Es bedeuten:

A = Asymptote, (m)

A₀ = minimale Asymptote, (m)

A₁ = maximale Asymptote minus A₀, (m)

t_{kulm} = Bestandesalter, zu dem der Höhenzuwachs kulminiert, (Jahr)

t₀ = Minimalwert von t_{kulm}, (Jahr)

t₁ = Maximalwert von t_{kulm} minus t₀, (Jahr)

KF = komplexer ökologischer Faktor

γ = Funktionsparameter

j = Laufvariable (j=1..3)

Dieser Modellansatz zur Schätzung der Parameter einer standortabhängigen Höhenwachstumskurve liefert Bestimmtheitsmaße bei der Fichte von 0,93 und bei der Buche von 0,78 (Tab. 3). Da dieses Höhenwachstum aus Bestandesdaten resultiert, wird es nach statistischen Auswertungen des Datenmaterials zur Erreichung eines Höhenpotentials des Einzelbaumes für die Fichte um 13,8% und für die Buche um 13,2% erhöht (vgl. KAHN, 1994). Der potentielle Höhenzuwachs eines Einzelbaumes im Zeitraum Δt ergibt sich nun, indem zunächst dessen theoretisches Alter errechnet wird (vgl. PRETZSCH, 1992):

$$t = \frac{-\ln\left(\sqrt{\frac{h_1}{A}}\right)}{k}$$

Es bedeuten:

t = theoretisches Baumalter, (Jahr)

h₁ = aktuelle Baumhöhe zum Zeitpunkt t, (m)

A = Asymptote, (m)

k = Steigungsparameter, (1/Jahr)

Unter Anwendung von

$$h_2 = A * (1 - e^{-k * (t + \Delta t)})^3$$

mit

h₂ = Baumhöhe zum Zeitpunkt t + Δt, (m)

t = theoretisches Baumalter, (Jahr)

Δt = Zeitperiode, z. B. 5 Jahre, (Jahr)

A = Asymptote, (m)

k = Steigungsparameter, (1/Jahr)

ergibt sich der potentielle Höhenzuwachs eines Baumes als

$$zh_{pot} = c * (h_2 - h_1)$$

Es bedeuten:

zh_{pot} = potentieller Höhenzuwachs eines Baumes, (m/5 Jahre)

h₂ = Baumhöhe zum Zeitpunkt t + Δt, (m)

h₁ = aktuelle Baumhöhe zum Zeitpunkt t, (m)

c = baumartenspezifischer Faktor zur Umrechnung von Bestandes- zu Baumhöhe (1,138 bei Fichte und 1,132 bei Buche)

Damit erfolgt die Schätzung der potentiellen Höhenentwicklung des einzelnen Baumes über dem Alter ausschließlich in Abhängigkeit von Standortvariablen.

Tab. 3

Parameter der Durchmesser- und der Höhenfunktion von SILVA 2.1 (N = Stichprobenumfang; Rq = Bestimmtheitsmaß; SE = Standardfehler; MSE = Mittlerer quadratischer Fehler)
Parameter of the diameter- and height increment functions of SILVA 2.1

Baumart	Parameter	Schätzwert	Standardfehler
Höhenpotential			
Fichte	N = 845; Rq = 0,93; MSE = 6,6		
	γ1	0,931025813	0,022560311
	γ2	0,909237467	0,030210723
	γ3	0,391734663	0,242589768
	γ4	0,233646896	0,300701355
	γ5	0,000100000	0,429715289
Buche	N = 1159; Rq = 0,78; MSE = 8,9		
	γ1	0,672250779	0,123409281
	γ2	0,749076069	0,097334837
	γ3	0,923191597	0,033346835
	γ4	0,000100000	0,311601136
	γ5	0,183476914	0,326903024
Durchmesserpotential			
Fichte	N = 3397; Rq = 0,86; MSE = 46,9		
	c0	1,305581829	0,021208571
	c1	0,028439762	0,000349739
Buche	N = 3013; Rq = 0,75; MSE = 60,3		
	c0	1,235026405	0,027649776
	c1	0,038845189	0,000598098
Höhenzuwachs			
Fichte	N = 22041; Rq = 0,54; MSE = 0,64		
	d0	1,235824277	0,016600218
	d1	0,568984327	0,008230879
	d2	0,336577688	0,005758839
	d3	2,183120656	0,166061366
	d4	11,97436286	0,276490131
Buche	N = 9718; Rq = 0,19; MSE = 0,13		
	d0	1,169083241	0,295689811
	d1	0,552119116	0,065705010
	d2	0,494704485	0,039680824
	d3	-5,302417068	0,675296253
	d4	1,876207138	0,633120613
Durchmesserzuwachs			
Fichte	N = 22041; Rq = 0,56; MSE = 0,97		
	d0	2,754169882	0,312181433
	d1	1,404583910	0,030449615
	d2	0,508546572	0,008868777
	d3	-5,446839847	0,203515958
	d4	2,459669496	0,046812683
Buche	N = 9718; Rq = 0,55; MSE = 0,43		
	d0	4,281140375	3,274455124
	d1	0,585544328	0,015336756
	d2	-1,476376285	0,251890300
	d3	1,567243741	0,106817569
	d4	0,707562356	0,687322937
	d5	0,707562356	0,687322937

3.3 Standortabhängiges Potential des Durchmesserwachstums

Es ist naheliegend, auch das potentielle Durchmesserwachstum in Abhängigkeit vom Standort zu beschreiben. Folgender Gedanke liegt nun dem Aufbau einer geeigneten Schätzfunktion zugrunde: erstens entwickelt sich die Baumhöhe über dem Brusthöhendurchmesser

entlang einer S-förmigen Wachstumskurve, und zweitens kann die Baumhöhe zu einem gegebenen Zeitpunkt über dem Durchmesser nicht größer sein als über dem Alter. Der erste Gedanke führt dazu, das potentielle Durchmesserwachstum in Abhängigkeit von der Höhe mit Hilfe einer inversen Wachstumskurve zu beschreiben. Der zweite Gedanke legt für diese inverse Wachstumskurve als ordnatenparallele Asymptote zwangsläufig die aus dem Höhenwachstum bereits definierte abszissenparallele Asymptote fest (Abb. 2). Die Zusammenhänge zwischen Durchmesser, Höhe, Durchmesserzuwachs und der Zeit sind klar ersichtlich: der Durchmesser über der Höhe entwickelt sich entlang einer inversen S-Kurve und ist standortabhängig. Der Durchmesserzuwachs über dem Durchmesser entspricht dem bekannten Verlauf einer Differentialkurve, und der Durchmesserzuwachs über der Zeit ist ebenfalls typisch ausgeprägt, indem er sich in hohem Alter asymptotisch dem Wert 0 nähert. Damit läßt sich das standörtlich mögliche Durchmesserwachstum festlegen in der Funktion

$$d_{pot} = - \frac{\ln(1 - \sqrt{\frac{h_{pot}-1,3}{A}})}{c_1}$$

Es bedeuten:

- d_{pot} = standörtlich potentieller Baumdurchmesser, (cm)
- h_{pot} = standörtlich potentielle Baumhöhe, (m)
- A = baumartenspezifische Asymptote des potentiellen Höhenwachstums, (m)
- c_0, c_1 = baumartenspezifische Funktionsparameter

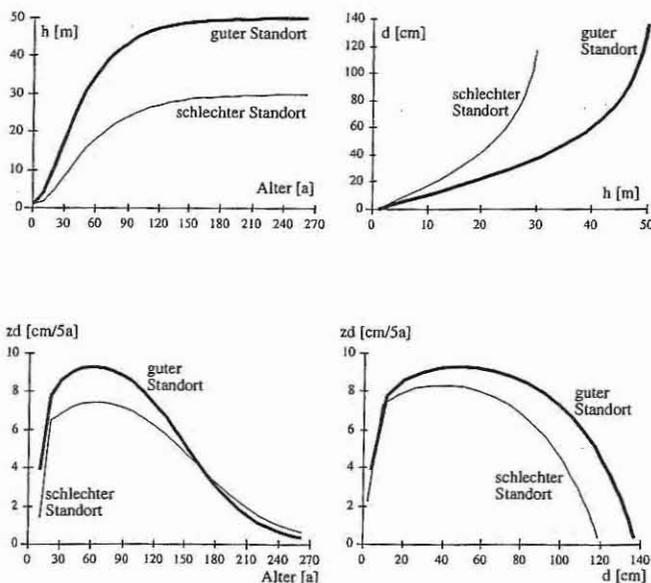


Abb. 2

Zusammenhänge zwischen potentielltem Höhenzuwachs, potentielltem Baumdurchmesser in Brusthöhe, Durchmesserzuwachs, dem Alter und dem Standort.

- Links oben: Höhenentwicklung über dem Alter.
 - Rechts oben: Durchmesserentwicklung über der Höhe.
 - Links unten: Durchmesserzuwachs über dem Alter.
 - Rechts unten: Durchmesserzuwachs über dem Durchmesser
- Relations between potential height growth, potential diameter growth, diameter increment, age and site conditions

Die Funktion potentieller Durchmesser in Abhängigkeit von der Baumhöhe wird über das gesamte in Tabelle 1 beschriebene Datenmaterial parametrisiert. Dazu wird aus den Standortvariablen die Asymptote des Höhenwachstums ermittelt, und aus den Bestandeshöhenkurven wird jedem Baum eine Baumhöhe zugeordnet. Aus jeder Parzelle wird nun für jeden Aufnahmezeitpunkt ein Kollektiv

der jeweils 3 dicksten Bäume jeder Baumart ausgewählt. Der Zusammenhang Durchmesser über der Höhe wird dann mittels einer nichtlinearen Regression statistisch ausgeglichen (Tab. 3).

Aus der Verteilung der zu den jeweiligen Baumhöhen relativierten Residuen dieses Ausgleichs wird die Standardabweichung geschätzt (die Relativierung wird vorgenommen, weil die Residuen heteroskedastisch sind). Diese wird mit einem Wert von 4 multipliziert und zu dem jeweils errechneten potentiellen Durchmesserwert addiert, um am oberen Ende der Verteilung der Residuen die bei gegebener Höhe maximal möglichen Durchmesser so überdecken zu können, daß mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 99% alle errechneten Durchmesserzuwachspotentiale höher als wirklich vorkommende Durchmesserzuwächse sind. Der Mittelwert der relativierten Residuen liegt bei 0, die Standardabweichung beträgt bei der Fichte 0,3 und bei der Buche 0,26. Es liegt also nun folgende Funktion vor:

$$d_{pot} = - \frac{\ln(1 - \sqrt{\frac{h_{pot}-1,3}{A}})}{c_1} + 4 \cdot s_{res(dpot)}$$

Es bedeuten:

- d_{pot} = standörtlich potentieller Baumdurchmesser, (cm)
- h_{pot} = standörtlich potentielle Baumhöhe, (m)
- Asy = baumartenspezifische Asymptote des potentiellen Höhenwachstums, (m)
- $s_{res(dpot)}$ = Standardabweichung der relativierten Residuen, umgerechnet in (cm)
- c_0, c_1 = baumartenspezifische Funktionsparameter

Die baumartenabhängigen Funktionsparameter c_0 und c_1 charakterisieren inhaltlich die Dynamik des potentiellen Durchmesserwachstums. Der potentielle Durchmesserzuwachs ergibt sich schließlich aus Differenzbildung, indem zunächst der potentielle Durchmesser bei der Baumhöhe h plus zh_{pot} ermittelt wird. Davon wird der potentielle Durchmesser bei der Höhe h subtrahiert.

3.4 Höhenzuwachs

Das Höhenzuwachsmodell setzt sich aus mehreren Einflußfaktoren zusammen. Der 1. Faktor beinhaltet die Wirkung der relativen Kronenmantelfläche auf den Höhenzuwachs. Die relative Kronenmantelfläche ist der Quotient aus wirklicher und potentieller Kronenmantelfläche. Die Kronenmantelfläche wird nach den Kronenmodellen von PRETZSCH (1992) berechnet. Die potentielle Kronenmantelfläche ergibt sich, indem der Kronenansatz bis zum Boden verlagert und der Kronendurchmesser um die 3fache Standardabweichung der Residuen des Kronendurchmessermodells verbreitert wird. Die Wirkung der relativen Kronenmantelfläche auf den Höhenzuwachs wird ausgedrückt durch die Funktion:

$$KRONE = 1 - e^{-d_1 \cdot km_{real}/km_{pot}}$$

Es bedeuten:

- KRONE = Wirkung der Kronenausprägung auf den Höhenzuwachs
- km_{real} = wirkliche Kronenmantelfläche, (m²)
- km_{pot} = potentielle Kronenmantelfläche, (m²)
- d_1 = baumartenspezifischer Funktionsparameter

Ein 2. Einflußfaktor wird bestimmt durch den Grundflächenanteil, den die Baumart Fichte in einem Umkreis von mindestens 10 m und maximal dem 2fachen Kronendurchmesser um einen Baum hat. Dieser Einflußfaktor wird modifiziert durch die Verlagerung des Konkurrenzschwerpunktes, der dadurch auftritt, daß die Konkurrenten nicht in kreisförmiger Regelmäßigkeit um einen Baum verteilt sind (PRETZSCH, 1995b). Der Einflußfaktor 2 lautet:

$$PBA_NDIST = \frac{(1 + \frac{pba}{3})}{(1 + \frac{ndist}{3})}$$

Es bedeuten:

PBA_NDIST = Wirkung von Mischungsanteil und Konkurrenzverlagerung auf den Höhenzuwachs
 pba = Grundflächenanteil der Fichte in einem Bezugskreis
 ndist = Verlagerung des Konkurrenzschwerpunktes

Als zentrale Einflußgröße auf den Höhenzuwachs ist der Konkurrenzindex KKL (Kronenkonkurrenz um Licht) die wichtigste Variable im Höhenzuwachsmodell. Seine Berechnung wurde ebenso wie die der Verlagerung des Konkurrenzschwerpunktes von PRETZSCH (1995b) beschrieben. Der Konkurrenzindex KKL ist in seiner Wirkung auf den Höhenzuwachs sehr stark von der jeweiligen Baumhöhe, d.h. dem zeitlichen Entwicklungsstadium des Baumes, abhängig. Um zusätzlich Standorteinflüsse bei der Einbeziehung der Baumhöhe berücksichtigen zu können, wird sie durch Division mit der standortabhängigen Höhenasymptote relativiert. Damit ist die Wirkung einer gegebenen Konkurrenzsituation auf den Höhenzuwachs entwicklungs- und standortabhängig, zusätzlich zu der Tatsache, daß auch der potentielle Höhenzuwachs vom Standort abhängt. Die Wirkungsfunktion lautet:

$$WKKL = (KKL + 0,01 \cdot \Delta KKL) \cdot \left(1 + \frac{h}{A}\right)^{d_2}$$

Es bedeuten:

WKKL = Wirkungsfaktor Lichtkonkurrenz
 KKL = Kronenkonkurrenz
 Δkkl = Veränderung von KKL aufgrund von Durchforstung oder Mortalität
 h = Baumhöhe, (m)
 A = standortabhängige Asymptote des Höhenwachstums, (m)
 d_2 = baumartenspezifischer Funktionsparameter

Dieser Wirkungsfaktor WKKL wird nun in einer exponentiellen Funktion mit dem Faktor PBA_NDIST und zusätzlichen Parametern gewichtet. Damit lautet der 3. Einflußfaktor:

$$WKONKU = e^{-d_3} \cdot (PBA_NDIST \cdot WKKL)^{d_4}$$

Es bedeuten:

WKONKU = Konkurrenzfaktor
 WKKL = Wirkungsfaktor Lichtkonkurrenz
 PBA_NDIST = Wirkung von Mischungsanteil und Konkurrenzverlagerung auf den Höhenzuwachs
 d_3, d_4 = baumartenspezifische Funktionsparameter

Aus den genannten Einflußfaktoren sowie dem potentiellen Höhenzuwachs zh_{pot} wird nun das Höhenzuwachsmodell aufgebaut:

$$zh = d_0 \cdot zh_{pot} \cdot KRONE \cdot WKONKU$$

Es bedeuten:

zh = Höhenzuwachs, (m/5 Jahre)
 zh_{pot} = potentieller Höhenzuwachs, (m/5 Jahre)
 KRONE = Wirkung der Kronenausprägung auf den Höhenzuwachs
 WKONKU = Wirkung der Konkurrenz auf den Höhenzuwachs
 d_0 = baumartenspezifischer Funktionsparameter

Dieses Höhenzuwachsmodell wird auf der Grundlage von 22041 Fichten und 9718 Buchen parametrisiert. Die Standardfehler der Funktionskoeffizienten sind bei beiden Baumarten stets sehr klein und liegen zumeist bei weniger als 10% (Tab. 3). Die Bestimmtheitsmaße betragen als Resultat nichtlinearer Regressionen 0,54 bei der Fichte und 0,19 bei der Buche. Die Residuen sind gut verteilt (Abb. 1).

3.5 Durchmesserzuwachs

Das Durchmesserzuwachsmodell ist im Aufbau mit dem Höhenzuwachsmodell weitgehend identisch. Den wichtigsten Beitrag zur

Erklärung der Varianz der Durchmesserzuwächse trägt auch hier der Einflußfaktor WKKL bzw. WKONKU, d.h. also der Konkurrenzindex. In der Rangfolge der Varianzerklärung folgt darauf das standortabhängige Durchmesserzuwachspotential. Indem bei der Herleitung dieses Potentials die Asymptote des Höhenwachstums in die Berechnungsfunktion einfließt (vgl. Unterkapitel 3.3), liegt bereits eine primäre Standortabhängigkeit vor. Es erweist sich allerdings als unumgänglich, die Dynamik des Durchmesserzuwachspotentials noch direkter standortabhängig zu gestalten und zugleich das zeitliche Entwicklungsstadium des Baumes zu berücksichtigen. Dazu wird die Variable

$$STO_DYN = \left(1 + \frac{h}{A}\right)^{d_5}$$

mit

STO_DYN = standortabhängiger Modifikator der Potentialdynamik
 h = Baumhöhe, (h)
 A = standortabhängige Asymptote des Höhenwachstums, (m)
 d_5 = baumartenspezifischer Funktionsparameter

eingeführt, die multiplikativ mit dem Durchmesserzuwachspotential verknüpft eine wesentliche Verbesserung der Zuwachsschätzung bewirkt. Die Funktion zur Schätzung des Durchmesserzuwachses entwickelt sich nun zu

$$zd = d_0 \cdot zd_{pot} \cdot STO_DYN \cdot KRONE \cdot WKONKU$$

Es bedeuten:

zd = Durchmesserzuwachs, (cm/5 Jahre)
 zd_{pot} = potentieller Durchmesserzuwachs, (cm/5 Jahre)
 KRONE = Wirkung der Kronenausprägung auf den Durchmesserzuwachs
 WKONKU = Wirkung der Konkurrenz auf den Durchmesserzuwachs

STO_DYN = standortabhängiger Modifikator der Potentialdynamik
 d_0 = baumartenspezifischer Funktionsparameter

Dieses Zuwachsmodell wird unter Ausnutzung der gesamten Datengrundlage parametrisiert. Von den insgesamt 37092 Fichten können 22041 mit Zuwachswerten in die Parametrisierung einfließen (bei der Buche sind es 9718 von 19428 Bäumen), die restlichen sind aufgrund natürlicher Mortalität oder bei Durchforstungen ausgeschieden oder es liegen aus anderen Gründen keine Zuwachswerte vor (z.B. keine Zuwachsbohrung auf den Wuchsreihen). Die ausgeschiedenen Bäume bestimmen die Ausprägung der Variablen ΔKKL . Die Bestimmtheitsmaße sind für Fichte und Buche nahezu identisch und betragen 0,56 bzw. 0,55 (Tab. 3), die Standardfehler der Funktionskoeffizienten liegen niedrig. Die Residuen sind zwar heteroskedastisch, aber gut verteilt (Abb. 1).

