

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

Sonderdruck

ISSN 0002-5852

INHALTSVERZEICHNIS

AUFsätze

| | | |
|---|--|-----|
| F. Karó und D. Müller | Qualitative Gruppendurchforstung der Buche – Wertentwicklung nach 25 Jahren | 197 |
| | (Quality-selection group-thinning of beech evaluation 25 years after installment of plots) | |
| H. Pretzsch | Modellierung der Kronenkonkurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen | 203 |
| | (Modelling crown competition of spruce and beech in pure and mixed stands) | |
| H. Schaack-Kirchner, E. Hildebrand, E. Hübner und K. von Wilpert | Messung von Gaskonzentrationsprofilen in der Rhizosphäre von Waldstandorten | 213 |
| | (The measurement of soil gas concentration profiles in the rhizosphere of forest sites) | |
| H. Spielmann und J. Niggel | 2. Auswertung des NE, DEI-Pflanzverbandsversuches mit Kiefer im Forstamt Walsrode | 221 |
| | (Evaluating the NE, DEI-spacing experiment with scots pine in Walsrode) | |
| BUCHBESPRECHUNGEN | | 229 |
| NOTIZ | | 232 |

163. JAHRGANG 1992 HEFT 11/12 NOV./DEZ.

J.D. SAUERLÄNDER'S VERLAG FRANKFURT AM MAIN

Modellierung der Kronenkonzurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen

Aus der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt

(Mit 10 Abbildungen)

Von H. PRETZSCH

(Angenommen Juni 1992)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Kronen-Wuchsdynamik; Fichte; Buche; Konkurrenz;
Einzelbaum-Wachstumssimulation; Mischbestand.*

*Crown growth dynamic; spruce; beech; competition;
single-tree growth simulation; mixed stand.*

1. KRONENKARTEN ALS WALDWACHSTUMS- KUNDLICHE FORSCHUNGSGRUNDLAGE

Waren die Aufnahmen der langfristigen ertragskundlichen Beobachtungsflächen früher primär auf bestandesbezogene Aussagewerte ausgerichtet, so werden sie seit den fünfziger Jahren vermehrt durch Stammverteilungspläne, Kronenradienmessungen und charakteristische Kronenkennwerte von Einzelbäumen untermauert. Die solcherart erweiterten Versuchsaufnahmen wurden eingeführt, um unser Wissen über die Reaktionskinetik von Einzelbäumen in Abhängigkeit von Standort, Wuchskonstellation und Nachbar-

schaftsspektrum zu vertiefen (FRANZ, 1983). Heute liegen uns für eine zunehmende Anzahl von Versuchsflächen Stammverteilungspläne und wiederholte Kronenerhebungen vor, die zwar das Ergebnis äußerst aufwendiger Meßarbeiten sind, in ihrem Informationsgehalt über das Wuchsverhalten von Einzelbäumen aber bisher nicht annähernd ausgeschöpft wurden.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Kronenkarte der Fichten-Buchen-Mischbestandsversuchsfläche ZWIESEL 111/1 zum Zeitpunkt der Flächenanlage im Herbst 1954 (a) und im Jahr 1982 nach der Durchforstung (b). Über einen 28jährigen Wachstumszeitraum dokumentieren die Karten die Vergrößerung und Formveränderung der Fichtenkronen (dunkelgrau) und Buchenkronen (hellgrau) und die Veränderung der Mehrfachüberschirmung (schwarz). Außer den Stammfußpunkten und den morphometrischen Dimensionen der verbleibenden Bäume sind auch die ausscheidenden Bestandsglieder nach Dimension, Position, Baumart und Zeitpunkt der Entnahme bekannt. So zeichnen Wiederholungsaufnahmen, wie sie von