3.6 Mortalität

Zur Nachbildung der Mortalität im Einzelbaummodell SILVA 2.1 wird der Ansatz von DURSKEY (1997) implementiert. Der Ansatz beruht auf einer logistischen Klassifikationsfunktion der Form

$$LT_KLASSE = \frac{1}{1 + e^{-\epsilon_0 + \epsilon_1 \cdot bhd + \epsilon_2 \cdot \frac{ig}{bhd} + \epsilon_3 \cdot \frac{h}{bhd} + \epsilon_4 \cdot bon}}$$

Es bedeuten:

LT_KLASSE = wahrscheinliche Klassenzugehörigkeit lebend/tot
 ig = Grundflächenzuwachs eines Baumes, (cm²/5 Jahre)
 bhd = Baumdurchmesser, (cm)
 h = Baumhöhe, (m)
 bon = standortabhängiges Höhenwachstumspotential im Alter 50, (m)
 $\epsilon_0, \dots, \epsilon_4$ = baumartenspezifische Funktionsparameter

Mit dem Funktionswert *LT_KLASSE* liegt eine wahrscheinliche Zugehörigkeit zu der Klasse lebender oder toter Bäume vor. Bei der Parametrisierung der Schätzfunktion (Tab. 4) ergab sich nach einer Residualanalyse, daß die Häufigkeiten richtig klassifizierter Bäume

Tab. 4

Parameter der Mortalitäts- und der Baumabstandsfunktion von SILVA 2.1 (N = Stichprobenumfang, Rq = Bestimmtheitsmaß; SE = Standardfehler)
Parameter of the mortality- and the tree distance function of SILVA 2.1

Baumart	Parameter	Schätzwert	Standardfehler
Mortalität			
Fichte	N = 4764; 88 % richtig klassifiziert		
	e0	5,3908	0,3301
	e1	-0,0089	0,0027
	e2	1,4802	0,0283
	e3	-5,3998	0,2070
Buche	N = 526; 88 % richtig klassifiziert		
	e0	6,6686	2,0206
	e1	-0,2610	0,0658
	e2	3,0796	0,2917
	e3	-7,6405	1,5171
Fichte/Fichte	Mindestbaumabstand		
	N = 10122; Rq = 0,77; SE = 0,59		
	f0	0,108713	0,0127770
	f1	0,604837	0,0064690
	f2	0,007288	0,0006427
	f3	0,003746	0,0006363
	f4	0,001496	0,0005439
	N = 7; Rq = 0,99; SE = 0,03		
	f5	-0,039075	0,008619
	f6	0,227321	0,019819
Buche/Buche	N = 7; Rq = 0,99; SE = 0,08		
	f7	0,087340	0,056301
	f8	-0,538810	0,056301
	N = 11909; Rq = 0,74; SE = 0,75		
	f0	-0,145029	0,0160660
	f1	0,644050	0,0060940
	f2	0,009169	0,0006408
	f3	0,006299	0,0006334
f4	0,000286	0,0005795	
Fichte/Buche und Buche/Fichte	N = 8; Rq = 0,97; SE = 0,11		
	f5	-0,019830	0,028790
	f6	0,286532	0,028790
	N = 8; Rq = 0,98; SE = 0,16		
f7	-0,121695	0,109586	
f8	-0,521111	0,041180	
Fichte/Buche und Buche/Fichte	N = 2651; Rq = 0,58; SE = 0,83		
	f0	0,082217	0,043340
	f1	0,654770	0,015374
	f2	0,005956	0,001163
	f3	0,000134	0,001190
	f4	-0,005755	0,001095
	N = 8; Rq = 0,99; SE = 0,03		
	f5	0,114416	0,007769
	f6	0,200779	0,020797
	N = 8; Rq = 0,99; SE = 0,07		
f7	-0,226136	0,043399	
f8	-0,448720	0,016212	

über der Variablen *LT_KLASSE* ungleich, aber systematisch verteilt sind. Aus diesen Häufigkeiten wird daher eine Mortalitätswahrscheinlichkeit entwickelt, die von einem stochastischen Auswahlprozeß begleitet eine treffgenaue Prognose der Mortalität von Einzelbäumen ermöglicht (vgl. DURSKY, 1997). Durch Einbeziehung der Variablen *bon*, die der potentiellen Baumhöhe im Alter 50 entspricht, enthält das Mortalitätsmodell eine standortabhängige Komponente. Durch die Integration des Grundflächenzuwachses sowie der Baumhöhe relativ zum Baumdurchmesser kommen Konkurrenz- und Dimensionseffekte zum Ausdruck.

3.7 Strukturgenerator

Das Einzelbaummodell SILVA ist baupositionsabhängig. Vor Beginn eines Prognoselaufes ist es daher erforderlich, jedem Baum eine durch räumliche Koordinaten bestimmte Position zuzuordnen. Zu diesem Zweck wurde der Strukturgenerator STRUGEN entwickelt (PRETZSCH, 1993), der in Bezug auf die Baumabstandsfunktionen für die Baumarten Buche und Lärche parametrisiert war. Diese Baumabstandsfunktionen legen fest, wie nah Modellbäume bestimmter Dimensionen höchstens zusammen stehen dürfen, wenn ihnen mittels STRUGEN eine Position im Bestandesgefüge zugewiesen wird. Bisher war dieser Mindestabstand zum nächsten Nachbarn in Form eines „harten Kerns“ nur vom Brusthöhendurchmesser und der Baumart des Bezugsbaumes sowie der Baumart des nächsten Nachbarn abhängig. Folgend wird eine Methode vorgestellt, die zur Ermittlung des Mindestabstandes bei „weichem Kern“ die Brusthöhendurchmesser des Bezugsbaumes und seiner zwei nächsten Nachbarn sowie die Distanz zum zweitnächsten Nachbarn mit berücksichtigt. Als Berechnungsgrundlage dient wiederum das gesamte verfügbare Datenmaterial (vgl. Tab. 1). Zunächst wird ein lineares multiples Regressionsmodell zur Schätzung der Entfernung zum nächsten Nachbarn aufgestellt:

$$Abst_{01} = f_0 + f_1 \cdot Abst_{02} + f_2 \cdot bhd_0 + f_3 \cdot bhd_1 + f_4 \cdot bhd_2$$

Es bedeuten:

Abst₀₁ = Abstand vom Bezugsbaum zu seinem nächsten Nachbarn, (m)

Abst₀₂ = Abstand vom Bezugsbaum zu seinem zweitnächsten Nachbarn, (m)

bhd₀ = Baumdurchmesser des Bezugsbaumes, (cm)

bhd₁ = Baumdurchmesser des nächsten Nachbarn, (cm)

bhd₂ = Baumdurchmesser des zweitnächsten Nachbarn, (cm)

f₀, ..., f₄ = baumartenspezifische Funktionsparameter

Dieses Modell wird für 3 Fälle parametrisiert: Bezugsbaum und nächster Nachbar sind Fichten, beide sind Buchen oder es handelt sich um Fichte und Buche bzw. Buche und Fichte. Die Bestimmtheitsmaße der Schätzungen liegen zwischen 0,58 für gemischte Paare und 0,77 für reine Fichtenpaare (Tab. 4). Bei letzterem sind alle Parameter signifikant und mit kleinen Standardfehlern verbunden. Bei reinen Buchenpaaren ist der Koeffizient für den Durchmesser des zweiten Nachbarn weniger stabil (f₄), bei gemischten Paaren gilt dies für den Koeffizienten des nächsten Nachbarn (f₃). Die Residuen dieser Schätzung liefern über den prognostizierten Werten, gleichwohl sie heteroskedastisch sind, ein sehr stabiles Bild. Die positiven Residuen sind besonders wichtig, weil sie den geschätzten Abstandsbereich zwischen Bezugsbaum und nächstem Nachbarn charakterisieren. Daher werden die negativen Residuen eliminiert, die positiven werden verdoppelt und diese doppelten dann mit -1 multipliziert. Für dieses neue Kollektiv an Residuen werden nun, getrennt für gruppierte Bereiche der prognostizierten Werte, minimale Residuen und die Standardabweichung der Häufigkeitsverteilungen ermittelt. Da die positiven Residuen verdoppelt wurden, sind diese Verteilungen auf jeden Fall symmetrisch und bei geringem Exzeß gute Approximationen der Normalverteilung. Daher ist das errechnete Moment der Standardabweichung auch relativ stabil. Sowohl Mini-

malwerte der Residuen als auch die Standardabweichungen stehen nun in einem sehr straffen linearen Zusammenhang zu den Gruppenmittelwerten der prognostizierten Abstandswerte. Mittels der Schätzmodelle für die Standardabweichung

$$\text{Std_Res} = f_5 + f_6 \cdot \text{Abst_01}_{\text{pred}}$$

mit

Std_Res = Standardabweichung der Residuen, (m)
 Abst_01_{pred} = prognostizierter Abstand vom Bezugsbaum zu seinem nächsten Nachbarn, (m)
 f₅, ..., f₆ = baumartenspezifische Funktionsparameter

und die minimalen Residuen

$$\text{Min_Res} = f_7 + f_8 \cdot \text{Abst_01}_{\text{pred}}$$

mit

Min_Res = Minimum der Residuen, (m)
 Abst_01_{pred} = prognostizierter Abstand vom Bezugsbaum zu seinem nächsten Nachbarn, (m)
 f₇, ..., f₈ = baumartenspezifische Funktionsparameter

werden Bestimmtheitsmaße zwischen 0,96 und 0,99 erzielt (Tab. 4). Damit ist folgende Vorgehensweise zur Ermittlung des Abstandes zwischen Bezugsbaum und nächstem Nachbarn gegeben: es seien bekannt Baumdurchmesser vom Bezugsbaum, vom nächsten und zweitnächsten Nachbarn sowie die Abstände vom Bezugsbaum zum nächsten (Abst_01) und zweitnächsten Nachbarn. Dann werden der wahrscheinliche Abstand zum nächsten Nachbarn geschätzt (Abst_01_{pred}) und die Standardabweichung der Residuen (Std_Res_{pred}) sowie das minimale Residuuum (Min_Res_{pred}) errechnet. Mit Abst_01_{pred} minus Min_Res_{pred} liegt ein Mindestabstand zwischen Bezugsbaum und nächstem Nachbarn vor, der nicht unterschritten werden darf („harter Kern“). Aus der mit N(Abst_01_{pred}, Std_Res_{pred}) festgelegten Normalverteilungsfunktion F kann an dem Punkt Abst_01 eine Wahrscheinlichkeit F(Abst_01) ermittelt werden. Ist F(Abst_01) kleiner als eine gleichverteilte Zufallszahl, so wird der Abstand Abst_01 zwischen dem Bezugsbaum und seinem nächsten Nachbarn als nicht akzeptabel verworfen („weicher Kern“).

Eine Erweiterung erfährt dieser Ansatz durch Einbeziehung einer α -Schwelle ($\alpha \in [0;1]$), mit der die Regelmäßigkeit der Baumabstände gesteuert werden kann. Über den α -Wert wird ein zusätzlicher harter Kern mit dem Radius $F^{-1}(\alpha)$ definiert, der umso größer liegt, je größer α ist. Damit kann nun ein α -reguläres Baumabstandsmuster erzeugt werden. Neben der Ausprägung des Wertes α hängt dann die Gleichmäßigkeit der Baumabstände lediglich noch davon ab, wie groß die Streuung der Stammzahlen über den Durchmesser ist.

4. DISKUSSION

4.1 Parameter von SILVA 2.1

Die in den vorangehenden Kapiteln in den Tabellen 2, 3 und 4 aufgelisteten Parameter sind bei weitem nicht alle, die das Wachstumsmodell SILVA 2.1 steuern. Jedoch handelt es sich bei dem hier gezeigten Funktionensystem und dem damit verbundenen Parametersatz um das eigentliche Kernmodul von SILVA 2.1: die Steuerung des Wachstums von Einzelbäumen in Abhängigkeit von der Baumart, dem Standort und baumindividueller Konkurrenzsituation.

Weitere Parameter sind in zahlreichen Modellkomponenten enthalten. So schließt allein das Standortmodell noch 36 Parameter je Baumart ein, welche die Formen der Wirkungsfunktionen bestimmen, die eine Faktorausprägung einer Standortvariablen auf den Wirkungsraum abbilden (KAHN, 1994). Die Parameter, welche aufgrund der Wuchsbezirkszugehörigkeit eines Standortes klimatische Kenngrößen ableiten oder über fuzzy set-theoretische Algorithmen Skalierungsprobleme überbrücken, seien nur der Vollständigkeit wegen genannt. Auch der Strukturgenerator enthält zahlreiche weitere Parameter, die z.B. über Filterfunktionen Größe und Durch-

mischung von Gruppen-, Horst-, Trupp- oder Streifenmischung der Baumarten beeinflussen (PRETZSCH, 1993). Die hier nicht aufgeführten Parameter der Kronenformmodelle wurden bereits in Unterkapitel 3.1 erwähnt.

Einen sehr umfangreichen Parametersatz enthält ferner das Sortierungsmodul BDAT, das an der Baden-Württembergischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt entwickelt worden (KUBLIN und SCHARNAGL, 1988) und SILVA 2.1 implementiert ist. Zu den Parametern zählen solche für baumartenspezifische Splinefunktionen zur Nachbildung der Stammform ebenso wie jene zum Rindenstärkenabzug oder für präzise ausgelegte Aushaltungsvorschriften. Breiten Raum nehmen auch die Parameter ein, die bei der Holzerntekostenberechnung über den Erweiterten Sortentarif und der Bestimmung der Umsatzerlöse aus Holzpreisstatistiken genutzt werden (PRETZSCH und KAHN, 1996). Weiterhin sind auch die zahlreichen Parameter zu nennen, welche die Formzahlfunktionen steuern und die Durchforstungsalgorithmen kontrollieren.

4.2 Parametrisierungsprozeß

Bei der Aufstellung der klassischen Ertragstafeln war der mit einer Parametrisierung, aber auch der dann mit dem Buchdruck und der Distribution des gedruckten Tafelwerkes verbundene logistische Aufwand enorm hoch. Heute ist die Lage etwas einfacher: neue Daten werden in den Datenbanken eher leicht angefügt, bestehende Parametrisierungsalgorithmen werden vielleicht durch Tastendruck neu gestartet. Zwar bleibt der Parametrisierungsaufwand nach wie vor hoch, denn die mit Blick auf die praktische Anwendung des Wachstumsmodells optimierte Prognosegenauigkeit erfordert sowohl bei der Datenaufbereitung als auch bei der statistischen Modellbildung höchste Sorgfalt. Dennoch wird der Stellenwert der Parametrisierung eines Wachstumsmodells etwas verschoben: Die Parametrisierung wird zu einem Prozeß mit u.U. zeitlich kurzen Rückkopplungen, etwa weil neue Inventurresultate vorliegen oder ein bisher nur schwach abgedeckter Datenbereich mit neuen Daten nun solide eingezirkelt werden kann. Ebenso ist zu erwarten, daß für bestimmte Fragestellungen auf landesweiter oder Betriebsebene spezielle Anpassungen des Modells vorgenommen werden, die zu ganz spezifischen Parameterlösungen führen. Ein Beispiel für modellinternen bedingte Neuparametrisierungen von SILVA liefert etwa die Adaption an Hangverhältnisse (BACHMANN, 1997).

Mit einer Parametrisierung ist der Modellierungsprozeß jedoch bei weitem noch nicht abgeschlossen, denn jetzt beginnt eine breit angelegte Modellvalidierung. Auch diese wird Eingriffe in bestehende Parametersätze auslösen, möglicherweise sogar zum Austausch kompletter Modellbestandteile beitragen. Dieser fortwährende Rückkopplungsprozeß ist system-, d. h. modellierungsimmanent und für den Modellanwender ein deutlicher Gewinn. Viele der heutigen Ertragstafeln beruhen noch auf Datenmaterial, das teilweise in den Vorkriegsjahren und anderenteils in den 1960er Jahren zum letzten Mal ertragskundlich ausgewertet worden ist.

4.3 Modellvalidierung

Der hohe Komplexitätsgrad eines so hochparametrischen Managementmodells wie SILVA 2.1 erfordert eine strukturierte Vorgehensweise bei der Validierung. Zunächst muß vorausgesetzt werden, daß das zur Parametrisierung verwendete Datenmaterial keine systematischen Fehler enthält. Dies ist vor allem eine Frage des Qualitätsmanagements im ertragskundlichen Versuchswesen. Eine erste Validierungsebene des Gesamtmodells besteht nun darin, die isolierten Schätzmodelle etwa zum Kronendurchmesser oder zum Durchmesserzuwachs hinsichtlich verzerrungsfreier Residuen und der Standardfehler des Modells sowie der Funktionskoeffizienten zu überprüfen. Eine zweite Validierungsebene betrachtet ebenfalls noch für isolierte Schätzmodelle biologische Plausibilitäten der Kurvenverläufe vor allem im Extrapolationsbereich.

Diese Analysen der Einzelmodule geben allerdings keine Auskunft über die Prognosegenauigkeit des Gesamtmodells und wie sich dort die Schätzfehler der Einzelmodelle in Kombination auswirken. Auf einer dritten Ebene steht daher der Übergang zur Prüfung des Gesamtmodells. Hier wird getestet, ob Wachstumsprognosen mit dem Wuchsmodell zu biologisch plausiblen Resultaten führen, inwiefern sich also bekannte ertragskundliche Gesetzmäßigkeiten widerspiegeln, etwa zu Kulminationszeitpunkten des Höhen- oder Volumenwachstums. Auf der gleichen Ebene muß auch ein Vergleich mit den Entwicklungsgängen ertragskundlicher Kennwerte auf Versuchsflächen erfolgen. Zu einem solchen Vergleich der Kennwerte gehört auch die Einbeziehung von Strukturparametern wie dem modifizierten SHANNON-Index, dem CLARK- und EVANS-Index oder dem Index nach PILOU. Eine 4. Validierungsebene wird schließlich bei einem Vergleich von Wuchsmodellprognosen mit Ertragstafelaussagen betreten. Dabei werden beide Modelle (Einzelbaummodell und Ertragstafelmodell) mit den gleichen Bestandesinformationen eingesteuert, und es interessiert hier weniger die Frage, inwieweit das Einzelbaummodell den Vergleich mit der Wirklichkeit besteht sondern vielmehr, welches der beiden Modelle die besseren Resultate liefert.

Somit sind die nächsten Schritte der Modellentwicklung durch einen umfangreichen Validierungsprozeß besetzt, was mögliche Eingriffe in die bestehende Modellstruktur mit einschließt. Parallel dazu schreitet der weitere Ausbau des Wuchsmodells SILVA für die Baumarten Kiefer, Tanne und Eiche rasch voran. In den letzten 3 Jahren wurden am Münchener Lehrstuhl für Waldwachstumskunde insgesamt je 3 Wuchsreihen in Mischbeständen mit ca. 50 Versuchspartellen aus Kiefer/Buche, Fichte/Tanne/Buche und Eiche/Buche neu angelegt. Die Daten sind weitgehend aufbereitet, und nach den grundsätzlich erarbeiteten Modellierungsschritten zu Fichte/Buche sollte die Erweiterung des Baumartenspektrums bald möglich werden. Die von der Seite ertragskundlicher Forschung zu erfüllende Aufgabe, der forstlichen Praxis auch für ein breiteres Baumartenspektrum treffgenaue und leistungsfähige Prognoseinstrumente als Entscheidungshilfen zur Hand zu geben, scheint in absehbarer Zeit realisierbar zu sein.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Parametrisierung des positionsabhängigen Einzelbaummodells SILVA 2.1 liegt inzwischen ein umfangreicher Datensatz aus Rein- und Mischbestandsversuchsflächen der Baumarten Fichte und Buche vor. Mit diesem Datensatz werden die Kronendurchmesser- und Kronenansatzhöhenfunktionen parametrisiert und Potentialbeziehungen für standortabhängiges Höhen- und Durchmesserwachstum abgeleitet. Darauf aufbauend werden die Modellfunktionen zum Höhenzuwachs und zum Durchmesserzuwachs neu entwickelt und ebenfalls auf statistischer Grundlage parametrisiert. Ebenso werden die Baumabstandsfunktionen des Strukturgenerators STRUGEN der neuen Datenlage angepaßt. Mit der neuen Parametrisierung des Wuchsmodells SILVA 2.1 steht nun ein empirisch gut abgesichertes Modell zur Wachstums- und Entwicklungsprognose von Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche zur Verfügung.

6. Summary

Title of the paper: *The growth model SILVA 2.1 – A parameterization for pure and mixed species stands from spruce and beech.*

After years of data collection in mixed species stands a new version of the distance dependent single tree model SILVA can be para-

meterized for mixed and pure stands of spruce and beech. Models for predicting crown intersection and crown diameter are developed, potential relations between tree height, tree diameter and site factors are given. In addition models for predicting height increment and diameter increment are derived, mortality functions and multi dimensional distance functions for generating stand structures are presented. All models include parameter estimates and their standard errors respectively, plots of the residuals are sketched too.

7. Résumé

Titre de l'article: *Le modèle de croissance SILVA. Détermination des paramètres pour des peuplements purs et mélangés de hêtres et d'épicéas.*

Pour déterminer les paramètres du simulateur «SILVA 2.1» qui concernent des arbres considérés comme individus et qui sont liés à la position que ceux-ci occupent, on dispose d'une banque extrêmement riche en données collectées dans des placettes d'expérience installées dans des peuplements purs et mélangés de 2 essences concernées, hêtre et épicéa. A partir de ces données on a pu déterminer les paramètres des fonctions relatives aux diamètres des couronnes et à la hauteur de la base de ces couronnes, puis en déduire la potentialité correspondante pour la croissance en hauteur et la croissance en hauteur liées à la station. Sur cette base, on a de nouveau développé des fonctions constituant des modèles de la croissance en hauteur et de la croissance en diamètre; leurs paramètres ont été déterminés statistiquement. Pareillement on a ajusté les fonctions «distances entre arbres» du «générateur de structures» STRUGEN aux nouvelles données. Avec les paramètres ainsi établis pour le modèle de croissance SILVA 2.1, on dispose maintenant d'un modèle, dont la validité a été bien vérifiée empiriquement, pour prévoir la croissance et l'évolution des peuplements purs et mélangés de hêtres et d'épicéas.

J. M.

8. Literatur

- BACHMANN, M.: Zum Einfluß von Konkurrenz auf das Einzelbaumwachstum in Fichten/Tannen/Buchen-Bergwäldern. AFJZ 168 (6/7), 127–130, 1997
- DURSKY, J.: Modellierung der Absterbeprozesse in Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche. AFJZ 168 (6/7), 130–134, 1997
- KAHN, M.: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 141, 221 S., 1994
- KUBLIN, E. und SCHARNAGL, G.: Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 87 S., 1988
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstl. Forschungsberichte München, Nr. 115, 358 S., 1992
- PRETZSCH, H.: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 114, 87 S., 1993
- PRETZSCH, H.: Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. Forstw. Cbl., (114), 188–209, 1995a
- PRETZSCH, H.: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. AFJZ 166 (9/10), 190–201, 1995b
- PRETZSCH, H.: Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns. AFJZ 167 (11), 213–221, 1996
- PRETZSCH, H. und KAHN, M.: Modelling growth of Bavarian mixed stands in a changing environment. IUFRO XX World Congress Tampere/Finland, Congress Report, Volume II, 234–248, 1995
- PRETZSCH, H. und KAHN, M.: Wuchsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. Anwendungsbeispiel: Variantenstudie Fichtenreinbestand versus Fichten/Buchen-Mischbestand. AFZ 51 (25), 1414–1419, 1996
- UTSCHIG, H.: Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Mischbestände – Eine ökologische und ökonomische Bewertung –. AFJZ 168 (6/7), 123–127, 1997

Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Mischbestände – Eine ökologische und ökonomische Bewertung –

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Ludwig-Maximilians-Universität München

(Mit 3 Abbildungen)

Von H. UTSCHIG

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Naturnaher Waldbewirtschaftung; Mischbestand; ökologische und ökonomische Analyse; Überführung.

Close to nature forestry; mixed stand; economic and ecologic valuation; silvicultural transfer.

1. EINLEITUNG

Als Konsequenz aus den Schneebruch- und Windwurfereignissen der 80er und 90er Jahre haben viele deutsche Landesforstverwaltungen die Begründung, Erziehung und Erhaltung naturnaher, gemischter Waldbestände als oberstes Ziel in ihre Waldbaurichtlinien aufgenommen (BAUER, 1991; BERGMANN, 1992; BENTRUP, 1992; ECKARDT, 1994; KÖHLER, 1992; OTT, 1992; OTTO, 1992).

Seit Anfang der 80er Jahre wurden am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde verstärkt Forschungsvorhaben in Mischbeständen durchgeführt. Im selben Zeitraum wurde mit der Entwicklung des Wachstumsmodells SILVA (PRETZSCH, 1992) am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde ein leistungsfähiges Prognose- und Bewertungsinstrument für Rein und Mischbestände geschaffen.

Im folgenden soll am Beispiel des von SCHMITT (1994) bearbeiteten Mischbestandsversuches München 145 gezeigt werden, wie die Verknüpfung einmaliger Versuchsflächenaufnahmen mit einem Wachstumsmodell zu Beurteilungshilfen für die ökologische Wertigkeit und die Wirtschaftlichkeit von Waldbeständen führen kann. Die Bewertung des Mischbestandes erfolgt im Vergleich mit einer langfristigen Meßreihe auf einer Fichtenreinbestandsversuchsfläche auf ähnlichem Standort.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Der Bestand München 145

Die Versuchsfläche München (MUE) 145 mit den Parzellen 1 und 2 wurde im Jahr 1991 im Wasserschutzwald der Stadt München in der südlichen Münchener Schotterebene angelegt. Der Bodentyp ist eine typische Parabraunerde. Die Flächen liegen 550 m ü.N.N., die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 7,2°C, die jährlichen Niederschläge erreichen 1130 mm. Die potentielle natürliche Waldgesellschaft ist ein submontaner Buchenwald mit Stieleiche und Fichte (KREUTZER und FOERST, 1978).

Der Untersuchungsbestand München 145, ein ursprünglich dicht geschlossener, einschichtiger Fichtenbestand mit zahlreichen Kiefern, wurde bis zum Alter 80 (im Jahr 1955) niederdurchforstungsartig behandelt, anschließend erfolgte die konsequente Umstellung auf Zielstärkennutzung (mindestens 60 cm BHD). Der Bestand wurde im Laufe der letzten 35 Jahre mit ca. 3 500 Buchen und Tannen pro Hektar unterbaut. Während dieser Überführungsphase wandelte er sich zu einem Fichten-Kiefern-Bestand mit lockerem Kronenschluß, mit einer dichten Vorausverjüngung in der Unterschicht und einer Zwischenschicht aus ehemals zwischen- und unterständigen Bäumen.

2.2 Der Bestand Eglharting 73/B-Grad

Als Vergleichsbestand zur Versuchsfläche München 145 wird der Fichtenversuch Eglharting (EGL) 73, Parzelle 2, herangezogen. Die

Versuchsfläche stockt auf einem Niederterrassenstandort, mit weitgehend versauertem Oberboden. Die Temperaturen gleichen denen in München, jedoch liegt die Jahresniederschlagssumme nur bei 940 mm. Der Fichtenbestand wurde 1864 mit einem Pflanzverband von 1,2 m x 2,0 m begründet, die erste Aufnahme erfolgte im Jahr 1906. Die ausgewählte Parzelle wurde als B-Grad behandelt. Der Bestand wurde im Alter von 119 Jahren nach 77 jähriger Beobachtung (12 ertragskundliche Aufnahmen) im Winter 1983/1984 eingeschlagen.

2.3 Das Wachstumsmodell Silva 2

Das Modell zählt zu der Kategorie der einzelbaumbezogenen Wachstumsmodelle (PRETZSCH und KAHN, 1996a). Es wird durch standort-sensitive Wachstumsfunktionen gesteuert. Ein Programmmodul zur ökonomischen Bewertung (PRETZSCH und KAHN, 1996b) liefert auf der Basis der Einzelbaumsortierung die Höhe der Erntekosten und der Erlöse. Ergänzend werden im Rahmen einer ökologischen Analyse verschiedene Indizes zur Beschreibung der Bestandesstruktur errechnet und deren zeitliche Entwicklung betrachtet (PRETZSCH, 1996).

3. VERGLEICH EINES ÜBERFÜHRUNGSBESTANDES MIT EINEM FICHTENREINBESTAND

Die Erstaufnahmen der Versuchsflächen MUE 145/1 und 145/2 werden dazu verwendet, die Startbedingungen für die Vorhersage der Bestandesentwicklung mit dem Wachstumsmodell Silva 2 zu definieren. Die Entnahme wird einzelstammweise nach Zielstärken durchgeführt, wobei der Zieldurchmesser für die Fichte mit 60 cm BHD und für die Kiefer mit 55 cm BHD festgelegt wurde. Bei der Wachstumsprognose, die einen Zeitraum von 40 Jahren umfaßt, wurden nur Bäume berücksichtigt, die zum Aufnahmezeitpunkt 1991 6,5 cm BHD erreicht hatten. Die Ergebnisse der Prognose werden mit der realen Bestandesentwicklung auf der Versuchsfläche EGL 73/2 verglichen.

3.1 Entwicklung der ertragskundlichen Kenngrößen

Der Bestand MUE 145/1 setzt sich zum Zeitpunkt der ertragskundlichen Aufnahme im Frühjahr 1991 aus Fichten (165 Bäume) und Kiefern (76 Bäume) und 930 Bäumen in der Unter- und Zwischenschicht aus Fichte, Tanne und Buche über der Kluppschwelle von 6,5 cm zusammen. Der Überführungsbestand MUE 145/2 hat eine ähnliche Stammzahlverteilung im Altbestand, enthält aber nur 292 Bäume über der Kluppschwelle von 6,5 cm in der nachwachsenden Schicht. Der Bestand EGL 73/2 ist im Alter von 119 Jahren noch mit 520 Altfichten bestockt. Die h/d Werte der Altfichten in den Umbauebeständen liegen zwischen 70 und 80, die Bäume sind als sehr stabil einzustufen. Dagegen erreichen die h/d Werte im Fichtenreinbestand im gesamten Beobachtungszeitraum nur Werte zwischen 97 und 88, die Einzelbäume sind hier labiler.

Abbildung 1 (links) gibt die Volumenentwicklung des Fichtenreinbestandes über dem gesamten Beobachtungszeitraum wieder. Der stehende Holzvorrat erreicht bei einer Oberhöhenbonität 33 (ASSMANN und FRANZ, 1963) bis zum Alter 119 einen Wert von 1064 VfmD; dies repräsentiert für Bayern eher mittlere Wachstumsverhältnisse. Demgegenüber ist der Vorrat der Überführungsbestände

bei der Erstaufnahme im Jahr 1991 mit 589 VfmD (MUE 145/1) und 636 VfmD (MUE 145/2) deutlich geringer. Im anschließenden 40jährigen Prognosezeitraum bleibt die Vorratshöhe trotz kontinuierlicher Zielstärkennutzung relativ konstant. Die Höhe des laufenden Volumenzuwachses (Abb. 1 rechts) resultiert aus den unterschiedlichen Vorratshaltungen. Der Fichtenreinbestand leistet fast durchgehend Zuwächse zwischen 15 VfmD und 20 VfmD je ha und Jahr, während die Zuwachsleistung der Überführungsbestände im Prognosezeitraum unter 10 VfmD je ha und Jahr liegt. Dies ist begründet durch die bereits stark abgesenkte Stammzahl, die sich zu 30 % aus Kiefern aufbaut, so daß die Zuwachsleistung deutlich unter der des Fichtenreinbestandes liegt.

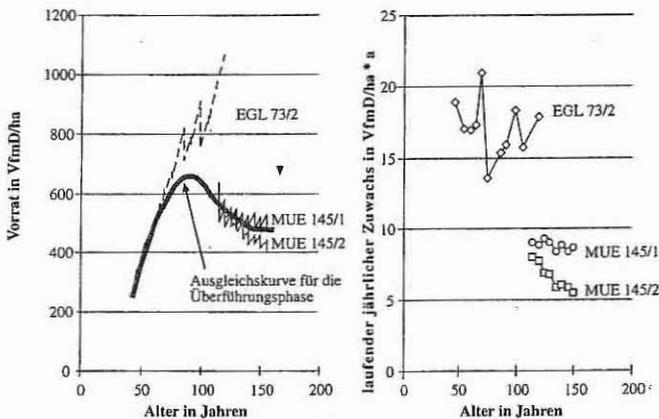


Abb. 1

Links: Entwicklung des Bestandesvorrates für die Umbauebestände München 145/1 und 145/2 (Prognose, 40 Jahre) und für den Fichtenreinbestand Eglharting 73/2.
 Rechts: Entwicklung des laufenden jährlichen Volumenzuwachses für die Umbauebestände München 145/1 und 145/2 und für den Fichtenreinbestand Eglharting 73/2
 Left: Volume of the remaining stand.
 Right: development of the annual volume increment for the transferred stands Munich 145/1 and 145/2 and the pure spruce stand Eglharting 73/2

Der Verteilungsindex R von CLARK und EVANS (1954) charakterisiert das horizontale Baumverteilungsmuster. Auf den beiden Umbauparzellen sind die Baumarten eher zufällig verteilt ($R=0,9$), das ist typisch für naturnah behandelte Bestände. Obwohl der Fichtenreinbestand in einem regelmäßigen Pflanzverband begründet wurde, zeigt der Index $R=0,984$ im Alter von 99 Jahren ebenfalls eine zufällige Verteilung der Bäume auf der Fläche an.

Der Segregationsindex S von PIELOU (1977) beschreibt die Durchmischung der Arten. Auf der Fläche München 145/2 ($S=0,58$) ist die Tendenz zu einer starken Trennung der Arten ausgeprägter als auf der Fläche München 145/1 ($S=0,30$).

3.3 Sortenstruktur

Die Sortenstruktur, die Ausgangsbasis für die monetäre Bewertung, wurde jeweils für den verbleibenden und ausscheidenden Bestand am Ende jedes der 5jährigen Prognosezyklen für die 3 Untersuchungsbestände kalkuliert (PRETZSCH und KAHN, 1996b). Der Fichtenreinbestand (Abb. 2) hat seine Sortenstruktur während des Beobachtungszeitraumes stark verändert: in der Jugend dominieren wie zu erwarten die Schwachholzsortimente. An deren Stelle sind am Ende der Umtriebszeit Starkholzsortimente getreten, die hohe Erlöse und geringe Aufarbeitungskosten erwarten lassen.

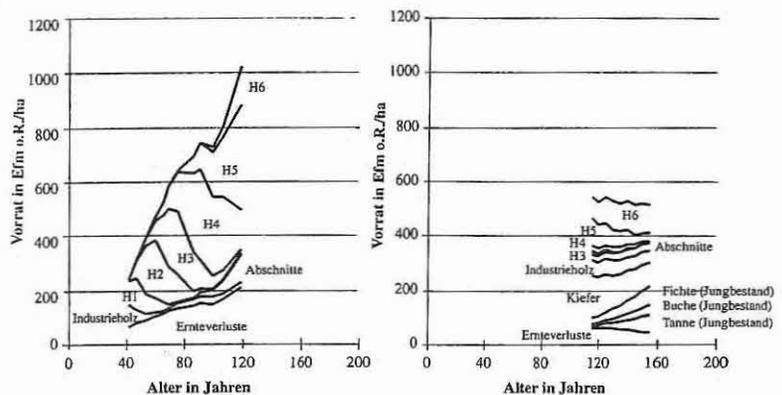


Abb. 2

Sortenverteilung für den Fichtenreinbestand Eglharting 73/2 (links) und für die Umbauebestände München 145/1 und 145/2 (rechts) im Untersuchungszeitraum

Assortments for the pure spruce stand Eglharting 73/2 (left) and the transferred stands Munich 145/1 and 145/2 (right) during the survey periods

Aus den Bestandesaufnahmen, den Aufzeichnungen im Revierbuch und einer intensiven Stockinventur in den Überführungsbeständen (SCHMITT, 1994) kann die Vornutzung für MUE 145/1 und 145/2 gut abgeschätzt werden, die Vornutzungsprozente liegen auf der Fläche MUE 145/1 bei 49% und auf der Fläche MUE 145/2 bei 56%. Im Fichtenbestand EGL 73/2 liegt das Vornutzungsprozent nur bei 39%. Die Umbauebestände haben im Alter von 150 Jahren einen durchschnittlichen Gesamtwuchs von 7,6 Vorratsfestmeter Derbholz, während der Fichtenbestand im Alter von 99 Jahren einen durchschnittlichen Gesamtwuchs von 12,3 VfmD aufweist.

3.2 Ökologische Aspekte

Zur Beurteilung des Strukturreichtums der Bestände wird der Artenprofil-Index A (PRETZSCH, 1996) herangezogen, der ein Maß für die vertikale Strukturierung eines Bestandes darstellt. Es ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen dem Fichtenreinbestand und den Mischbeständen München 145/1 und 145/2. In den Umbauebeständen deuten die hohen Werte zwischen 1,6 und 2,1 im Prognosezeitraum auf eine sehr heterogene Bestandesstruktur hin. In allen Höhenschichten des Bestandes sind mehrere Baumarten vertreten. Der Artenindex fällt im Fichtenreinbestand nach der anfänglichen Differenzierungsphase (Index $A=0,6$) bis zum Alter 70 sehr stark zurück und geht ab Alter 99 gegen 0, der Bestand ist zum Ende der Umtriebszeit einschichtig geworden.

Betrachten wir dagegen den Umbauebestand MUE 145/1, so fällt neben der insgesamt geringeren Vorratshöhe die gleichbleibende Sortenstruktur im Starkholz auf (vgl. Abb. 2). Gerade für die Fichte steht Holz der Stärkeklassen H5 und H6 nach der Prognose über einen Zeitraum von 40 Jahren in bedeutsamen Mengen zur Verfügung. In der Prognose wurde angenommen, daß pro Jahrzehnt 50 VfmD bis 100 VfmD geerntet werden. Die ansteigenden Vorräte in der nachwachsenden Schicht zeigen, daß neben dem produktiven Altbestandes der Jungbestand einen größer werdenden Anteil an der Gesamtproduktion leistet. Der Jungbestand ist relativ stammzahlarm; der Anfall von kostenträchtigen Schwachholzsortimenten ist minimiert. Insgesamt sind annähernd 50% des stehenden Holzvorrates in den Starkholzsortimenten gebunden.

3.4 Gesamtwertleistung

Werden diese Sorten mit aktuellen Preisen und Holzerntekosten bewertet, so ergibt sich der Abtriebswert des Bestandes zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt. Addiert man die aufsummierten holz-

erntkostenfreien Erlöse aus den Durchforstungen dazu, so erhält man die Gesamtwertleistung des Bestandes.

Im Fichtenreinbestand EGL 73/2 wird im Alter von 50 Jahren erstmals eine positive Gesamtwertleistung erreicht. Danach steigt die Wertleistung des Fichtenreinbestandes beträchtlich an. Zum Ende der Umtriebszeit ergibt sich eine Gesamtwertleistung von 95 200 DM. Die Wertleistung der Vornutzung fällt mit 17 800 DM relativ gering aus. Die mäßige Niederdurchforstung des Fichtenbestandes führt zu einer Akkumulation des Wertes im stehenden Holzvorrat.

Ganz anders dagegen liegen die Dinge auf den beiden Umbauparzellen. Der Anteil der Vornutzung an der Gesamtwertleistung ist hier sehr hoch. Bei der Rekonstruktion der Vornutzungen im Bestand MUE 145 kam SCHMITT (1994) zu ähnlichen Vornutzungsmengen wie sie im Bestand EGL 73/2 angefallen sind. Deren Wert wurde mit 17 800 DM in die Kalkulationen eingerechnet. Der Wert des verbleibenden Bestandes (29 000 DM) bleibt über den gesamten 40jährigen Prognosezeitraum konstant. Die Nutzungsstrategie läuft auf eine Vorratspflege im Altbestand und die Abschöpfung der laufenden Wertleistung bei niedriger Kapitalbindung im Altbestand hinaus.

3.5 Bewertung der ökonomischen Auswirkungen

Wie lassen sich nun die beiden sehr gegensätzlichen Wirtschaftskonzepte ökonomisch bewerten? Aus der Gesamtwertleistung der beiden Bestände bis zum Alter 155 errechnet sich eine durchschnittliche Gesamtwertleistung pro Hektar und Jahr von 499 DM und 528 DM für die Bestände München 145 Parzellen 1 bzw. 2, während der Fichtenreinbestand auf beachtliche 800 DM je ha und Jahr kommt (Abb. 3).