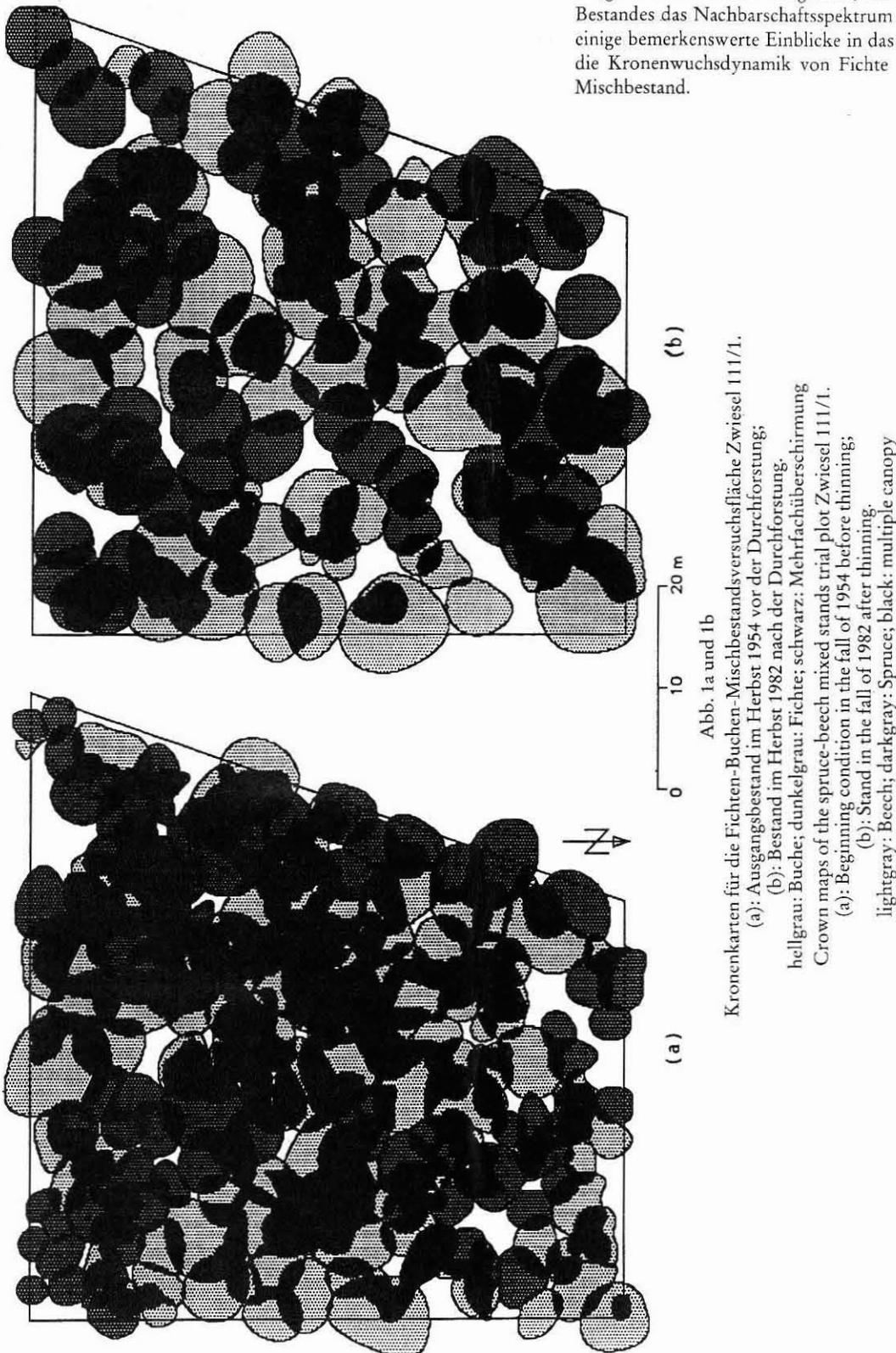
der Versuchsfläche in Zwiesel vorliegen, den Zuwachsgang von Einzelbäumen auf und erfassen außerdem Zustand und Veränderung ihrer Wuchskonstellation.

Aus dem breiten Informationsangebot über das Einzelbaumwachstum, das in wiederholten Kronenerhebungen steckt, werden im folgenden 3 Aspekte herausgegriffen:

1. Zunächst soll auf der Basis der Rein- und Mischbestandsparzellen der Versuchsfläche ZWIESEL 111, auf denen an über 600 Fich-

ten und Buchen Wiederholungsaufnahmen der Kronenradien und Kronenansatzhöhe durchgeführt wurden, eine Vorstellung von der Größenordnung der stammaufwärts gerichteten Verschiebung der Kronenansatzhöhe und den Kronenradienzuwächsen vermittelt werden. Dabei handelt es sich um Veränderungsgrößen, die bisher kaum gemessen wurden, die aber z. B. für Standraumüberlegungen oder die modellhafte Nachbildung der Einzelbaumentwicklung von zentraler Bedeutung sind (PETRI, 1966).

2. Außerdem wird anhand der Versuchsfläche ZWIESEL 111 das Programm ABSTAND vorgestellt, das für alle Einzelbäume eines Bestandes das Nachbarschaftsspektrum erfaßt. Dabei ergeben sich einige bemerkenswerte Einblicke in das Konkurrenzverhalten und die Kronenwuchsdynamik von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand.



3. Aufbauend auf den Konkurrenzparametern, die das Programm ABSTAND aus den Daten der Versuchsfläche erschließt, wird ein Algorithmus zur modellhaften Nachbildung der Kronendynamik in Fichten-Buchen-Mischbeständen entwickelt.

Die Studie bildet einen weiteren Mosaikstein für die modellhafte Abbildung der Einzelbaumentwicklung in Rein- und Mischbeständen. Die Programm-Routine ABSTAND und der darauf aufbauende Algorithmus zur Modellierung der Kronenformentwicklung sind so konzipiert, daß sie in den am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde entwickelten Mischbestandssimulator SILVA 1 (PRETZSCH, 1992) eingebunden werden können.

Die vorliegende Untersuchung wurde am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde begonnen und an der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt fertiggestellt. In ihrem Datenmaterial stützt sie sich auf langfristige Versuchsflächen in Bayern, methodisch führt sie eine Vorstudie weiter, die Frau C. LANGE in den Jahren 1990 und 1991 im Rahmen ihrer Diplomarbeit am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde angefertigt hat (LANGE, 1991). Besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Dr. h. c. F. FRANZ, der mir durch eine großzügige Überlassung von Daten und Verfahrensgrundlagen die Fertigstellung der Arbeit in Göttingen ermöglicht hat.

2. VERSCHIEBUNG DER KRONENANSATZHÖHE UND KRONENRADIENZUWÄCHSE AUF DER FICHTEN-BUCHEN-MISCHBESTANDS-VERSUCHSFLÄCHE ZWIESEL 111

2.1. Untersuchungsbestände

Die Untersuchungsobjekte bilden Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche im Forstamt Zwiesel im Bayerischen Wald, die der Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde unter Beobachtung hält (FRANZ, 1986).

| | |
|-------------------------|--|
| Lage: | Forstamt Zwiesel, 760 m über NN, West-Exposition, Wuchsbezirk 11.3 Innerer Bayerischer Wald; |
| Mittlerer Niederschlag: | 1270 mm im Jahr, 490 mm in der Vegetationsperiode (Mai bis August); |
| Mittlere Temperatur: | 5 °C im Jahr, 13 °C in der Vegetationsperiode; |
| Boden: | zweischichtige frische, zur Verdichtung und Vergleyung neigende Podsol-Braunerde aus Fließerde über Firneisgrundschnitt. |

Versuchsanlage und Aufnahmeverfahren gehen auf ASSMANN zurück, der die Bedeutung von Kronenkarten als universale Forschungsgrundlage zur einzelbaumbezogenen Untersuchung von Mischbeständen frühzeitig erkannt hat (ASSMANN, 1953/1954) und sie auf einer ganzen Reihe von Versuchsflächen zu einem festen Bestandteil des Aufnahmeprogramms machte. Die Versuchsfläche ZWIESEL 111 umfaßt 8 Parzellen, von denen hier nur 2 Fichten-Buchen-Mischbestandsflächen (ZWI 111/1 und ZWI 111/3), ein Fichtenreinbestand (ZWI 111/5) und ein Buchenreinbestand (ZWI 111/4) betrachtet werden. Zum Zeitpunkt der Flächenanlage im Jahr 1954 war die Fichte etwa 60jährig und die Buche 80jährig. Auf dem Standort (Standorteinheit 2, 7, 2 nach dem bayerischen Dezimalsystem zur Kennzeichnung von Standorteinheiten) ist die Buche trotz ihres Altersvorsprungs der Fichte in der Wuchsleistung deutlich unterlegen. Im Mischbestand dominiert die Fichte daher im oberen Kronenraum, während die Buche die mittlere Kronenschicht besetzt. Die Bonitierung der Reinbestandsflächen ergab für die Fichte Werte, die über der Oberhöhenbonität 40 nach ASSMANN und FRANZ (1963) liegen. Die Höhenbefunde für die Buche liegen im Be-