Ein zweiter Blickwinkel ist es, die aktuelle Verzinsung des zum Anfang jeder einzelnen Beobachtungsperiode vorhandenen Kapitals (Wert des verbleibenden Bestandes) bis zum Ende der jeweiligen 5jährigen Periode zu betrachten. Der Fichtenreinbestand hat einen

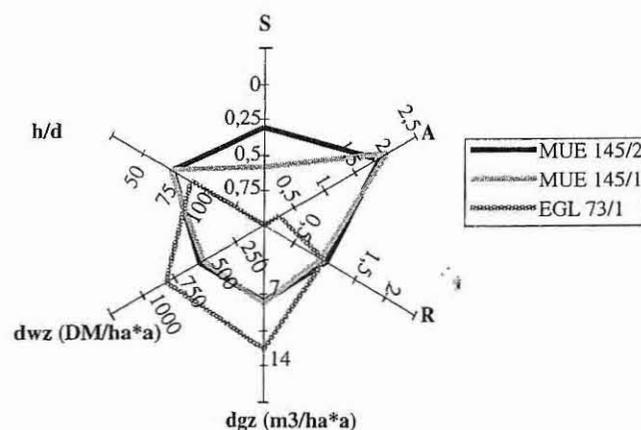


Abb. 3

Spin-Diagramm für die Bewertung der Umbaustände München 145/1 und 145/2 und des Fichtenreinbestandes Eglharting 73/2.

Der Aggregationsindex R, der Segregationsindex S und der Artenprofil-Index A charakterisieren die ökologische Wertigkeit der analysierten Bestände. Der h/d-Wert, der durchschnittliche Gesamtwuchs (dgz) und der durchschnittliche jährliche Wertzuwachs (dwz) zeigen beispielhaft die ökonomische Leistungsfähigkeit eines Bestandes

Spin-diagramm for the transferred stands Munich 145/1 and 145/2 and the pure spruce stand Eglharting 73/2. The aggregation index R, the segregation index S and the modified species-profile-index A indicate the ecological value of the analyzed stands. The height and diameter ratio (h/d), the mean annual increment (dgz) and the mean annual value increment (dwz) show exemplarily the economic capacity of the stands

hohen laufenden Volumenzuwachs, zugleich ist der Bestandeswert sehr hoch. Dies führt trotz der hohen Zuwachsleistung zu einer geringen Verzinsung. Eine Grenzverzinsung zwischen 0,5% und 1,5% wird im Beobachtungszeitraum erreicht. Die Umbaustände weisen eine geringe Kapitalbindung und durch die relativ hohen Lichtungszuwächse noch beachtliche Wertzuwächse auf. Dies führt zu einer Grenzverzinsung von über 2% während des gesamten Prognosezeitraumes.

3.6 Gegenüberstellung der ökologischen und ökonomischen Effekte

In Abbildung 3 werden die Ergebnisse der ökonomischen und ökologischen Analysen in einem Spin-Diagramm einander gegenüber gestellt. Der Wertebereich auf den Skalen beschreibt die Amplitude der Kriterien, ansteigende Werte sind mit einer positiven Bewertung verbunden. Das Spin-Diagramm für den Fichtenreinbestand ist sehr exzentrisch, es zeigt nur hohe Bewertungen bei den ökonomischen Belangen. Im Gegensatz dazu erreichen die Umbaustände in allen Kriterien relativ hohe Bewertungen, eine Balance zwischen ökonomischen und ökologischen Aspekten wird angezeigt.

4. SCHLUSSFOLGERUNG

Einen möglichen Übergang von einem geschlossenen Fichtenbestand zu einem Umbaustand zeigt Abbildung 1 (links) am Beispiel der Vorratsentwicklung. Der Umbau von Reinbeständen in Mischbestände führt zu einer frühen Reduktion des Bestandeswertes, dadurch wird die Liquidität des Waldbesitzers zeitweilig erhöht. Die Lichtstellung des Altbestandes führt durch Lichtungszuwachs zu einer hohen Rendite aus dem verbleibendem Kapital. Gleichzeitig wird der Anfall von Schwachholzsortimenten reduziert, da die nachwachsende Schicht relativ stammzahlarm heranwächst. Dadurch tritt die ertragsarme Phase der Jungbestandspflege (bis zum Alter 30 bis 50 Jahre) nur sehr abgeschwächt auf; die Erträge fallen kontinuierlich an. Dieser Effekt ist besonders für kleinere Waldbesitzer von großem Vorteil. Die erzeugte Waldaufbauform bietet durch die Mischung und die vielschichtige Bestandesstruktur ökologische Vorteile, die besonders in Wäldern mit erhöhten Anforderungen an die Schutz- und Erholungsfunktion von Bedeutung sind. Die höhere ökologische Wertigkeit erbringt bisher für den Waldbesitzer keine direkten ökonomischen Vorteile und kann für größere Gebiete mit verschiedenen Verfahren bewertet werden (van KOOTEN, 1995). Nicht zu vernachlässigen ist allerdings das hohe betriebliche Risiko, das durch Destabilisierung der Wälder in der Startphase des Umbaues auftreten kann (SPELLMANN und NAGEL, 1996).

Eine frühe Einzelbaumstabilisierung durch Durchforstungen in jüngeren Beständen und der Erhalt von stabilisierenden Mischbaumarten kann dieses Risiko erheblich verringern.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Zwei Versuchspartellen eines seit 40 Jahren naturgemäß behandelten Waldbestandes in der Überführungsphase werden mit der langfristigen Entwicklung einer Fichtenversuchsfläche auf gleichem Standort verglichen. Mit dem Wuchsmodell Silva 2 wird die Entwicklung der Überführungsbestände für die nächsten 40 Jahre prognostiziert. Der Fichtenreinbestand besticht durch seine hohe Massenproduktivität, zugleich findet jedoch eine hohe Kapitalbindung im verbleibenden Bestand statt. Die Umbaustände liefern beachtliche kontinuierliche Erträge und haben aufgrund ihrer räumlichen Bestandesstruktur eine hohe ökologische Wertigkeit.

6. Summary

Title of the paper: *Reconversion of pure spruce stands into mixed forests; an ecological and economic valuation.*

In this investigation 2 sample plots of a mixed stand in an advanced stage of transferring (more than 40 years of "treatment close to nature") are compared with the development of a long term experimental plot of spruce under the same site conditions. The single tree growth model Silva 2 is used to predict the development of the mixed stand during the next 40 years. As for the economic aspect, the pure spruce stand is convincing because of its high productivity and the higher mean annual value increment. At the same time there is a lot of capital fixed in the remaining stand. The stands to be transferred yield a continuous return and show a remarkably high ecological valence.

7. Résumé

Titre de l'article: *Transformation de peuplements purs d'épicéas en peuplements mélangés. Une évaluation écologique et économique.*

Deux placettes expérimentales installées dans un peuplement forestier soumis depuis 40 ans à un traitement «conforme à la nature» et en phase de transformation ont été comparées avec l'évolution sur le long terme d'une placette d'expérience d'épicéas. L'évolution des peuplements en cours de transformation pour les 40 prochaines années a été prévue à l'aide du modèle de croissance Silva 2. Le peuplement pur d'épicéas séduit par sa haute productivité en volume, et le capital représenté par le peuplement sur pied est élevé. Les peuplements transformés assurent des revenus remarquablement continus et ont une valeur écologique élevée en raison de leur structure spatiale. J. M.

8. Literatur

ASSMANN, E. und FRANZ, F.: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. In: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. 334 Seiten, 1990. 1963

BAUER, O.: Naturnahe Forstwirtschaft in Bayern. AFZ, 46, (6), 268–271, 1991
 BENTRUP, H.-H.: Naturnahe Waldwirtschaft als Zukunftsaufgabe. AFZ 47, 160–163, 1992
 BERGMANN, J. H.: Waldbaugrundsätze des Landes Brandenburg. AFZ 47, 960–961, 1992
 CLARK, PH. J. and EVANS, F. C.: Distance to nearest Neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35, (4), 445–453, 1954
 ECKARDT, L.: Waldbaugrundsätze in Thüringen. AFZ 49, 834–835, 1994
 KÖHLER, D.: Naturnahe Forstwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern. AFZ 47, 1384–1387, 1992
 KOOTEN, G. B. VAN: Can nonmarket values be used as indicators of forest sustainability. Forestry Chronicle 71, 702–711, 1995
 KREUTZER, K., und FOERST, K.: Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns. Karte 1:1.000.000. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 1978
 OTT, W.: Was dem Wald not tut. Anforderungen an eine zukunftsfähige Forstpolitik. AFZ 47, (19), 1018–1023, 1992
 OTTO, H.-J.: Langfristige ökologische Waldentwicklung: Ökologische Grundlagen des Regierungsprogramms. AFZ, 47 (11), 566–568, 1992
 PIELOU, E. C.: Mathematical Ecology. John Wiley & Sons. 385 Seiten, 1977
 PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 115, 358 Seiten, 1992
 PRETZSCH, H.: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. AFZ 166 (9/10), 190–201, 1996
 PRETZSCH, H. and KAHN, M.: Modelling growth of Bavarian mixed stands in a changing environment. In: KORPILAHTI, E., MIKKELÄ, H. and SALONEN, T. (Hrsg.): *Caring for the forest: Research in a Changing World. Congress Report. Volume II. IUFRO XX World Congress, 6–12 August, Tampere, Finland, S. 234–248, 1996a*
 PRETZSCH, H. and KAHN, M.: Wuchsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. AFZ/Der Wald 51 (25), 1114–1119, 1996b
 SCHMITT, M.: Waldwachstumskundliche Untersuchungen zur Überführung fichtenreicher Baumhölzer in naturnahe Mischbestände mit Dauerwaldcharakter. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 144, 223 Seiten, 1994
 SPELLMANN, H. und NAGEL, J.: Zur Durchforstung von Fichte und Buche. AFZ 167, 6–15, 1996

Zum Einfluß von Konkurrenz auf das Einzelbaumwachstum in Fichten/Tannen/Buchen-Bergwäldern

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Ludwig-Maximilians-Universität München

(Mit 2 Abbildungen und 2 Tabellen)

Von M. BACHMANN

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Konkurrenzindex; Einzelbaumsimulator; Bergmischwald.

Competition indices; single tree model; mountain forest.

1. EINLEITUNG

Bei der Erklärung des Einzelbaumwachstums wird in vielen forstlichen Wuchsmodellen der inter- und intraspezifische Wettstreit um die Ressourcen Licht, Nährstoffe und Wasser in Form von Konkurrenzindizes berücksichtigt. Die Berechnung der Indizes vollzieht sich i. d. R. in 2 Schritten: ausgehend von einem Bezugsbaum werden im 1. Schritt dessen Konkurrenten ermittelt, im 2. der von ihnen ausgehende Konkurrenzdruck quantifiziert.

Ist man bestrebt, diese Verfahren auch im Bergmischwald einzusetzen, muß berücksichtigt werden, daß sich dieser durch unterschiedlichste Neigungs- und damit verbunden auch Expositionsverhältnisse auszeichnet. Dieser Sachverhalt wird in den aus der Literatur bekannten Verfahren zur Quantifizierung der Konkurrenzsituation von Einzelbäumen explizit nicht berücksichtigt. Zur Klärung der

Frage, ob sich bei den Berechnungen der Konkurrenzindizes durch Einbezug der Neigungsverhältnisse die Korrelationen zwischen Zuwachs und Konkurrenzwert verbessern lassen, wird auf umfangreiches Datenmaterial von Versuchsflächen zurückgegriffen.

2. MATERIAL

Die einbezogenen Bestände – es handelt sich um insgesamt 61 langfristig beobachtete Versuchspartellen in den Bayerischen Alpen und im Bayerischen Wald – streuen in ihren Anteilen an den Baumarten Fichte, Tanne und Buche, in ihrer Alterstruktur (60 bis 270 Jahre) sowie im Hinblick auf ihre bisherige waldbaulichen Behandlung innerhalb eines breiten Rahmens. Die Höhenlagen schwanken zwischen 685 m und 1472 m über NN. Mit Ausnahme einer reinen Ost-Exposition sind alle Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen vertreten. Dabei bewegen sich die Hangneigungen zwischen 0° und 40°. Bei den Versuchsflächenstandorten in den Bayerischen Alpen handelt es sich i. d. R. um mäßig frische bis frische, mittel- bis tiefgründige Lehme aus Hauptdolomit mit Mullauflage, im Bayerischen Wald um frische bis hangfrische, sandig

grusige, tiefgründige Lehme aus Gneiszersatz mit der Humusform Moder. In allen Beständen wurden im Zeitraum 1954 bis 1992 für jeden Einzelbaum die Attribute Baumartenzugehörigkeit, Brusthöhdurchmesser, Gesamt- und Kronenansatzhöhe, Kronenradien und Stammfußkoordinaten erhoben.

3. METHODEN

Der mehrschichtige und gemischte Aufbau dieser Bergwälder, begleitet von der Variation der Standortfaktoren Hangneigung und Exposition, wirft erstens die Frage auf, wie gut die mit gebräuchlichen Indizes quantifizierten Konkurrenzwerte und der Einzelbaumzuwachs korreliert sind, und zweitens, inwieweit sich dieser Zusammenhang durch einfache Adaptionen der Berechnungsverfahren an geneigte Verhältnisse verbessern läßt. Diese Anpassungen beinhalten einerseits eine den geneigten Verhältnisse angemessene Konkurrentenauswahl und andererseits die besondere Berücksichtigung der individuellen Sozialposition sowie der standörtlichen Gegebenheiten bei der nachfolgenden Modellparametrisierung und -bewertung.

Frage 1 wurde im Rahmen einer vorab durchgeführten Analyse beantwortet (BACHMANN, 1996). Dabei wurden aus einer Vielzahl herkömmlicher Konkurrenzmodelle unterschiedlichster Bauart ein Konkurrentenauswahlverfahren sowie 4 gut geeignete Algorithmen zur Quantifizierung von Konkurrenzwerten extrahiert. Diese Berechnungsformeln der Autoren HEGYI (1974), BIGING und DOBBERTIN (1992) sowie PRETZSCH (1995) sind in Tabelle 1 dargestellt.

3.1 Anpassung der Konkurrentenauswahl an geneigte Verhältnisse

Die Konkurrentenauswahl erfolgt mit Hilfe eines im weiteren so bezeichneten Suchkegels, der dem in seiner Konkurrenzsituation zu beurteilenden Einzelbaum (Zentralbaum) aufgesetzt wird (Abb. 1). Reicht ein Nachbar mit seiner Baumspitze in diesen Suchkegel hinein, so gilt er als Konkurrent. Eine erste Anpassung der Konkurrentenauswahl an geneigte Verhältnisse besteht darin, daß man berücksichtigt, welche Geländeexposition die Nachbarn innehaben, und zwar wird neben den notwendigen x- und y-Koordinaten nun auch deren geländehöhebestimmende z-Koordinate mit einbezogen. In einem 2. Schritt werden die suchkegelspezifischen Charakteristika Ansatzhöhe, exposition- bzw. sonnenstandbezogene Ausrichtung der Suchkegelachse sowie Öffnungsweite des Kegels verändert. Unter Einbezug der so aufgefundenen Konkurrenten werden die Konkurrenzwertberechnungen durchgeführt.

3.2 Modellparametrisierung und -bewertung

Die Beurteilung der Konkurrenzmodelle erfolgt durch Prüfung des Zusammenhangs zwischen Konkurrenzindex und Zuwachs. Hierzu werden über nichtlineare Funktionen die Konkurrenzwerte für ein aus insgesamt 11328 Individuen bestehendes Gesamtkollektiv in Beziehung zum Zuwachs gesetzt (Tab. 2). Um die Mehrschichtigkeit der Bestände zu berücksichtigen, erfolgen die Modellparametrisierungen nicht allein getrennt nach Baumarten sondern zusätzlich getrennt nach 3 relativen Höhengschichten (MAGIN, 1956), insgesamt also für 12 Straten. Indem von jeder Parzelle 3 Individuen je Baumart und relativer Höhengschicht zufällig ausgewählt werden, lassen sich in der Ober-, Mittel- und Unterschicht gleichmäßige Kollektivumfänge gewährleisten, ohne dabei die stark variierenden, parzellenspezifischen Wuchsbedingungen zu vernachlässigen. Sie bilden die Datenbasis für die nachfolgenden Rechenläufe und deren Ergebnisse.

Dem jährlichen Grundflächenzuwachs der Zentralbäume wird neben ihrem individuellen Grundflächenwert ihr logarithmisch transformierter Konkurrenzwert gegenübergestellt. Der Zuwachs wurde mit Hilfe des Durchmessers der nachfolgenden Aufnahme als Mittelwert einer Periode hergeleitet. Um den Einfluß des Standorts zu erfassen, wird eine 0/1-transformierte Standortvariable einbezogen, deren Herleitung neben bodenkundlichen Merkmalen auch die parzellenspezifische Höhenlage zugrundeliegt. Die Ausprägung 0 beinhaltet bessere, die Ausprägung 1 schlechtere Standorte.

Die eigentliche Bewertung der Konkurrenzindizes zu der Frage, ob hangintegrierende Suchkegelverfahren bessere Korrelationen zwischen Konkurrenzdruck und Zuwachs zeigen, wird mittels der beiden in Tabelle 2 genannten Funktionen durchgeführt. Als Referenz dient ein Zuwachsmoell, das explizit keine Konkurrenz berücksichtigt (Zuwachsmoell M1). Für die Zuwachsschätzung mit Hilfe dieses Modells, das nur mit der Ausgangsgrundfläche des Baumes und der Standortvariablen arbeitet, wird der mittlere quadratische Fehler errechnet (MSE_{M1}). Auf der Basis des 2. Zuwachsmodells (M2), das zusätzlich den Konkurrenzwert als unabhängige Variable einschließt, wird ebenfalls der mittlere quadratische Fehler bestimmt (MSE_{M2}) und zur Referenz in Beziehung gesetzt ($MSE_{M2}/MSE_{M1} \cdot 100$). Anhand dieses Quotienten wird entschieden, welches Konkurrenzverfahren am besten abschneidet.

4. ERGEBNISSE

Auch wenn in vielen Fällen die Berechnungsformel von HEGYI dem bestgeeignetsten Konkurrenzmodell zugrundeliegt, befinden sich die Algorithmen aller einbezogenen Autoren unter den Besten

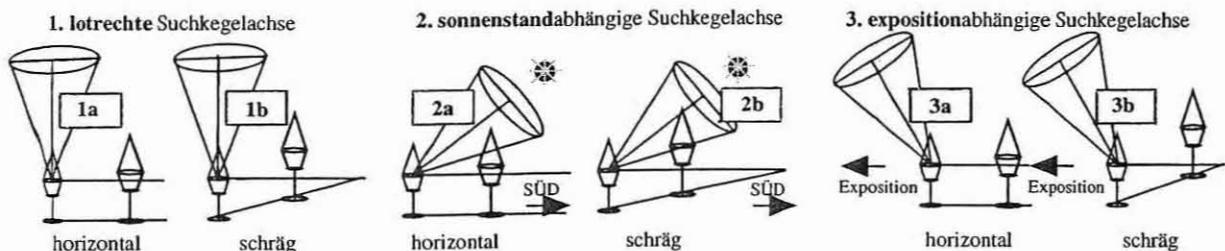


Abb. 1

Sechs Varianten bei der Anpassung der suchkegelabhängigen Konkurrentenauswahl an geneigte Verhältnisse: 1. lotrechte, 2. sonnenstandabhängige und 3. expositionabhängige Suchkegelachse; jeweils mit horizontaler (a) bzw. schräger (b) Geländebetrachtung

Six different adaptations of the search-cone-dependent competitor selection to inclined growing space: 1. vertical, 2. sun and 3. exposition dependent orientation of the search-cone's axes; in each case assuming horizontal (a) or inclined (b) conditions

Tab. 1

Beschreibung der 4 verwendeten Konkurrenzwert-Berechnungsformeln. H, P, M, V = Konkurrenzwerte der jeweiligen Autoren; i = Zentralbaum; j = Konkurrent; D = Brusthöhdurchmesser (cm); $Dist$ = horizontale Distanz (m); $BETA$ = Steigung der Verbindungslinie zwischen Suchkegelspitze und Konkurrentenwipfel gegenüber der Horizontalen abzüglich der Steigung der Suchkegelmantelfläche (rad); CC = Kronenschirmfläche (m²); M = Kronenmantelfläche (m²); V = Kronenvolumen (m³);
Kronenformmodelle nach PRETZSCH (1992)

Description of the used competition formulas

Formel	Autor
$H = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{D_i \cdot (Dist_{ij} + 1)}$	HEGYI (1974)
$P = \sum_{j=1}^n BETA_{ij} \cdot \frac{CC_j}{CC_i}$	PRETZSCH (1995)
$M = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{M_i \cdot (Dist_{ij} + 1)}$	BIGING und DOBBERTIN (1992)
$V = \sum_{j=1}^n \frac{V_j}{V_i \cdot (Dist_{ij} + 1)}$	BIGING und DOBBERTIN (1992)

(vgl. Tab. 1). Damit tritt die Bedeutung der Formel deutlich hinter derjenigen des Konkurrentenauswahlverfahrens zurück.

4.1 Eignung der Indizes differenziert nach Baumarten und -klassen

Der Vergleich des quadratischen Fehlers der Modelle M2 und M1 ergibt, daß bei der schattentoleranten Tanne mit 27% die höchste Fehlerreduktion (=1-MSE_{M2}/MSE_{M1}) mit dem Index von HEGYI, einem lotrechten Suchkegel und der Einbeziehung von z-Koordinaten der Nachbarbäume erzielt wird. Hier ist also eine geländebedingte Anpassung des Konkurrentensucherverfahrens erfolgreich. Auch für die Baumarten Fichte und Buche schneidet die Formel von HEGYI am besten ab. Bei der Fichte, deren Parameter und statistischen Kennmaße in Tabelle 1 dargestellt sind, beträgt die Reduktion des quadratischen Fehlers 36% und bei der Buche sogar 44%. Obwohl die Buche nur geringfügig höhere Lichtansprüche als die

Tanne stellt, lassen somit also ihre Dimensions- und Umgebungsmerkmale – ausgedrückt im Konkurrenzwert – erheblich besser auf ihren Zuwachs schließen. Bei der Fichte bringt eine Hangmodifikation der Suchverfahren allerdings keine Verbesserung, und für die Zuwachsverhältnisse der Buche ist es am besten, wie bei der Tanne die z-Koordinaten der Nachbarbäume zu berücksichtigen.

Erwartungsgemäß nimmt die Fehlerreduktion von der Ober- über die Mittel- zur Unterschicht hin zu und weist damit auf die zunehmende Relevanz der Einflußgröße Konkurrenz hin. Die besten Zuwachsschätzungen in der Oberschicht werden bei Fichte, Tanne und Buche mit den Indizes erreicht, die auf der Berechnungsformel nach HEGYI (vgl. Tab. 1) beruhen. Dabei liegen stets lotrechte Suchkegel zugrunde, also keine Hang- oder Expositionsanpassungen. In der Mittelschicht tritt neben der Formel von HEGYI auch die auf der Kronenmantelfläche beruhende Gleichung nach BIGING und DOBBERTIN (vgl. Tab. 1) hervor, wobei die Berücksichtigung der z-Koordinaten wesentliche Verbesserungen erbringt. In der Unterschicht überzeugt wiederum die Berechnungsformel nach HEGYI, und eine Verbesserung in Form einer Fehlerreduktion ist nur bei der Buche durch z-Koordinaten zu erzielen. Insgesamt variieren sowohl die Ansatzhöhe des Suchkegels als auch dessen Öffnungswinkel stark.

4.2 Resultate der modifizierten Konkurrentenauswahl

Die Konkurrentenauswahl erfolgt nahezu ausnahmslos mit Hilfe eines lotrechten Suchkegels, wobei 2- und 3dimensionale Stammfußpunkte berücksichtigende Verfahren gleichermaßen vorkommen. Der Suchkegelansatz befindet sich bei Fichte und Buche häufig in 70% der Gesamthöhe des Zentralbaumes und registriert somit vorwiegend Konkurrenten im Bereich der Lichtkrone. Bei der Tanne sind es 10% bis 30% der Gesamthöhe. Mit Verschlechterung der sozialen Position verlagert sich die Ansatzhöhe tendentiell zum Stammfuß hin und erhöht sich die Bedeutung der Gesamtkrone. Auch hinsichtlich der Suchkegelöffnungsweite zeichnen sich baumartenspezifische Besonderheiten ab. Mit 40° bis 60° besitzt die Tanne den kleinsten, mit 80° bis 120° die Buche den größten sowie die Fichte mit 60° bis 80° einen intermediären Öffnungswinkel, der zudem von der Sozialposition unabhängig ist.

4.3 Standortspezifische Zuwachsreaktion

Auf der Basis der Formel nach HEGYI zur Berechnung von Konkurrenzwerten und ohne Anpassung des Suchkegels an Hangverhältnisse wird die standortspezifische Zuwachsreaktion auf Konkurrenz-

Tab. 2

Zuwachsmodelle M1 und M2 ohne und mit Konkurrenzberücksichtigung; ig = jährlicher Grundflächenzuwachs als Mittelwert einer Periode (cm²·a⁻¹); $Stao$ = 0/1-transformierte Standortvariable; G = Grundfläche (cm²); CI = Konkurrenzwert; $a_0 \dots a_6$ = baumart- und höhenschichtspezifische Modellparameter; $adj. r^2$ = adjustiertes Bestimmtheitsmaß; MSE = mittlerer quadratischer Fehler. Die angegebenen Parameter-Schätzgrößen und Standardabweichungen (in Klammern) beziehen sich auf das 383 Individuen umfassende Fichten-Gesamtkollektiv

Increment models M1 and M2 without and with consideration of competition; ig = annual basal area increment (cm²·a⁻¹); $Stao$ = 0/1-transformed site-dummyvariable; G = basal area (cm²); CI = competition index; $a_0 \dots a_6$ = parameters; $adj. r^2$ = adjusted r^2 ; MSE = mean square error

Modell M1 $ig = 1/\exp(a_0 + a_1 \cdot Stao + a_2 \cdot G)$			Modell M2 $ig = 1/\exp(a_3 + a_4 \cdot Stao + a_5 \cdot G + a_6 \cdot \log(1 + CI))$				adj. r^2	MSE	$\frac{MSE_{M2}}{MSE_{M1}}$ (%)
Parameter a_0	Parameter a_1	Parameter a_2	Parameter a_3	Parameter a_4	Parameter a_5	Parameter a_6			
-2,642 (0,063)	0,654 (0,064)	-4,61E-04 (2,07E-05)	-	-	-	-	0,582	160,682	100
-	-	-	-3,882 (0,084)	0,689 (0,049)	-0,68E-04 2,36E-5	1,104 (0,088)	0,735	102,038	64

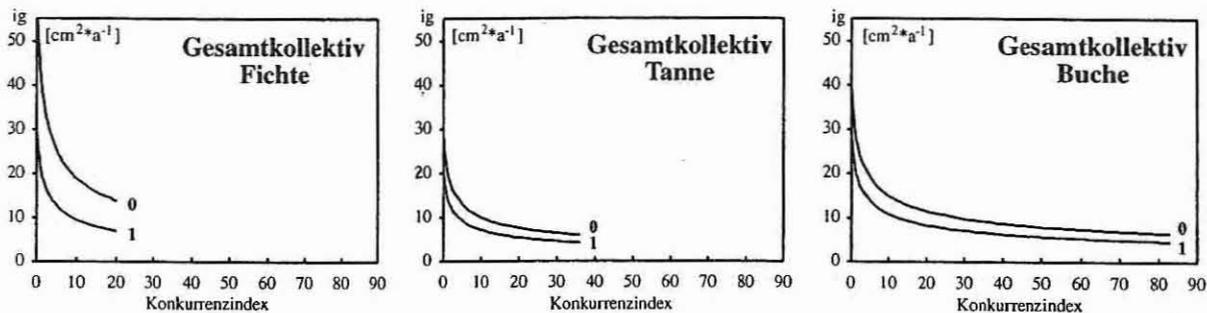


Abb. 2

Zuwachsmo­dell M2: Darstellung der baumarten- und standortabhängigen Zuwachsreaktionen auf Konkurrenz (links Fichte, Mitte Tanne, rechts Buche). Dem Konkurrenzindex liegt die Formel von HEGYI sowie keine Anpassung des Suchkegels an Hangverhältnisse zugrunde. Die Zuwachswerte sind lediglich im baumartenspezifischen Konkurrenzwertebereich gezeichnet und beziehen sich auf einen mittleren Brusthöhendurchmesser von 40 cm. Ein Wert von 0 der Standortvariablen beinhaltet bessere, ein solcher von 1 schlechtere Standorte

Increment model M2: Species and site dependent growth reactions while using a competition index (left spruce, middle white fir, right beech)

druck dargestellt (Abb. 2). Auf der Grundlage eines vorgegebenen Durchmesserwertes von 40 cm, der in etwa dem Mittelwert des Gesamtkollektivs der jeweiligen Baumart entspricht, sinkt der Zuwachs mit zunehmendem Konkurrenz­ein­fluß ab. Bei besseren Standortverhältnissen liegt der konkurrenzabhängige Zuwachs bei allen Baumarten und dargestellten relativen Höhenschichten auf einem höheren Niveau. Die Spanne zwischen besseren (0) und schlechteren Standorten (1) fällt bei der Fichte sehr deutlich aus.

Grundsätzlich verringert sich jedoch die Bedeutung der Standortvariablen mit Verschlechterung der sozialen Position. Wird der Standort bei der Modellparametrisierung vernachlässigt, kann die konkurrenzabhängige Zuwachsreaktion der Tanne in der Oberschicht sowie der Fichte in allen Schichten am besten mit Hilfe eines sonnenstandorientierten Suchkegels sowie 3dimensionalen Koordinaten beschrieben werden. Demzufolge wird die Anpassung an die örtlichen Neigungs- und Expositionsverhältnisse wieder relevant. Es erscheint biologisch plausibel, daß Konkurrenzmodelle dieser Bauart bei lichtbedürftigeren Baumarten wie der Fichte bzw. bei lichtexponierten Kollektiven wie der Oberschicht in den Vordergrund treten. In Abwesenheit einer expliziten Standortgröße zeigt sich zudem deren Befähigung, einen wesentlichen Teil der Standorteinflüsse in Form der Größen Hangneigung und Exposition widerzuspiegeln.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Das Anliegen dieser Studie ist es, geeignete Konkurrenzindizes zur Nachbildung des Einzelbaumwachstums in Bergmischwaldbeständen herauszuarbeiten. Hierzu werden gängige und modifizierte Verfahren zur Berechnung von Konkurrenzwerten an Datenmaterial von 61 langfristig beobachteten Versuchspartellen unterschiedlichster Neigung und Exposition geprüft. Die Leistung der konkurrenzbeschreibenden Algorithmen wird mit Hilfe von nichtlinearen Zuwachsmo­dellen beurteilt. Neben baumart- und baumklassenabhängigen Zuwachsreaktionen auf Konkurrenz werden standortspezifische Effekte sowie die geeignetsten Konkurrenzmodelle vorgestellt. Es zeigt sich, daß eine Anpassung der Verfahren zur Auswahl von Konkurrenten im Hinblick auf Hangneigung und Exposition die Aussagekraft der Konkurrenzmodelle wesentlich verbessert.

6. Summary

Title of the paper: *About the effects of competition on individual tree growth in mountain forests.*

The request of this study is to find out the most suitable competition indices to model individual tree growth in mountain forests. Therefore proved and modified competition algorithms were used in

combination with profound data from 61 longterm experimental plots. The performance of the competition models is evaluated by nonlinear increment models. Beneath growth reactions on competition, where the reactions depend on tree species and social height classes, also site specific effects were presented as well as the most qualified indices. It is shown that an adaption of search algorithms concerning slope and aspect provide a high improvement of the correlation between increment and competition.

7. Résumé

Titre de l'article: *Sur l'influence de la concurrence sur la croissance individuelle des arbres dans les forêts de montagne de sapins, épicéas et hêtres.*

L'objet de cette étude est d'obtenir un indice de concurrence capable de refléter la croissance individuelle des arbres dans les peuplements mélangés des zones montagneuses. Pour ce faire on a testé des méthodes courantes, éventuellement modifiées, pour calculer des indices de concurrence sur la base des données de 61 placettes d'expériences permanentes, situés sur des pentes et à des expositions variables. Les résultats obtenus avec les algorithmes décrivant la concurrence ont été jugés d'après des modèles de croissance non linéaires. Outre les réactions de croissance liées à l'essence et aux classes d'arbres par suite de la concurrence, on a indiqué quels étaient les effets spécifiques à la station, ainsi que les modèles pour la concurrence qui conviennent le mieux. Il apparaît qu'une adaptation des méthodes à un choix des concurrents tenant compte de la pente du terrain et de l'exposition améliore considérablement la confiance à accorder aux résultats donnés par les modèles de concurrence.

J. M.

8. Literatur

- BACHMANN, M.: Indizes zur Erfassung der Konkurrenz im Bergmischwald – eine Methodenstudie. DVFFA-Sektion Ertragskunde – Jahrestagung von 20. 5. 1996 bis 22. 5. 1996, Neresheim. S. 249–266, 1996
- BIGING, G. S. and DOBBERTIN, M.: A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *For. Sci.* 38, 695–720, 1992
- HEGYI, F.: A simulation model for managing jack-pine stands. In: FRIS, J. (Hrsg.): Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Research Notes No. 30, Stockholm, Sweden. S. 74–90, 1974
- MAGIN, R.: Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder in den bayerischen Alpen. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, H. 30, 161 S., 1956
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. *Forstl. Forschungsber. München*, Nr. 115, 332 S., 1992
- PRETZSCH, H.: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. *AFJZ* 166 (9/10), 190–201, 1995

Modellierung der Absterbeprozesse in Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche

Aus dem Lehrstuhl für Forsteinrichtung und Geodäsie, Forstwissenschaftliche Fakultät der Technischen Universität Zvolen

(Mit 2 Abbildungen und 3 Tabellen)

Von J. ĎURSKÝ¹⁾

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Einzelbaummodell; Mortalität; Logistische Klassifikation; Mortalitätswahrscheinlichkeitsfunktion; Fichte und Buche.

Single tree model; mortality; logistic classification; probability function for mortality; spruce and beech.

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit stellt ein einzelbaumorientiertes Mortalitätskonzept für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche dar. Dieses Konzept ist als ein Baustein des Wachstumssimulators SILVA 2.1 zu betrachten (KAHN und PRETZSCH, 1997). Die Mortalitätsmodelle sollen auf Grund unabhängiger Variablen eines Baumes und Bestandes zu Beginn einer Zuwachsperiode vorhersagen, ob der Baum die folgende Zuwachsperiode überlebt oder ob er in dieser Periode abstirbt. Die in dieser Arbeit vorgestellten Modelle betreffen natürliche, reguläre Mortalität, d.h. die Mortalität, die durch Konkurrenz und Alterung verursacht ist.

2. DATENMATERIAL

Die Daten für die Parametrisierung der Mortalitätsmodelle stammen aus A-Grad-Parzellen langfristiger Versuchsflächen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München. Für die Datenauswahl war die Modellkonzeption entscheidend, die von Daten der Vorperiode ausgeht. Die Vorperiode kann man als Periode definieren, während der man die Mortalitätssymptome sammelt. Am Ende dieser Vorperiode fällt die Entscheidung, ob ein Baum die folgende Periode, die Nachperiode, überlebt oder nicht.

Die Vor- und Nachperiodenlänge beträgt bei der Fichte 4 bis 7 Jahre. Diese Periodenlänge wurde aus der Erkenntnis der Arbeit KLEISTER (1972) und dem Gewinn einer maximalen Anzahl von toten Bäumen aus dem empirischen Datenmaterial abgeleitet. Es handelt sich um einen Kompromiß zwischen steigender Genauigkeit der allometrischen Beziehungen der Baumvariablen und fallender Anzahl von Daten mit steigender Periodenlänge. Perioden, die längere als 7-jährige und kürzere als 4-jährige Aufnahmezyklen bzw. Zuwachsperioden bei der Fichte aufwiesen, wurden nicht genommen. Um die Mortalitätswellen zu berücksichtigen, wurden die Modelle aus den Daten langer Beobachtungsreihen parametrisiert. Die Daten decken bei der Fichte den Zeitrahmen 1918 bis 1995 ab. Diese Länge der Beobachtungsreihen verkleinert die Gefahr, daß die Daten mit extremen Einflüssen (z. B. Trockenperioden) einseitig belastet sind. Insgesamt wurden die Modelle mit 2382 toten und ebenso vielen lebenden Fichten aus 12 Probeflächen parametrisiert. Diese Bäume bedecken alle Bestandesentwicklungsstadien (Oberhöhen von 7,41 m bis 43,7 m) und ein relativ breites Spektrum an Standorten (Oberhöhenbonitäten im Alter von 50 Jahren zwischen 19,1 m und 29 m).

Die Vor- und Nachperiodenlänge bei der Buche wurde aus Ergebnissen eigener Untersuchungen abgeleitet. Mit einer Kovarianzanalyse wurde überprüft, wie sich die Hauptmortalitätssymptome in

Abhängigkeit von der Periodenlänge verhalten. Es hat sich gezeigt, daß ein signifikanter Unterschied von Mortalitätssymptomen zwischen lebenden und toten Bäumen bei einer maximalen Vor- und Nachperiodenlänge von 10 Jahren liegt. Die minimale Periodenlänge wird auf 5 Jahre beschränkt. Es wurde zudem berücksichtigt, daß die Daten in diesem Bereich keine großen Extreme (Mortalitätswellen) widerspiegeln und die Anzahl der Daten hoch genug wird für die erfolgreiche Parametrisierung der Mortalitätsmodelle. Perioden, die längere als 10-jährige und kürzere als 5-jährige Aufnahmezyklen bzw. Zuwachsperioden bei Buche aufwiesen, wurden nicht mitberücksichtigt. Insgesamt standen 263 tote und eine gleiche Anzahl lebender Bäume der Baumart Buche aus 4 Probeflächen zur Verfügung, die den Zeitrahmen 1935 bis 1993 und die Bestandesoberhöhen 22,3 m bis 36,3 m im Alter 50 abdecken.

3. MODELLKONSTRUKTION

Die Modellkonstruktion vollzieht sich in 2 Schritten: zum einen der Aufstellung eines logistischen Regressionsmodells (LOGIT-Funktion), zum anderen der Entwicklung einer Mortalitätswahrscheinlichkeitsfunktion. Letztere ist zudem mit einer stochastischen Auswahl verbunden.

3.1 Logistische Regression

Das Mortalitätsmodell soll auf Grund der Mortalitätssymptome, die die Ausgangssituation des Baumes zu Beginn der Prognoseperiode charakterisieren, eine dichotome Entscheidung zum Fort- oder Ableben des Baumes im Modell treffen. Genau diesen Fall beschreibt die LOGIT-Funktion in Zusammenhang mit einem bestimmten Schwellenwert. Das LOGIT-Modell kann man allgemein formulieren als

$$T = \begin{cases} 1, & \text{wenn } F(x,a) \geq S(\text{lebend}) \\ 0, & \text{wenn } F(x,a) < S(\text{tot}) \end{cases} \quad (1)$$

wobei $F(x,a)$ eine Klassifikationsfunktion ist:

$$F(x,a) = \frac{1}{1 + e^{-(a_0 + a_1 \cdot x_1 + \dots + a_n \cdot x_n)}} \quad (2)$$

mit den Variablenbezeichnungen:

- T = Kategoriale Zustandsvariable (0/1)
- S = Schwellenwert für die Gruppentrennung
- $a_0 \dots a_n$ = die geschätzten Koeffizienten
- $x_1 \dots x_n$ = die unabhängigen Variablen
- $F(x,a)$ = dimensionslose abhängige Variable mit Werten zwischen 0 und 1.