reich der I. bis II. Ertragsklasse der Tafel von SCHÖBER (1967) für mäßige Durchforstung. Seit Versuchsbeginn wurden die Parzellen mehrfach hochdurchforstet und ihre Bestandesentwicklung durch 4 Wiederholungsaufnahmen in den Jahren 1959, 1969, 1982 und 1987 dokumentiert.

Von besonderem Aussagewert für die vorliegende Untersuchung sind die zweimaligen Messungen der Kronenradien und Kronenansatzhöhen in den fünfziger und achtziger Jahren. Die Erstaufnahme der Kronen in den fünfziger Jahren erfolgte durch freies Abloten auf ein ausgespanntes Schnurnetz mit 3 m Abstand. Zur Kontrolle diente ein Dachlot (KENNEL, 1965). Die Wiederholungsaufnahme wurde 1982 – ebenfalls durch freies Abloten – in den 8 Richtungen N, NO, O, ... bis NW nach der Tangential-Hochblick-Methode (RÖHLE, 1983) durchgeführt und über gelegentliche Kontrollmessungen mit dem Dachlot von ZEISS abgesichert. Aufgrund der Kontinuität von Meßtechnik und Meßrichtungen sind die Ablotungsergebnisse der Erst- und Wiederholungsaufnahme miteinander vergleichbar und geeignet für die Berechnung von Kronenradienzuwächsen.

2.2. Verlagerung der Kronenansatzhöhe

Nach der Vollaufnahme der Kronenansatzhöhen 1954 folgten in den Jahren 1959, 1969, 1982 und 1987 Wiederholungsmessungen der Kronenansatzhöhe an über 600 Fichten und Buchen, verteilt über alle Höhengschichten. Die Kronenansatzhöhe wurde definiert als die Stammhöhe, in der der unterste lebende Primärsatz ansetzt. Aus den Wiederholungsmessungen wurden Mittelwerte und einfache Streuungen der durchschnittlichen jährlichen, stammaufwärts gerichteten Verlagerung der Kronenansatzhöhe berechnet, die auf Abbildung 2 gesondert nach 5-m-Höhenstufen dargestellt sind. Die mittlere Geschwindigkeit der Astreinigung betrug im Wachstumszeitraum von 1954 bis 1987 bei Fichte und Buche 10 cm/Jahr bis 40 cm/Jahr, wobei der stammaufwärtsgerichtete Vorschub des Kronenansatzes bekanntlich nicht stetig, sondern schrittweise verläuft. Der Prozeß der Astreinigung vollzieht sich für Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand mit bemerkenswerten Unterschieden: Im Fichtenreinbestand beschleunigt die intraspezifische Konkurrenz vor allem in der unteren und mittleren Höhengschicht (0 cm bis 20 m) offenbar die Selbstreinigung der Schäfte, so daß die Verlagerung der Kronenansatzhöhe mit 30 cm/Jahr bis 40 cm/Jahr fast die doppelte Vorschubgeschwindigkeit wie im Fichten-Buchen-Mischbestand zeigt (Abb. 2, oben). Die Mischung mit der Buche bewirkt bei der Fichte offenbar eine längere Asterhaltung, die einerseits qualitätsmindernd wirksam werden kann, andererseits aber bessere Bekronung, größere Stabilität und höhere Wuchsleistung bedeutet. Herrschende Fichten (> 20 m) haben im Rein- und Mischbestand etwa die gleiche stammaufwärts gerichtete Vorschubgeschwindigkeit des Kronenansatzes von 20 cm/Jahr. Bei der Buche liegen die Verhältnisse entgegengesetzt (Abb. 2, unten): Bei ihr vollzieht sich die Verschiebung des Kronenansatzes v. a. im mittleren Höhenbereich des Mischbestandes deutlich schneller als im Reinbestand. Während die Fichte in einer Mischung mit der Buche längere Kronen aufrecht erhalten kann, reagiert die Buche auf die Konkurrenz durch die Fichte mit einer Verkürzung ihrer Kronen.

2.3. Kronenradienzuwächse

Abbildung 3 vermittelt eine Vorstellung von der Größenordnung der Kronenradienzuwächse und ihrer Streuung: Zwischen der Erst- und Zweitaufnahme der Kronen liegen fast 30 Jahre, ein ausreichend langer Wachstumszeitraum, um Kronenradienzuwächse ableiten zu können. Dargestellt sind die mittleren jährlichen Kronenradienzuwächse der Fichte im Rein- und Mischbestand (oben) und der Buche im Rein- und Mischbestand (unten). Eingezeichnet wurden die mittleren Radienzuwächse in 5-m-Höhengschichten und die einfache Standardabweichung.

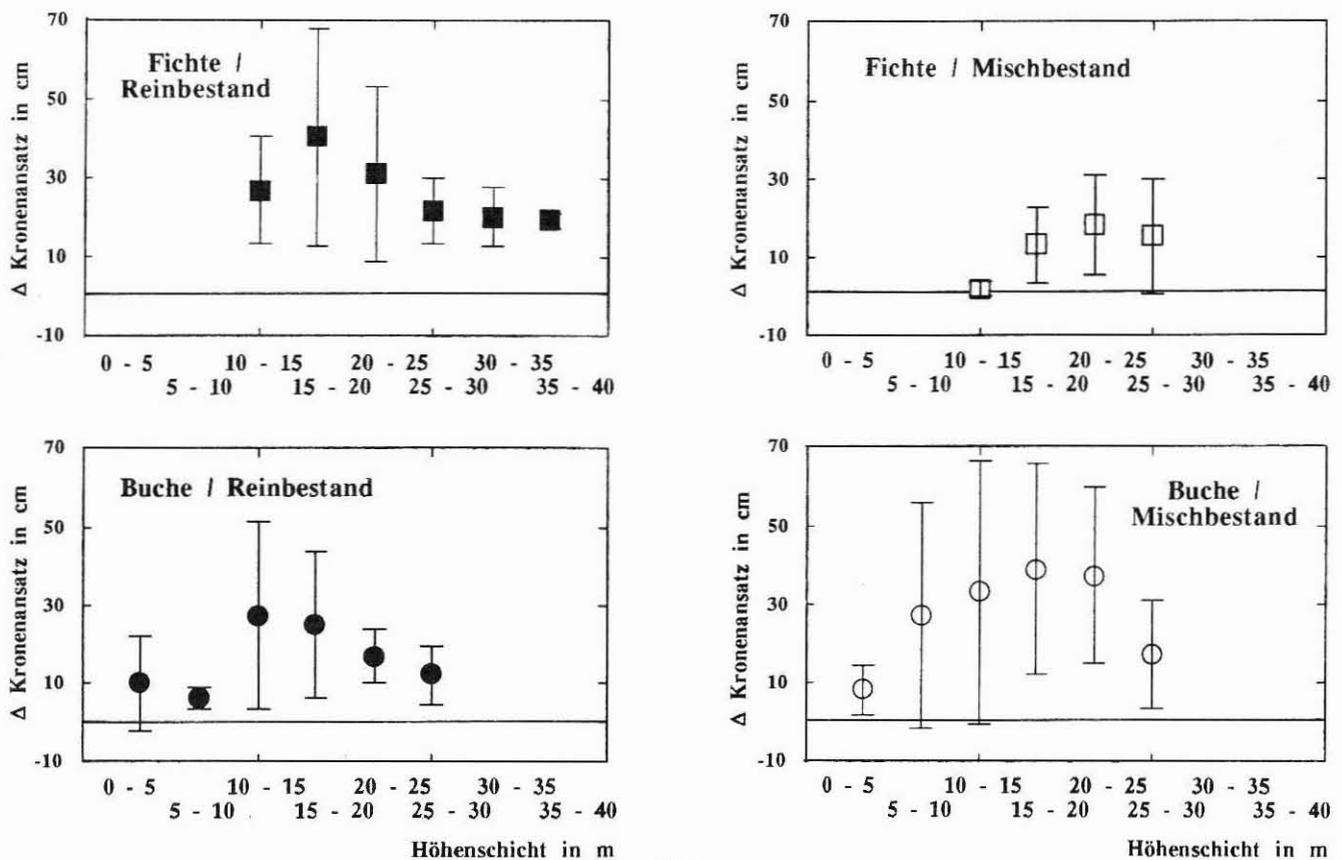


Abb. 2

Verlagerung des Kronenansatzes an Fichten und Buchen im Rein- und Mischbestand. Für Bäume verschiedener Höhenstufen sind Mittelwerte und Standardabweichungen der jährlichen stammwärts gerichteten Verlagerung des Kronenansatzes in cm/Jahr angegeben.
 (links, oben): Fichte im Reinbestand (links, unten): Buche im Reinbestand
 (rechts, oben): Fichte im Mischbestand (rechts, unten): Buche im Mischbestand

Displacement of crown begin on spruce and beech in pure and mixed stands. For trees in different height classes the average and standard deviation of the annual upward displacement of the crown begin is given in cm/year.
 (left, above): Spruce in pure stand (left, below): Beech in pure stand
 (right, above): Spruce in mixed stand (right, below): Beech in mixed stand

Bei der Fichte ist der mittlere Kronenradienzuwachs im Rein- und Mischbestand in allen Höhengstufen etwa gleich und beträgt 2,5 cm/Jahr bis 3 cm/Jahr. Der 1 σ -Bereich der Radienzuwächse reicht von 0 cm/Jahr bis 7 cm/Jahr. Auch in der Streuung gibt es keine wesentliche Unterschiede zwischen den Höhengstufen. Bei der Buche ist die Streuung der Radienzuwächse wesentlich größer. Hier liegen die mittleren Radienzuwächse zwischen 0 cm/Jahr und 5 cm/Jahr, und der 1 σ -Bereich reicht von -3 cm/Jahr bis 9 cm/Jahr; er ist breiter als bei der Fichte und erstreckt