Vorliegende Beziehung kann man auch schreiben:

$$F(x,a) = \frac{1}{1 + e^{-L(x)}} \quad (3)$$

wobei $-L(x)$ die lineare Kombination der unabhängigen Variablen ist:

$$L(x) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + \dots + a_n \cdot x_n \quad (4)$$

Abbildung 1 zeigt die Kurve der logistischen Regression, wenn die Werte $L(x)$ aus dem Intervall von -4 bis 4 stammen. Wie man sieht, die Kurve hat einen S-förmigen Verlauf und ähnelt der Kurve der kumulativen Wahrscheinlichkeit der Normalverteilung. Die Beziehung zwischen der unabhängigen Variablen $L(x)$ und der abhängigen

¹⁾ Diese Arbeit ist während eines DAAD-Forschungsstipendiums vom 1. 10. 1995 bis 31. 3. 1996 am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München entstanden. Anschrift des Verfassers: Dr. JAN ĎURSKÝ, Lehrstuhl für Forsteinrichtung und Geodäsie, Forstwissenschaftliche Fakultät der TU Zvolen, Masarykova 24, 96001 Zvolen, Slowakei.

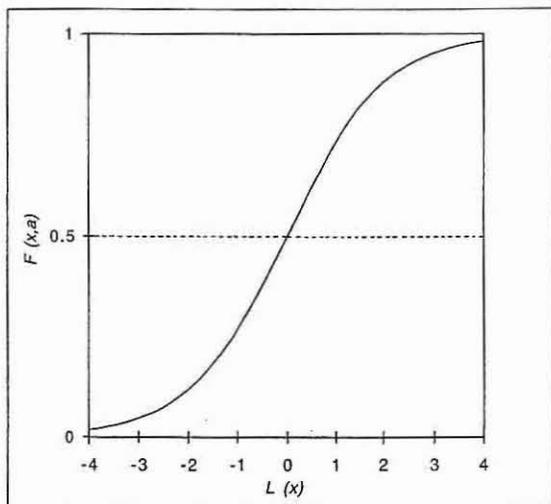


Abb. 1

Graphische Darstellung einer LOGIT-Funktion
Graphical visualization of the LOGIT-Funktion

Variablen $F(x,a)$ ist nichtlinear. Die Variable $F(x,a)$ beschreibt die Verteilung der Wahrscheinlichkeit der unabhängigen Variablen $L(x)$.

Die verwendete Funktion ermöglicht eine relativ genaue Trennung beider Zustände, und die Koeffizienten sind biologisch gut interpretierbar. Dieser Ansatz wurde auch von HAMILTON (1986), AVILA und BURKHART (1992), PRETZSCH (1992), HASENAUER (1994) und STERBA (1995) verwendet.

Bei der hier erfolgenden Auswahl der unabhängigen Variablen für die LOGIT-Funktion werden berücksichtigt:

- 95 % Signifikanzniveau der Koeffizienten;
- hoher Beitrag für die Verbesserung der Gruppentrennung;
- Anwendbarkeit auch für Mischbestände;
- Stabilität im Extrapolationsbereich;
- Implementierbarkeit in das Einzelbaummodell SILVA 2.1;
- hohe biologische Aussagekraft.

Die Koeffizientenschätzung für die LOGIT-Funktion erfolgte nach dem Maximum Likelihood Schätzverfahren. Dabei wurde mit einer gleichen Anzahl toter und lebender Bäume gearbeitet. Um nun die Schätzung nicht mit überrepräsentierten Häufigkeiten von Bäumen in bestimmten Bestandesentwicklungsphasen zu verzerrern, wurde eine ausgleichende Gewichtung mit diesen Häufigkeiten durchgeführt. Die Ergebnisse der Variablenselektion und Koeffizientenschätzung sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Alle der verwendeten Variablen sind während eines Prognoselaufes mit dem Einzelbaummodell stets verfügbar. Die Bonität kann mit Hilfe des Standortmodells geschätzt werden.

Das Kriterium für die Trennschärfe des Modells ist der Anteil korrekt klassifizierter Fälle. Beim Schwellenwert $S=0,5$ ordnet die LOGIT-Funktion (Tab. 2) 87,58% der Fichten und 88,28% der Buchen der richtigen Gruppe zu. Unter den Fehlklassifikationen überwiegen die Bäume, die starke Mortalitätssymptome aufweisen und trotzdem die Nachperiode überleben.

Als nächstes wurde überprüft, ob die LOGIT-Modelle als „perfekte Modelle“ betrachtet werden können. Dazu wurde die -2LL-Charakteristik benutzt. Diese Charakteristik beschreibt die Güte der Anpassung und gibt die Schätzgenauigkeit der Modelle an. Das -2LL-Kriterium wurde zur Prüfung, ob es signifikant von Null verschieden ist, einer χ^2 -Statistik unterzogen (SPSS, 1990):

Fichte	Buche
$H_0: -2LL \rightarrow 0$	$H_0: -2LL \rightarrow 0$
$-2LL = 18981,6 \chi^2_{(0,05, 28346)} = 28738,8$	$-2LL = 680,8 \chi^2_{(0,05, 941)} = 1013,48$
$-2LL < \chi^2_{(0,05, 28346)}$	$-2LL < \chi^2_{(0,05, 941)}$

Tab. 1
Die geschätzten Koeffizienten der LOGIT-Funktion

	Variable	Koeffizient	SE	Sig.	R	-2LL
Fichte	Konstante	5,3908	0,3301	0,0000	-	18981,6
	bhd	-0,0089	0,0027	0,0011	-0,0149	
	ig/bhd	1,4802	0,0283	0,0000	0,2653	
	h/bhd	-5,3998	0,2070	0,0000	-0,1323	
	bon	-0,0406	0,0070	0,0000	-0,0284	
Buche	Konstante	6,6686	2,0206	0,0000	-	680,8
	bhd	-0,2610	0,0658	0,0010	-0,1027	
	ig/bhd	3,0796	0,2917	0,0000	0,2897	
	h/bhd	-7,6495	1,5171	0,0000	-0,1340	
	h	0,2695	0,0596	0,0000	0,1188	

bhd = Brusthöhendurchmesser des Baumes am Anfang der Nachperiode (cm)
ig = Grundflächenzuwachs des Baumes während der Vorperiode (cm²/5a)
h = Höhe des Baumes am Anfang der Nachperiode (m)
bon = Bestandesoberhöhenbonität im Alter 50 Jahre (m)

Tab. 2
Dichotome Klassifikation mit der LOGIT-Funktion und Schwellenwert $S = 0,5$

Fichte				Buche					
		Pred				Pred			
		0	1	Correct			0	1	Correct
Obs	0	14818	1328	91,78 %	Obs	0	397	35	91,81 %
	1	2192	10012	82,04 %		1	75	438	85,30 %
				87,58 %					88,28 %

Der Vergleich des -2LL-Kriteriums mit der Signifikanzgrenze χ^2 zeigt, daß die Modelle ein hohes Aussageniveau zeigen. Somit kann man diese Modelle als „perfekte Modelle“ bezeichnen.

3.2 Mortalitätswahrscheinlichkeitsfunktion

Der überwiegende Teil der Mortalitätsmodelle führt die Klassifikation tot/lebend entweder auf der Basis eines absoluten Grenzwertes der wichtigsten Variablen oder auf der Basis einer Mortalitätswahrscheinlichkeit, die aus einer nichtlinearen Regression oder von LOGIT-Modellen abgeleitet ist, durch.

Bei der Verwendung der LOGIT-Funktion muß man jedoch berücksichtigen, daß die Residuen der Funktion in Abhängigkeit von $F(x,a)$ nicht linear verteilt sind. Die Frequenzanalyse der richtig klassifizierten Fälle in Abhängigkeit von $F(x,a)$ der LOGIT-Funktion und die aus dieser Frequenz abgeleitete Wahrscheinlichkeit kann aber zeigen, wo das Mortalitätsniveau liegt. $F(x,a)$ kann man dann als konzentrierte Form der Mortalitätssymptome betrachten. Die Ergebnisse der Frequenzanalyse der richtig klassifizierten Fälle für unsere Untersuchungen zeigen die Abbildung 2 und die Tabelle 3. Die Mortalitätswahrscheinlichkeit (Mrt) wurde für die $F(x,a)$ -Intervalle nach folgender Formel berechnet:

$$Mrt_i(\%) = \frac{p_i(\text{tot}) \cdot 100}{p_i(\text{tot} + \text{lebend})} \quad (5)$$

wobei

- $Mrt_i(\%)$ = Mortalitätswahrscheinlichkeit in dem $F(x,a)$ -Intervall;
- $p_i(\text{tot})$ = relative Häufigkeit der toten Bäume in dem $F(x,a)$ -Intervall;
- $p_i(\text{tot} + \text{lebend})$ = relative Häufigkeit aller Bäume in dem $F(x,a)$ -Intervall.

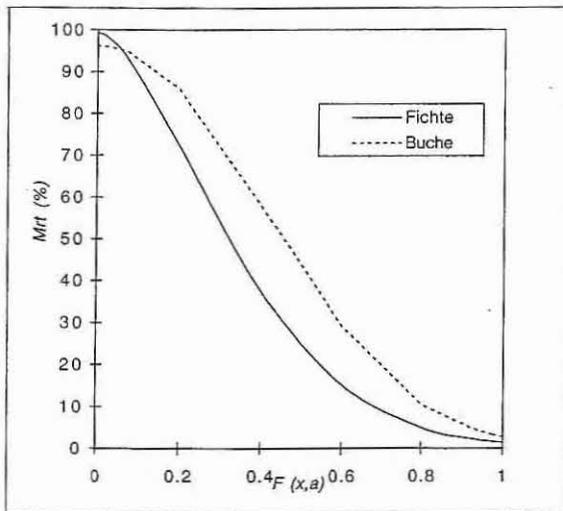


Abb. 2

Entwicklung der Mortalitätswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von $F(x,a)$

The mortality probability function in dependence on $F(x,a)$

Die abgeleitete Mortalitätswahrscheinlichkeit (Mrt) kann man dann in Form einer Funktion verallgemeinern (Abb. 2). Die beste gefundene Beziehung lautet:

$$Fi: Mrt(\%) = \frac{99,4}{\exp^{(4,327 F^{1,628})}} \quad (6)$$

$$Bu: Mrt(\%) = \frac{96,155}{\exp^{(3,593 F^{2,15})}} \quad (7)$$

Die dichotome Klassifikation, ob ein Baum innerhalb einer Wachstumsperiode stirbt oder nicht, erfolgt mit einer stochastischen Komponente durch einen gleichverteilten Zufallsgenerator:

WENN $Mrt(\%) > Z_{uf}(1...100)$ DANN $T=0$ (tot),
 WENN $Mrt(\%) \leq Z_{uf}(1...100)$ DANN $T=1$ (lebens).

4. ÜBERPRÜFUNG DER MORTALITÄTSMODELLE

Die Überprüfung der Mortalitätsmodelle erfolgte anhand von 10 unabhängigen Parametrisierungen der LOGIT-Modelle. Dazu wurden aus dem gesamten Datenmaterial jeweils 80% der Daten zufällig ausgewählt, das LOGIT-Modell damit parametrisiert und die Prognoseresultate dem Validierungsanteil von 20% der Daten vergleichend gegenübergestellt. Es wurde überprüft (DURSKY et al., 1996):

– der Unterschied der richtigen Zuordnung zur Gruppe tot/lebens im Stichprobenanteil und Validierungsanteil;

– Stabilität der Koeffizienten aus der Stichprobeneinheit und
 – Übereinstimmung der Residualverteilungen in Abhängigkeit von $F(x,a)$ der Grundgesamtheit (100% der Daten) und dem Validierungsanteil.

Die Tests haben ein hohes Niveau richtiger Klassifikation, Stabilität und Übereinstimmung der Modelle mit den Validierungsdaten aufgewiesen. Die Modelle wurden auch dem Wachstumssimulator SILVA 2.1 implementiert und in Prognosen des Bestandeswachstums mit der realen Entwicklung von Versuchsbeständen verglichen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe der Daten von Versuchsflächen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der LMU München wurden für den Einzelbaum-simulator SILVA 2.1 die Mortalitätsmodelle für die Baumarten Fichte und Buche entwickelt.

Der Aufbau der Modelle besteht aus einem logistischen Regressionsmodell (LOGIT-Funktion), einer Mortalitätswahrscheinlichkeitsfunktion und aus einer stochastischen Auswahl. Auf Grund unabhängiger Variablen (bhd, ig, h, Bonität) wird in der ersten Phase ein dimensionsloser F-Wert (Ergebnis aus der LOGIT-Funktion) und anschließend in der zweiten Phase die Mortalitätswahrscheinlichkeit bestimmt. Diese wird in der dritten Phase bei der dichotomen Klassifikation mit einer Zufallszahl verglichen. Die Neuerung an dieser Modellkonstruktion ist die Mortalitätswahrscheinlichkeitsfunktion, die aus der Frequenzanalyse der Residuen der logistischen Regression abgeleitet wurde.

6. Summary

Title of the paper: *Modelling mortality in mixed spruce-beech stands.*

Based on a large number of experimental plots from the Chair of Forest Yield Science at the Ludwig-Maximilians-University Munich mortality models for beech and spruce are constructed. These models are implemented into the distance dependent single tree model SILVA 2.1.

The mortality models consist of three parts: a logistic regression model (LOGIT-function), a mortality likelihood function and a stochastic classification procedure. Performing the classification in the first phase the undimensioned number F (result of LOGIT-Funktion) is calculated based on independent variables (diameter, increment on basal area, height, site index). After that in the second phase the mortality likelihood is determined. In the third phase the dichotomous classification is conducted by comparing the probability for mortality with an equal distributed random number. The new approach in this model is the construction of a mortality likelihood function which is derived from the frequency of the residuals of the logistic regression.

Tab. 3

Bestimmung der Mortalitätswahrscheinlichkeit (Mrt) in Abhängigkeit von $F(x,a)$

$F(x,a)$ -Intervall		0–0,05	0,051–0,1	0,11–0,3	0,31–0,5	0,51–0,7	0,71–0,9	0,91–0,95	0,951–0,1
Fichte	$p_i(\text{lebens})$	0,76	2,06	8,12	9,17	12,45	20,69	12,83	33,94
	$p_i(\text{tot})$	38,96	27,12	25,27	4,32	1,89	1,13	0,55	0,76
	$Mrt_i(\%)$	98,09	92,94	75,68	32,02	13,18	5,18	4,11	2,19
Buche	$p_i(\text{lebens})$	0,76	0,00	8,75	4,94	12,93	13,69	9,13	49,81
	$p_i(\text{tot})$	21,67	13,69	38,4	18,25	3,8	1,14	0,76	2,28
	$Mrt_i(\%)$	96,61	100	81,44	78,70	22,71	7,69	7,68	4,38

7. Résumé

Titre de l'article: *Modélisation des processus du dépérissement dans des peuplements purs ou mélangés de chênes et de hêtres.*

Sur la base des données dont dispose la chaire «Croissance des forêts» de l'LMU de Munich, on a développé des modèles de la mortalité de l'épicéa et du hêtre pour le simulateur SILVA 2.1 consacré aux arbres en tant qu'individus.

La construction des modèles découle: d'un modèle de régression logistique (fonction LOGIT); d'une fonction de la mortalité probable; d'un choix stochastique. Sur la base de variables indépendantes ($d_{1,30}$, ig , h , classe de fertilité), on a déterminé dans une première phase une valeur F sans dimension (résultat obtenu à partir de la fonction LOGIT) et ensuite, en s'y rattachant au cours d'une deuxième phase, la probabilité de mortalité. Cette probabilité est alors comparée pendant la troisième phase et en utilisant une classification dichotomique, avec un nombre dû au hasard. La nouveauté de la construction de ce modèle est la fonction de la mortalité probable qui est obtenue à partir des «résidus» de l'analyse de fréquence. J. M.

8. Literatur

- AVILA, O. B. and BURKHART, H. E.: Modeling survival of loblolly pine trees in thinned and unthinned plantations. *Can. J. For. Res.* 22, 1878–1882, 1992
- ĐURSKÝ, J., PRETZSCH, H. und KAHN, M.: Modellhafte Nachbildung der Mortalität von Fichte und Buche in Einzelbaumsimulatoren. DVFF - Sektion Ertragskunde, Neresheim, S. 267–277, 1996
- HAMILTON, D. A., JR.: A logistic model of mortality in thinned and unthinned mixed conifer stands of Northern Idaho. *For. Sci.* 32, 989–1000, 1986
- HASENAUER, H.: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. *Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien*, Band 8, 152 S., 1994
- KAHN, M. und PRETZSCH, H.: Das Wuchsmodell Silva - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. *AFJZ* 168, 115–123, 1997
- KLEISTER, T. D.: Predicting individual tree mortality in simulated southern pine plantations. *For. Sci.* 18, 213–217, 1972
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. *Forstliche Forschungsberichte München*, Nr. 115, 332 S., 1992
- SPSS: *Advanced Statistics User's Guide*. 1990
- STERBA, H.: Prognaus - ein abstandsunabhängiger Wachstumssimulator für ungleichaltrige Mischbestände. DVFF - Sektion Ertragskunde, Joachimsthal, S. 173–183, 1995

Erfassung und Modellierung des Strahlungsangebotes in Fichten-Buchen Mischbeständen

Aus dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, München

(Mit 4 Abbildungen)

Von M. MESCHEDERU

(Angenommen Februar 1997)

SCHLAGWÖRTER - KEY WORDS

Fichten-Buchen Mischbestände; Strahlungsmodellierung; Strahlungsmessung.

Mixed stands; modelling of radiation; measurement of radiation.

1. EINLEITUNG

Licht¹⁾ steuert das Wachstum von Bäumen. Die Kenntnis der Verteilung von Strahlung in einem Bestand gibt Aufschluß über waldwachstumskundliche Fragestellungen, wie z. B. das Verjüngungspotential, die Mortalität und die Optimierung des Lichtgenusses durch verschiedene Durchforstungsstrategien. Durch Integration in Wuchsmodelle, insbesondere das am Lehrstuhl entwickelte SILVA 2.0 (PRETZSCH, 1992, 1995), werden auf dendrometrischen Größen beruhende Maßzahlen zur Bewertung der Wuchskonstellation und Konkurrenzsituation mit der physiologischen Größe Strahlung in Zusammenhang gebracht. Mit Messungen der photosynthetisch aktiven Strahlung vor Ort im Bestand erhält man Auskunft über das Strahlungsangebot an einer Reihe von Meßpunkten. Messungen an beliebigen Orten im Bestand sind aufgrund von technischen Einschränkungen bei vertretbarem Aufwand nicht möglich. Dieser Mangel kann behoben werden, indem man ein Modell konstruiert, mit dem man die Strahlungsverhältnisse im Bestand rechnerisch simulieren kann. Die durchgeführten Messungen dienen dabei dazu, das Modell zu parametrisieren und schließlich zu validieren.

2. STRAHLUNGSMODELL

Bei dem zur Bestimmung der Lichtverhältnisse verwendeten Modell handelt es sich um ein 3dimensionales, einzelbaumbasiertes,

positionsabhängiges Bestandesstrahlungsmodell (MESCHEDERU, 1996; siehe auch Abb. 1). Es basiert auf einem von BARTELINK (1995) erstellten Programm, das abgeändert und erweitert wurde. Die Bäume des Bestandes sind durch einfache geometrische Körper dargestellt. Dazu wurde deren Stammfußpunkt in 3 Koordinaten, die Baumhöhe, die Kronenlänge sowie der Kronendurchmesser im realen Bestand eingemessen.

Zur rechnerischen Bestimmung des Strahlungsangebotes an einem Punkt muß bekannt sein, wie die Strahlung am Himmel oberhalb des Bestandes räumlich verteilt ist und wie diese Strahlungsverteilung durch die Bäume des Bestandes verändert wird. Dazu rastert man den virtuellen Bestand mit Teststrahlen, die sich alle im zu untersuchenden Punkt schneiden. Bäume, deren konstruierte Kronen von einem dieser Teststrahlen geschnitten werden, gehen in die folgende Berechnung mit ein: Beim Durchtritt durch eine Krone wird der Lichtstrahl in seiner Intensität proportional zum in der Krone zurückgelegten Weg abgeschwächt. Die Bestimmung dieser Abschwächung erfolgt mit dem BEER-LAMBERTSchen Gesetz.

Die gewichtet aufsummierten Extinktionen dieser Teststrahlen ergeben das relative Bestrahlungsverhältnis von Strahlung im Bestand zur Freilandstrahlung. Die Helligkeitsverteilung des Himmels oberhalb des Bestandes wird durch verschiedene Ansätze, wie den „Standard Overcast Sky“ (SOC) oder den „Uniform Overcast Sky“ (UOC) angenähert (MOON und SPENCER, zit. in ANDERSON, 1964). Stämme stellen nur einen Bruchteil des Bestandesvolumens dar und werden derzeit nicht berücksichtigt. Die Äste werden ebenfalls nicht in die Berechnungen mit aufgenommen, da dies sehr aufwendige Kronenmodelle erfordert.

Der reale Bestand ist in eine Umgebung eingebettet, die zumeist nicht bekannt ist. Durch Verschieben oder Spiegeln der zu untersuchenden Fläche kann man dieses Problem umgehen. Hier wird, in erster Linie, um Rechenzeit einzusparen, aus dem Bestand durch

¹⁾ Die Begriffe Licht und Strahlung werden im folgenden synonym verwendet und bezeichnen die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm.

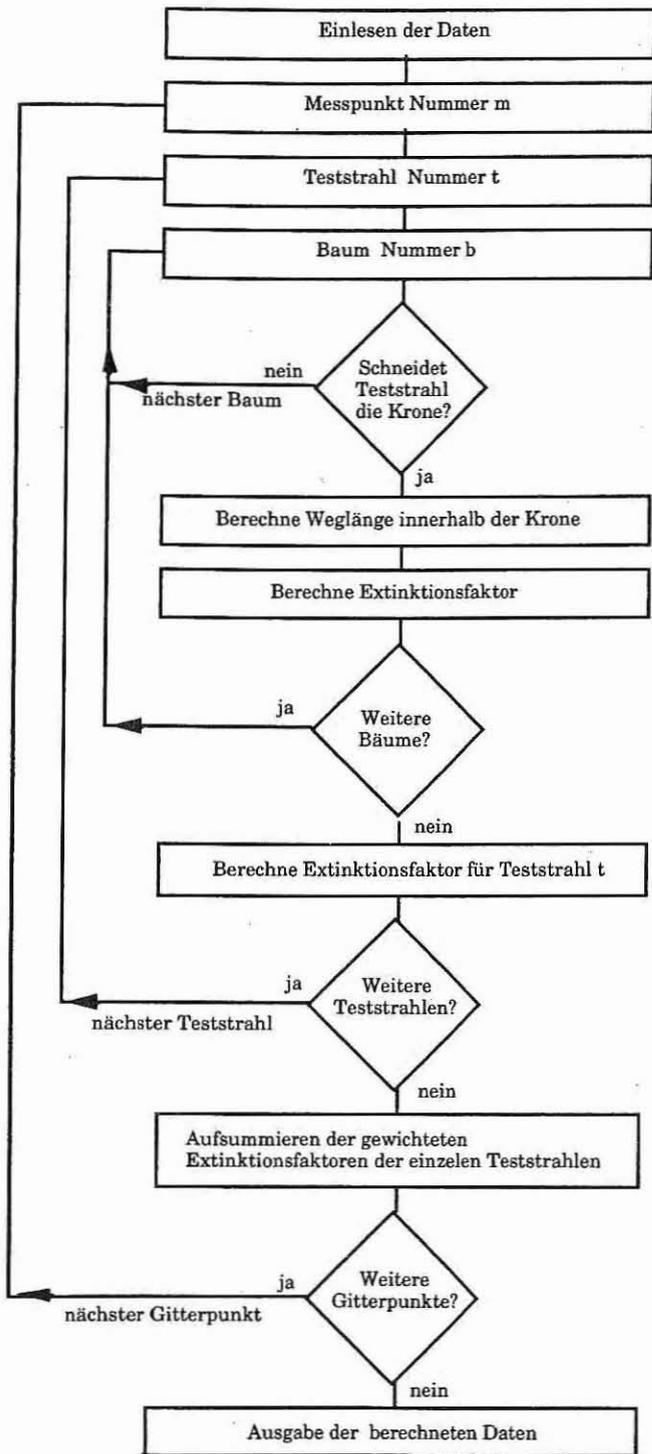


Abb. 1

Ablaufdiagramm des Strahlungsmodells
Structure of the radiation model

Mittelung über alle Bäume ein „Einheitswald“ gebildet, der rechnerisch um die zu untersuchende Fläche gelegt wird und die Randprobleme unterdrückt.

3. STRAHLUNGSMESSUNGEN IM BESTAND

Das Modell verwendet zur Berechnung der Extinktion den Parameter Blattflächendichte. Dieser ist zunächst nicht bekannt und wird, von der Literatur entnommenen Werten beginnend, durch simulatives Erschließen ermittelt.

Dazu benötigt man PAR-Messungen im Bestand. Diese werden bei möglichst gleichmäßig bewölktem Himmel durchgeführt. Damit nähert man sich diffusen Beleuchtungsbedingungen des „Standard Overcast Sky“ an. Um eine Wiederholbarkeit zu ermöglichen, wurden die Versuchsflächen am Boden in Quadrate mit 5 m Seitenlänge unterteilt, an deren Ecken die Meßpunkte durch Holzpflocke markiert sind. Mit diesem Meßraster kann man die horizontale Strahlungsverteilung im unteren Bestandesbereich messen (siehe Abb. 2). Auf der zur Modellbildung herangezogenen Wuchsreihe Freising 813 befinden sich etwa 1000 dieser Meßpunkte. Das vertikale Strahlungsprofil (siehe Abb. 3) vom Bestandesboden bis in den Kronenraum wird an einigen ausgesuchten Stellen im Bestand bestimmt. Diese Messungen sind für die Parametrisierung besonders von Bedeutung, da im Kronenraum nur die Nachbarbäume an der Gestaltung des Lichtangebotes beteiligt sind. Das Modell reagiert dort empfindlicher auf Variationen in den strahlungsrelevanten Parametern.

Während der Messungen befindet sich ein baugleicher Referenzsensor oberhalb des Bestandes, da durch kurzzeitige Helligkeitsschwankungen bei bewölktem Himmel, die visuell kaum wahrnehmbar sind, die Meßergebnisse verfälscht werden. Die Strahlungswerte werden in einem Datenlogger elektronisch abgespeichert und schließlich aufbereitet und in einer Datenbank archiviert.

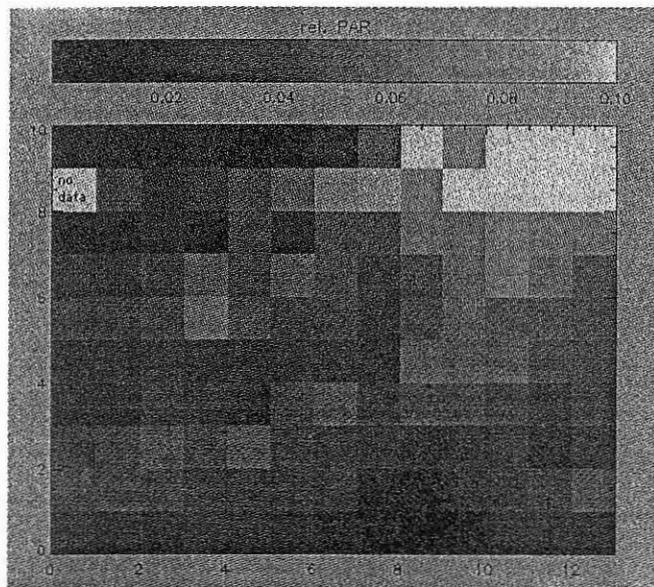


Abb. 2

Relatives PAR Horizontalprofil auf der Parzelle 5 der Fichten-Buchen Wuchsreihe FRS 813 im unteren Bestandesraum in 1,4 m Höhe. Der deutliche Anstieg der Helligkeit zu der rechten Ecke oben kommt von einem Käferloch

Relative horizontal PAR profile of a plot of the spruce-beech mixed stand Freising 813. The measurement was taken in a height of 1.4 m. The increase of relative radiation towards the right upper edge is caused by a clearing

4. EINSCHRÄNKUNGEN UND MÖGLICHKEITEN DES STRAHLUNGSMODELLS

Die Wahl der Kronenformmodelle ist für die Modellierung der Strahlung von großer Bedeutung. Durch Vereinfachungen der Kronen, wie Rotationssymmetrie und einfache Formen, wie sie derzeit im Modell implementiert sind, werden Verfälschungen eingebracht. Insbesondere bei Kronen von Laubbäumen können die Abweichung von der stark idealisierten Kreisform beträchtlich sein (siehe Abb. 4). Neben den vereinfachten Kronenformen wird die Blattmasse selbst als homogen im Kronenraum verteilt betrachtet. Die Reflexion des Lichts und die Transmission durch Blätter sowie

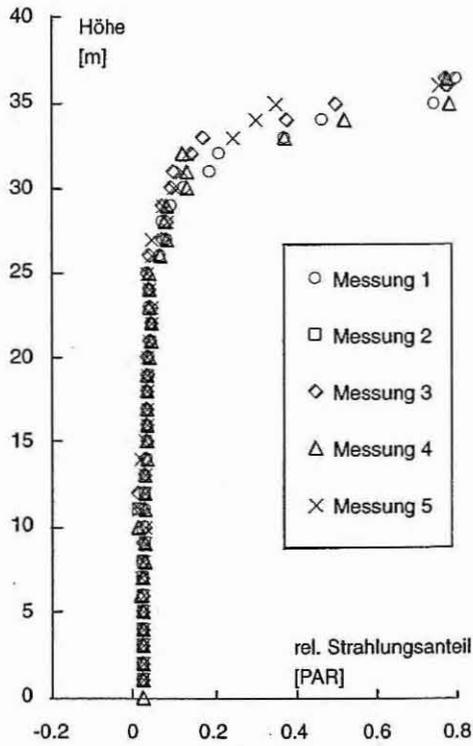


Abb. 3

Gemessenes PAR-Vertikalprofil auf der Parzelle 3 der Fichten-Buchen Wuchreihe Freising 813. Die Werte sind bis zum Eintritt in den Kronenraum nahezu konstant. Da der Sensor den Kronenraum nicht komplett durchmessen hat, gehen die maximalen Werte nur bis etwa 0,8

Vertical Profile of relative PAR on a plot of the spruce-beech-mixed stand Freising 813.

The values are nearly constant until the sensor reaches the canopy. Due to the fact, that the sensor does not reach above of the canopy, the maximum value is about 0.8

die dadurch bedingten Änderungen im Spektrum der PAR gehen nicht in die Berechnungen mit ein.

Die mit einem Strahlungsmodell ermittelten Ergebnisse ersparen nicht nur aufwendige Messungen, man kann darüber hinaus die Struktur des Bestandes beliebig verändern und die Auswirkungen auf das Strahlungsangebot untersuchen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Berechnung von Strahlungsverhältnissen in Beständen ermöglicht es, beliebige horizontale und vertikale Helligkeitsverteilungen aufzustellen. Dazu wurde ein 3dimensionales, einzelbaumbasiertes, positionsabhängiges Bestandesstrahlungsmodell konstruiert. Mit Messungen der photosynthetisch aktiven Strahlung auf der Fichten-Buchen Wuchreihe Freising 813 wird es parametrisiert und validiert. Es können damit verschiedene Problemstellungen bearbeitet werden, wie z. B. das potentielle Wachstum einer Verjüngungsschicht oder die Optimierung des Lichtgenusses durch Durchforstungsvarianten.

6. Summary

Title of the paper: *Recording and modelling of radiation climate in spruce-beech mixed stands.*

A radiation model was constructed to calculate any desired horizontal and vertical radiation distributions in mixed stands. The

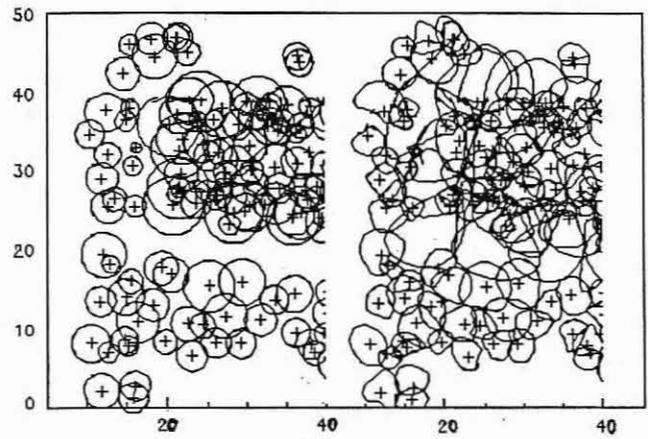


Abb. 4

Ausschnitt aus der Kronenkarte der Parzelle 1 der Fichten-Buchen Wuchreihe Freising 813. Links die im Strahlungsmodell verwendeten kreisförmigen Kronen, rechts die mit Kronenablotungen bestimmten Kronenformen. Die zenithnahen Strahlungswerte auf der Rückegasse werden im Modell im Vergleich zur Messung überschätzt

Crownmap of plot FRS813, a mixed stand (spruce, beech), drawn with different crown forms, left side: Circles used in the radiation model, right side crown projections based on measurements. The model overestimates radiation values near zenith on the extraction road

model will be parameterized and validated with measurements of photosynthetically active radiation forest stands. It is applied to answer questions regarding the growth potential of regeneration or the optimization of canopy light with variant thinning strategies.

7. Résumé

Titre de l'article: *Détermination et modélisation du rayonnement offert dans des peuplements mélangés hêtres-épicéas.*

L'évaluation des conditions du rayonnement permet d'établir quelle est, à tout moment, la répartition horizontale et verticale de la luminosité. Pour ce faire on a construit un modèle du rayonnement dans un peuplement: tridimensionnel, basé sur l'arbre en tant qu'individu et lié à la position qu'il occupe. Grâce à des mesures du rayonnement photosynthétiquement actif pour des épicéas et des hêtres couvrant toute une série d'accroissements, on a pu calculer les paramètres puis valider le modèle. On a pu ainsi contribuer à résoudre différents problèmes, tels par exemple la croissance potentielle d'une strate de régénération ou l'optimisation de la quantité de lumière grâce à des variantes de l'éclaircie. J. M.

8. Literatur

- ANDERSON, M.: Light Relations of Terrestrial Plant Communities and their Measurement. *Biological Reviews* 39 (4), 425-487, 1964
 BARTELINK, H.: MAPFLUX: a spatial model of light transmission through forest canopies. Hinkeloord Report No. 15. Vakgroep Bosbouw, Landbouwniversiteit Wageningen. 30 Seiten, 1995
 MESCHEDERU, M.: Einfluß räumlicher Bestandesstrukturen auf die Strahlungsverhältnisse in Fichten-Buchen Mischbeständen. Bericht zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde des Deutschen Verbandes Forstlicher Versuchsanstalten, 1996
 PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. *Forstliche Forschungsberichte München*, Nr. 115, 1992
 PRETZSCH, H.: Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 166 (9/10), 190-201, 1995

WALDBAU

Waldbauliche Fragen der Kiefernwirtschaft
Zusammengestellt von Prof. Dr. B. v. Lüpke.
184 Seiten mit 38 Abb. und 18 Tab.
Kart. DM 34,-.

Eichenwälder im nordöstlichen Mexiko
Von Prof. Dr. B. Müller-Using. 263 Seiten mit
64 Abb. und 46 Tab. Kart. DM 49,-.

Die Verjüngungsentwicklung der Buche (*Fagus silvatica* L.)
Von Dr. A. Dohrenbusch. 70 Seiten mit 14 Abb.
und 11 Tab. Kart. DM 19,-.

Zum Anbau der Schwarznuß (*Juglans nigra* L.) in den Rheinauen
Von Dr. N. Bartsch. 90 Seiten mit 35 Abb. und
19 Tab. Kart. DM 16,-.

Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten
Von Dr. A. Roloff. 258 Seiten mit 120 Abb. und
14 Tab. Kart. DM 25,-.

Ausländeranbau in Niedersachsen und den angrenzenden Gebieten
Inventur und waldbaulich-ertragskundliche Untersuchungen
Von Dr. J. Stratmann. 131 Seiten mit 20 Abb.
und 1 Tab. Kart. DM 19,-.

Die Waldstandorte in Hessen und ihre Bestockung
Von Dr. H. Zimmermann. 235 Seiten mit 52
Abb., 14 Fotos und 10 Tab. Kart. DM 26,80.

Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald
Von Dr. A. König. 194 Seiten mit 54 Abb. und
45 Tab. Kart. DM 20,80.

Wind- und Sturmschäden im Wald
Von Dr. M. Rottmann. 128 Seiten mit 62 Abb.
und 49 Tab. Kart. DM 16,80.

Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen
Von Dr. M. Rottmann. 159 Seiten mit 62 Abb.
und 37 Tab. Kart. DM 16,80.

Ergebnisse des 4. Tannen-Symposiums
Von Forstdirektor W. Kramer. 289 Seiten mit 69
Abb. und 54 Tab. Kart. DM 27,80.

Stecklingsvermehrung von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)
Von Dr. W. Spethmann. 99 Seiten mit 9 Abb.
und 39 Tab. Kart. DM 15,-.

Versuche zur Einbringung von Lärche und Eiche in Buchenbeständen
Von Dr. B. von Lüpke. 123 Seiten mit 14 Abb.
und 41 Tab. Kart. DM 27,60.

Untersuchungen über die Wirkung von Brand, Mahd und Beweidung auf die Entwicklung von Heide-Gesellschaften
Von Dipl.-Forstwirt O. Muhle und Prof. Dr. E. Röhrig. 72 Seiten mit 14 Abb. und 20 Tab. Kart. DM 7,50.

Die natürliche Verjüngung der Buche
Von Doz. Dr. P. Burschel, Doz. Dr. J. Huss,
Doz. Dr. R. Kalbhenn. 188 Seiten mit 37 Abb.
und 63 Tab. Kart. DM 24,80.

Züchterische Möglichkeiten zur Verbesserung quantitativer und qualitativer Eigenschaften bei europäischer Lärche
Von Dr. W. Dietze. 109 Seiten mit 37 Abb. und
14 Tab. DM 26,50.

Jungwuchspflege und Läuterung mit synthetischen Wuchsstoffen
Von Prof. Dr. H.-J. Fröhlich. 56 Seiten mit 11
Abb., 9 graph. Darst., 11 Tab. Kart. DM 6,80.

Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln
Von Prof. Dr. H.-J. Fröhlich und Dr. W. Grosscurth. 268 Seiten mit 96 Abb., 36 Tab.
und 1 Ausschlagtafel. Kart. DM 49,60.

Fortschritte des forstlichen Saatgutwesens
Band 1: 117 Seiten mit 35 Abb. und 46 Tab.
Kart. DM 12,20. Band 2: 166 Seiten mit 73 Abb.
und 18 Tab. Leinen DM 32,-. Band 3: 108 Seiten
mit 51 Abb. und 28 Tab. Kart. DM 26,80.

Wald, Wachstum und Umwelt
Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen
des Waldwachstums.

Von Prof. Dr. G. Mitscherlich. Band 1: (vergriffen). Band 2: Waldklima und Wasserhaushalt. 2. Auflage. 402 Seiten mit 118 Abb. und 147 Tab. Geb. DM 92,-.

Waldbauliche Untersuchungen über die Weißtanne im nördlichen und mittleren Westdeutschland

Von Prof. Dr. A. Olberg und Prof. Dr. E. Röhrig. 102 Seiten mit 22 Abb. und mehreren Tab. Kart. DM 10,40.

Beiträge zum Problem der Kiefern naturverjüngung

Von Prof. Dr. A. Olberg. 96 Seiten mit 7 Abb. und 13 Tab. Kart. DM 13,-.

Die Anzucht von Forstpflanzen in Nadelstreubeeten

Von Prof. Dr. E. Röhrig. 49 Seiten mit 2 Abb. und 36 Tab. Kart. DM 7,20.

Neuere Grundlagen für den Anbau von *Abies grandis*

Von Prof. Dr. E. Röhrig. 155 Seiten mit 26 Abb. und 30 Tab. Kart. DM 17,70.