sich weiter in den negativen Bereich. Während im Buchenreinbestand die höchsten Bestandesglieder auch die größten Radienzuwächse ausbilden, wird die Kronenexpansion der Buche im oberen Kronenraum des Mischbestandes erheblich durch die dominante Fichte beeinträchtigt. Im Mischbestand reagiert die Buche auf die Konkurrenz vermehrt mit einem Kronenabbau, was durch die negativen Radienzuwächse in den oberen Höhengstufen belegt wird (Absinken unter die 0-Linie). Vorteilhaft für die im folgenden ausgeführte Modellierung des Kronenradienzuwachses und die Absicherung der Modellfunktionen ist, daß das Datenmaterial außer einem breiten Spektrum von Bäumen mit positiven Kronenradienzuwächsen auch eine ausreichende Zahl von Fichten und Buchen umfaßt, deren Krone sich in dem betrachteten Wachstumszeitraum zurückgebildet hat.

3. PROGRAMM ABSTAND

Von den Einflußfaktoren, die den Kronenradienzuwachs eines Baumes steuern, soll im folgenden die seitliche Kroneneinengung

näher untersucht werden. Maßzahlen für die seitliche Kroneneinengung von Einzelbäumen im Bestand können retrospektiv mit geringem Aufwand aus Stammverteilungsplänen und Kronenkarten abgeleitet werden. Andere für die Erklärung des Kronenradienzuwachses ebenfalls bedeutsame Faktoren, wie beispielsweise Baumalter, Beschirmung und genetische Prägung, wurden in die vorliegende Auswertung nicht einbezogen; hierfür wären umfangreiche zusätzliche Erhebungen notwendig gewesen. Zur Quantifizierung des Einflusses, den die seitliche Kroneneinengung durch Nachbarn und die Baumart dieser Nachbarn auf die Kronenentwicklung eines Baumes haben, wurde das Programm ABSTAND erstellt. Es berechnet für 8 Radialen einer Baumkrone (1 = Nord, 2 = Nordost, 3 = Ost, ... bis 8 = Nordwest) den Abstand zu benachbarten Kronen (Abb. 4). Diese Operation erfolgt nicht auf der Basis der Kronenkarte, sondern auf der Grundlage eines räumlichen Bestandesmodells in folgenden Schritten:

1. Auf der Grundlage der Stammfußkoordinaten und Kronenradien in den 8 Oktanten, der Baumhöhe und Kronenansatzhöhe und bei Zugrundelegung von Kronenformmodellen wird ein räumliches Abbild der Bestandesstruktur erzeugt. In einem konstruierten Beispiel sind auf Abbildung 4 ein auf seine seitliche Kroneneinengung zu beurteilender Baum A und seine Nachbarn (Bäume B, C und D) dreidimensional nachgebildet. Anders als in den bisher verwendeten Modellansätzen (PRETZSCH, 1992) werden die Kronenquerschnittsflächen hierbei nicht mehr als Kreisscheiben mit dem mittleren Kronenradius aus den 8 Kronenradienwerten und die Kronenformen

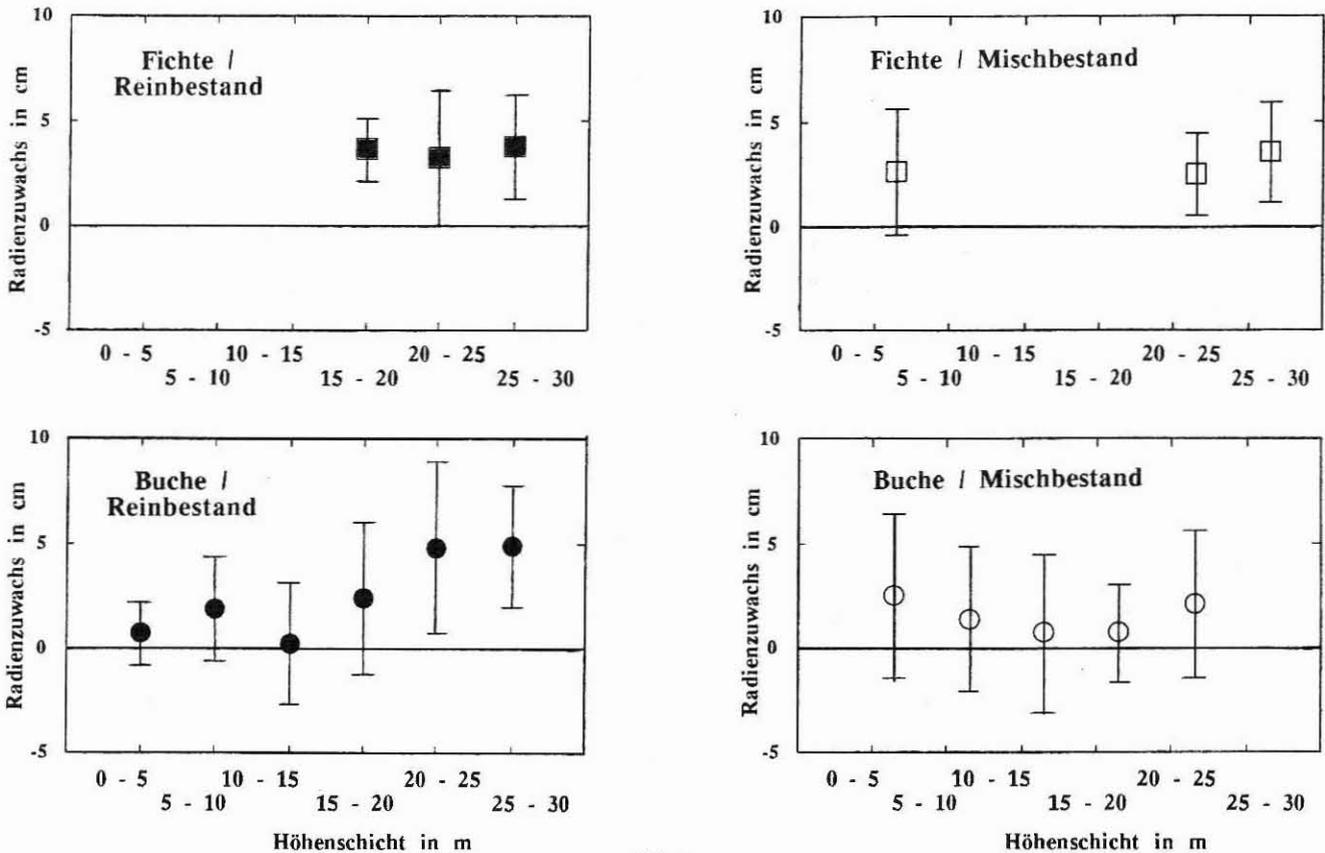


Abb. 3

Mittelwerte und Standardabweichungen der jährlichen Kronenradienzuwächse (in cm/Jahr) von Fichten und Buchen in unterschiedlichen Höhengschichten.