Untersuchungen zur Bestandesbegründung der Douglasie

Von Dr. J. B. Larsen, O. Muhle und H. Lohbeck. 332 Seiten mit 28 Abb. und 137 Tab. Kart. DM 18,80.

Der Adlerfarn und seine Bekämpfung mit Aminotriazol

Von Doz. Dr. Chr. Volger. 104 Seiten mit 26 Abb. Kart. DM 26,20.

BODENKUNDE, STANDORTSLEHRE

Naturwaldreservate in Hessen 2 - Waldkundliche Untersuchungen

Von B. Althoff, R. Hocke und J. Willig. 168 Seiten mit 78 Abb. und 15 Übers. Kart. DM 38,-.

Der Wasserumsatz eines Buchen- u. eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling

Von Dr. P. Benecke. 158 Seiten mit 46 Abb. und 35 Tab. Kart. DM 25,80.

Forstlich-hydrologische Untersuchungen im Kaufunger Wald

Von Dr. P. Benecke, Dr. H. J. Liebscher und Forstamtman E. Meyer. 333 Seiten mit 144 Abb. und 80 Tab. Kart. DM 52,-.

Die Bewertung des Windwurftrisikos der Fichte auf verschiedenen Standortstypen

Von Dr. D. Germann. 104 Seiten mit 16 Abb., 64 Tab. im Text und 8seitigem Tab.-Anhang. Kart. DM 21,40.

Über forstliche Düngungsversuche mit spezieller Zielsetzung für den Waldbau des nordwestdeutschen Flachlandes

Von Doz. Dr. H. A. Gussone. 127 Seiten mit 23 Abb. und 31 Tab. Kart. DM 35,80.

Ergebnisse langfristiger Düngungsversuche im Gebiet des nordwestdeutschen Diluviums und ihre Folgerungen für die Praxis

Von Oberforstmeister Dr. G. Seibt und Prof. Dr. W. Wittich. 156 Seiten mit 16 Abb. und 45 Tab. Kart. DM 24,-.

Ertragskundliche und bodenkundliche Ergebnisse langfristiger Kalkdüngungsversuche

Von Dr. G. Seibt, Prof. Dr. W. Wittich und Dr. J. B. Reemtsma. 300 Seiten mit 43 Abb. und 105 Tab. Kart. DM 42,80.

Das Fruchten der Waldbäume als Grundlage der Forstsamengewinnung

I. Koniferen
Von Landforstmeister Dr. H. Messer. 108 Seiten mit 24 Abb. und 37 Tab. Kart. DM 12,80.

Der heutige Stand unseres Wissens vom Humus und neue Wege zur Lösung des Rohhumusproblems im Walde

Von Prof. Dr. W. Wittich. 2. Auflage. IV und 106 Seiten mit 4 Abb. und 23 Tab. Kart. DM 9,80.

Bedeutung einer leistungsfähigen Regenwurmfauuna unter Nadelwald für Streuzersetzung, Humusbildung und allgemeine Bodendynamik. - Grundlagen der forstlichen Standortskartierung und Grundzüge ihrer Durchführung

Von Prof. Dr. W. Wittich. 96 Seiten mit 2 Abb. und 10 Tab. Kart. DM 15,40.

Die mineralische Eigenart der Böden des nordwestdeutschen Tieflandes mit ihren langzeitlichen Veränderungen und ihre Bedeutung für den Wald

Von Prof. Dr. W. Wittich. 94 Seiten mit 13 Tab. Kart. DM 32,-.

Die Buchen- und Fichtenbestände der Probestandflächen des Sollingprojektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Von Dr. G. Seibt. 109 Seiten mit 24 Abb. Kart. DM 18,90.

ERTRAGSKUNDE

Untersuchungen über die Jugendentwicklung von Douglasienprovenienzen in Hessen

Von Dr. M. Jestaedt. 105 Seiten mit 31 Abb. und 35 Tab. Kart. DM 31,20.

Über Höhenwuchsleistung und Wachstums optimum der Schwarzerle auf vergleichbaren Standorten in Nord-, Mittel- und Südeuropa
Von Prof. Dr. V. Glavac. 64 Seiten mit 27 Abb. und 17 Tab. Kart. DM 15,-.

Beiträge zur Beurteilung der Jugendentwicklung von Fichtenprovenienzen

Von Dr. E. J. Gärtner. 114 Seiten mit 28 Abb. und 46 Tab. Kart. DM 36,60.

Beitrag zur Ästung und Naturverjüngung der Douglasie

Von Oberforstmeister E. Eckstein. 45 Seiten mit 6 Fotos, 12 graph. Darst. und 8 Tab. Kart. DM 14,20.

Nadelanalytische Untersuchungen an Fichte (*Picea abies*) nach Grünästung und Düngung

Von Dr. J. B. Reemtsma. 100 Seiten mit 29 Abb. und 6 Tab. Kart. DM 9,-.

Inventur und Wachstum in erkrankten Fichtenbeständen

Von Prof. Dr. H. Kramer, Dr. S. Athari, Prof. Dr. A. Akça und Dr. P. H. Dong. 114 Seiten mit 52 Abb. und 14 Tab. Kart. DM 19,80.

Individuelles Wachstum von Waldbäumen in Abhängigkeit von natürlichen und anthropogenen Einflüssen

Von Prof. Dr. H. Kramer und Prof. Dr. Chr. Kätsch. 152 Seiten mit 55 Abb. und 30 Tab. Kart. DM 32,-.

Wachstum und Behandlung der Douglasie im pazifischen Nordwesten von Amerika

Von Prof. Dr. H. Kramer. 114 Seiten mit 18 Abb., 22 Tab. und 4 Tafeln. Kart. DM 16,50.

Biologische, technische und wirtschaftliche Aspekte der Jungbestandspflege

Von Prof. Dr. H. Kramer. 347 Seiten mit 93 Abb. und 50 Tab. Kart. DM 34,20.

Beiträge zur Bestandesbegründung der Fichte

Von Prof. Dr. H. Kramer und Forstrat Dr. H. Spellmann. 103 Seiten mit 18 Abb. und 19 Tab. Kart. DM 10,80.

Biologische Aspekte zur Jungbestandspflege der Fichte

Von Prof. Dr. H. Kramer und N. Bjerg. 121 Seiten mit 16 Abb. und 27 Tab. Kart. DM 8,80.

Der Einfluß von Großklima und Standort auf die Entwicklung von Waldbeständen

Von Prof. Dr. H. Kramer. 140 Seiten mit 64 Abb. und 10 Tab. Kart. DM 20,20.

Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung

Neubearbeitet von Prof. Dr. R. Schober. 166 Seiten, hiervon 138 Seiten Tab. und 23 Abb. PVC-Einband. DM 36,50.

Ergebnisse des I. Internationalen Japanlärchen-Provenienzversuches

Von Prof. Dr. R. Schober und H. M. Rau. 168 Seiten mit 59 Abb. und 30 Tab. Kart. DM 38,-.

Die Sitka-Fichte

Eine biologisch-ertragskundliche Untersuchung
Von Prof. Dr. R. Schober. 242 Seiten mit 80 Abb. und 47 Tab. Leinen DM 31,-; Kart. DM 27,30.

- Neue Ergebnisse des II. Internationalen Lärchenprovenienzversuches von 1958/59 nach Aufnahmen von Teilversuchen in 11 europäischen Ländern und den USA
Von Prof. Dr. R. Schober. 164 Seiten mit 45 Abb. und 24 Tab. Kart. DM 27,-.
- Vom II. Internationalen Lärchen-Provenienzversuch 1958/59
Von Prof. Dr. R. Schober. 358 Seiten mit 68 Abb. und 35 Tab. Kart. DM 49,-.
- Der Gahrenberger Lärchen-Provenienzversuch
Von Prof. Dr. R. Schober und Landforstmeister Dr. H.-J. Fröhlich. 206 Seiten mit 77 Abb. und 38 Tab. Kart. DM 39,80.
- Die Rotbuche 1971
Von Prof. Dr. R. Schober. 443 Seiten mit 110 Abb. und Fotos, 156 Tab. Kart. DM 85,60; Leinen DM 92,-.
- FORSTGENETIK, FORSTPFLANZEN-ZÜCHTUNG, FORSTLICHE BIOMETRIE UND INFORMATIK**
- Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.)
Von Dr. G. Müller-Starck. 163 Seiten mit 19 Abb. und 39 Tab. Kart. DM 36,-.
- Beiträge zur In-vitro-Vermehrung und Wurzelentwicklung von Stiel- und Traubeneiche sowie zur Erhaltung forstlicher Genressourcen
Von Dr. A. Meier-Dinkel, G. Schüte, K. Tae Su und Forstdirektor Dr. J. Kleinschmit. 212 Seiten mit 45 Abb. und 18 Tab. Kart. DM 26,-.
- Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft
Von Prof. Dr. H. H. Hattemer, Dr. F. Bergmann und Dr. M. Ziehe. 492 Seiten mit 117 Abb. und 100 Tab. Kart. DM 49,80.
- Aufgabensammlung zur Forstgenetik
Von Dr. M. Ziehe, Prof. Dr. H. H. Hattemer, Dr. F. Bergmann und Dr. S. Herzog. 35 Seiten mit 13 Abb. und 25 Tab. Kart. DM 3,50.
- Genetic Variation in European Populations of Forest Trees
Von Dr. G. Müller-Starck und Dr. M. Ziehe. 286 Seiten mit 55 Abb. und 50 Tab. Kart. DM 48,80.
- Erhaltung forstlicher Genressourcen
Von Prof. Dr. H. H. Hattemer (Hrsg.). 180 Seiten mit 33 Abb. und 47 Tab. Kart. DM 22,50.
- Mathematical Modelling of Forest Ecosystems
Von Dr. J. Franke und Dr. A. Roeder. 174 Seiten mit 46 Abb. und 6 Tab. Kart. DM 28,-.
- Modelle zu automatisierten Zuwachsmess- und Auswerttechniken, klimaorientierte Wachstumsmodelle, Inventurmethode und ihre Anwendungen
Von Prof. Dr. B. Sloboda. 372 Seiten mit 158 Abb. und 32 Tab. Kart. DM 45,-.
- Forstpflanzenzüchtung
Von Landforstmeister Dr. H. Weisgerber. 104 Seiten mit 52 Abb. und 10 Tab. Kart. DM 33,80.
- Plusbäume und Samenplantagen
Von Prof. Dr. K. Stern. 116 Seiten mit 14 Abb. und 13 Tab. Kart. DM 15,-.
- Schätzung von Varianzen und Konfidenzintervallen aus mehrstufigen Stichproben am Beispiel von Luftbildwaldschadensinventuren
Von Dr. J. Saborowski. 135 Seiten mit 9 Abb. und 16 Tab. Kart. DM 27,-.
- FORSTSCHUTZ**
- Arthropoden an Jungbuchen (*Fagus sylvatica* L.) in Naturverjüngungen und Voranbauten des Erzgebirges und des Harzes
Von M. Biernath, M. Messing, V. Pohris und Prof. Dr. J. Lunderstädt. 135 Seiten mit 32 Abb. und 14 Tab. Kart. DM 31,-.
- Pilzbedingte Blattkrankheiten an Ahorn unter besonderer Berücksichtigung des Bergahorns (*Acer pseudoplatanus* L.)
Von A. Wulf. 115 Seiten mit 91 Abb. und 5 Tab. Kart. DM 28,-.
- Zur Kausalanalyse der Disposition von Nadelbäumen für den Befall durch nadelfressende Insekten am Beispiel *Picea abies* (L.) Karst. und *Gilpinia hercyniae* Htg. (Hym., Diprionidae)
Von Dr. R. Schopf. 185 Seiten mit 47 Abb. und 12 Tab. Kart. DM 29,10.
- Mechanisch-biologischer Schälenschutz an Fichte. Auswirkungen auf Holz und Rinde
Von Dipl.-Forstwirt Ch. Koltzenburg. 120 Seiten mit 42 Abb. und 16 Tab. Kart. DM 18,-.
- Eignung von Weiden und Pappeln zum Anbau als Verbißgehölz
Von Dr. H. Siebert. 100 Seiten mit 23 Abb. und 40 Tab. Kart. DM 20,80.
- Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit der Fichte (*Picea abies* Karst.) gegenüber dem Wurzelschwamm *Fomes annosus* (Fr.) Cooke
Von Dr. L. Dimitri. 126 Seiten mit 31 Abb. und 14 Tab. Kart. DM 14,70.
- Pathogenese der Borkenkäfer-Epidemie 1946-1950 in Nordwestdeutschland
Von Prof. Dr. F. Schwerdtfeger. 135 Seiten mit 49 Abb. und mehreren Tab. Kart. DM 12,-.
- Grundzüge der Populationsdynamik des großen Fichtenborkenkäfers
Von Dr. W. Thalenhorst. 126 Seiten mit 13 Abb. und zahlreichen Tab. Kart. DM 14,30.
- Untersuchungen über die Rotfäule der Fichte
Von Prof. Dr. H. Zycha und Dr. F. Kató. 120 Seiten mit 38 Abb. und 24 Tab. Kart. DM 28,40.
- FORSTL. BETRIEBSWIRTSCHAFT UND FORSTEINRICHTUNG**
- Privatisierung staatlicher Forstbetriebe
Von Dr. J. Borchers. 268 Seiten mit 14 Abb. und 2 Tab. Kart. DM 32,80.
- Der Erholungswert des Waldes
Von Dr. P. Elsasser. 246 Seiten mit 30 Abb. und 47 Tab. Kart. DM 32,80.
- Bestimmungsgründe des Außenhandels mit Stammholz: Ein Modell und dessen empirische Überprüfung am Beispiel des Nadelstammholzmarktes der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1970-1989
Von Dr. D. A. Herberg. 120 Seiten mit 37 Abb. Kart. DM 25,80.
- Monetäre Bewertung der Fernerholung im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide
Von V. Luttmann und H. Schröder. 110 Seiten mit 11 Abb. und 12 Tab. Kart. DM 24,90.
- Über ökonomische Kalküle für forstliche Nutzungsentscheidungen
Von Prof. Dr. B. Möhring. 217 Seiten mit 33 Abb. und 16 Tab. Kart. DM 29,80.
- Die Reisekostenmethode und die Bedingte Bewertungsmethode als Instrumente zur monetären Bewertung der Erholungsfunktion des Waldes - Ein ökonomischer und ökonomischer Vergleich
Von Dipl.-Volkswirt W. Löwenstein. 206 Seiten mit 10 Abb. und 10 Tab. Kart. DM 29,80.
- Ein Modellansatz zur Erhaltung des Erfolgskapitals in Forstbetrieben
Von D.-G. Wohler. 147 Seiten mit 14 Abb. und 12 Tab. Kart. DM 26,80.
- Entwicklung eines Expertensystems zur zielbezogenen Auswahl forstlicher Arbeitsverfahren
Von Dr. J. Erler. 142 Seiten mit 22 Abb. und 18 Tab. Kart. DM 33,-.
- Der bundesdeutsche Industrieholzmarkt von 1965 bis 1987
Von Dr. U. P. M. Steinmeyer. 284 Seiten mit 66 Abb. und 48 Tab. Kart. DM 32,80.
- Vertragsnaturschutz in der Forstwirtschaft
Von Prof. Dr. M. Moog und Prof. Dr. H. D. Brabänder. 212 Seiten mit 4 Abb. Kart. DM 29,80.
- Studien zur monetären Bewertung von externen Effekten der Forst- und Holzwirtschaft
Von Prof. Dr. V. Bergen, Dipl.-Volkswirt W. Löwenstein und G. Pfister. 185 Seiten mit 32 Abb. und 20 Tab. Kart. DM 29,80.
- Monetäre Bewertung landeskultureller Leistungen der Forstwirtschaft
Von Prof. Dr. V. Bergen, Prof. Dr. H. D. Brabänder, Dr. A. W. Bitter und Dipl.-Volkswirt W. Löwenstein. 304 Seiten mit 58 Abb. und 29 Tab. Kart. DM 32,80.
- Zum Angebotsverhalten von Forstbetrieben
Von Prof. Dr. M. Moog. 298 Seiten mit 74 Abb. und 57 Tab. Kart. DM 48,-.
- Die Bedeutung der Eigenarbeit im Privatwald Niedersachsens
Von Prof. Dr. H. D. Brabänder, Dr. J.-G. Küppers und Forstmeister Dr. R. Mascher. 127 Seiten mit 1 Abb. und 23 Tab. Kart. DM 15,90.
- Ausgewählte Beiträge zur Forstlichen Betriebswirtschaftslehre
Von Prof. Dr. H. D. Brabänder. 466 Seiten mit 44 Abb. DM 39,80.
- Der Eigenverbrauch an Brennholz im Kleinprivatwald Niedersachsens
Von Forstmeister Dr. R. Mascher und Prof. Dr. H. D. Brabänder. 111 Seiten mit 32 Übersichten und 7 Tab. Kart. DM 12,90.
- Untersuchungen über Randschäden
Von Prof. Dr. G. Baader. 82 Seiten mit 33 Übersichten, 7 graph. Darst. und 10 Abb. Kart. DM 8,80.
- Forsteinrichtung als betriebswirtschaftliche Planung und Kontrolle
Von Oberlandforstmeister A. Henne. 80 Seiten mit 7 Abb., 17 Tab. und einem 12teiligen Beilagen-Anhang. Kart. DM 28,20.
- Forstliche Bewertungen und Planungen
Von Prof. Dr. F. Kató. 87 Seiten mit 10 Abb., 5 Tab. und 20 Übers. Kart. DM 28,90.
- Zieldurchmesserabhängige Bewertung der Hiebsunreife
Von Prof. Dr. F. Kató. 93 Seiten mit 22 Abb. Kart. DM 26,-.
- Statische und klassische dynamische Verfahren der forstlichen Investitionsrechnung - Inhalt, Probleme, Kritik und Folgerungen -
Von Prof. Dr. F. Kató. 99 Seiten mit 8 Abb. und 9 Tab. Kart. DM 15,-.
- Struktur und Einkommensbeitrag des Bauernwaldes in Westfalen-Lippe
Von Prof. Dr. F. Kató und Dr. H. D. Brabänder. 160 Seiten mit 12 Abb. und 39 Tab. Kart. DM 12,80.
- Über die soziologische und qualitative Zusammensetzung gleichaltriger Buchenbestände
Von Dr. F. Kató und Prof. Dr. D. Müller. 122 Seiten mit 8 Abb. und 29 Tab. Kart. DM 9,80.
- Nur Individuenauswahl oder auch Gruppenauswahl?
Von Prof. Dr. D. Müller. 53 Seiten mit 11 Abb. und 5 Tab. Kart. DM 16,-.
- Begründung der qualitativen Gruppendurchforstung
Von Doz. Dr. F. Kató. 146 Seiten mit 20 Abb. und 15 Tab. Kart. DM 18,-; Stud.-Preis 15,-.
- Forstliche Vermögens- und Erfolgsrechnung
Von Prof. Dr. H. Lemmel. 2. Auflage. 74 Seiten mit zahlreichen Tab. Kart. DM 8,60.
- Die Aufstellung von Massentafeln nach der Methode der kleinsten Quadrate
Von Oberforst Dr. R. Schmitt und Dr. B. Schneider. 56 Seiten mit 1 Faltafel, 7 Abb. sowie 21 Tab. und Massentafeln. Kart. DM 8,-.
- Die rechnerischen Grundlagen der Leistungskontrolle und ihre praktische Durchführung in der Forsteinrichtung
Von Prof. Dr. G. Speidel. 118 Seiten mit 18 Abb. und 57 Tab. Kart. DM 15,40.
- Leitfaden zur Waldmeßlehre
Von Prof. Dr. H. Kramer und Prof. Dr. A. Akça. 266 Seiten mit 74 Abb. und 34 Tab. Kart. DM 37,-.
- Nutzungsplanung in der Forsteinrichtung
Von Prof. Dr. H. Kramer. 157 Seiten mit 169 Diagrammen und 60 Tab. Kart. DM 22,-.
- Begriffe der Forsteinrichtung
Von Prof. Dr. H. Kramer. 88 Seiten mit 12 Abbildungen. Kart. DM 11,80.
- Forsteinrichtung in Hessen 1946-1966
Von Oberlandforstmeister a. D. O. Neuhaus. 69 Seiten. Kart. DM 16,20.