(links, oben): Fichte im Reinbestand (links, unten): Buche im Reinbestand
 (rechts, oben): Fichte im Mischbestand (rechts, unten): Buche im Mischbestand

Average and standard deviation of the annual crown radial growth (cm/year) of spruce and beech in different heights.

(left, above): Spruce in pure stand (left, below): Beech in pure stand
 (right, above): Spruce in mixed stand (right, below): Beech in mixed stand

nicht mehr als Rotationskörper modelliert. Da ja gerade die richtungsspezifischen Konkurrenzverhältnisse und die Entstehung unregelmäßiger exzentrischer Kronenquerschnittsformen Gegenstand der Untersuchung sind, bildet das Programm ABSTAND die Krone wirklichkeitsnäher ab: Die Kronengrundfläche wird über den Polygonzug beschrieben, der durch die 8 Kronenradien in Richtung N, NO, ... bis NW vorgegeben ist. Die Kronenform modelliert das Programm ABSTAND nach den bei PRETZSCH (1992, S. 112 bis 113) beschriebenen Kronenformfunktionen gesondert für jeden Oktanten der Krone. Auf der Basis dieser Kronenformfunktionen kann für die 8 Richtungen N, NO, ... bis NW die Veränderung des Kronenradius mit der Baumhöhe berechnet und für einen beliebigen Kronenbereich die Kronenquerschnittsfläche bestimmt werden, die für die Abstandsberechnung in Schritt 2 benötigt wird.

2. Das Programm ABSTAND wählt den Baum, dessen seitliche Kroneneinengung bestimmt werden soll, aus und berechnet in der Höhe seiner größten Kronenbreite einen Horizontalschnitt durch den Kronenraum. Das Kronenformmodell unterstellt, daß die größte Kronenbreite an der Grenze zwischen Licht- und Schattenkrone, bei der Fichte bei 66 % der Kronenlänge und bei der Buche bei 40 % der Kronenlänge vom Wipfel aus liegt.

3. Auf dieser Schnittebene, die auf Abbildung 5 beispielhaft für eine Buche (Baum A) und ihre Nachbarn auf der Fläche ZWIESEL 111/3 dargestellt ist, läuft in alle 8 Himmelsrichtungen ein Fahrstrahl so lange, bis er auf eine Nachbarkrone trifft. Hier wird abgespeichert, wie groß der Abstand zur Nachbarkrone ist. Außerdem hält

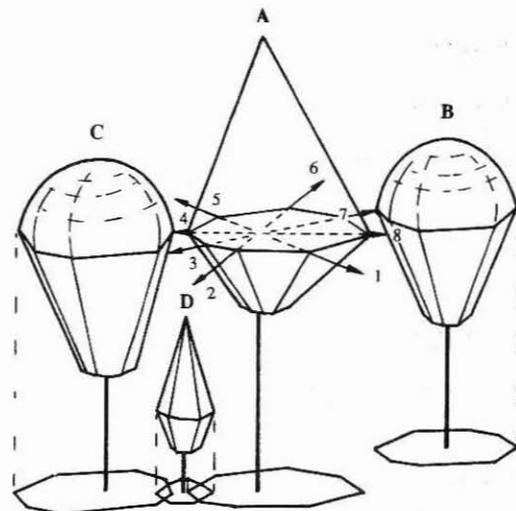


Abb. 4

Bestimmung der seitlichen Kroneneinengung von Baum A auf der Basis des räumlichen Bestandesmodells mit dem Programm ABSTAND. In den Richtungen 1 bis 8 werden die Entfernungen von der Kronenperipherie des Baumes A bis zu den benachbarten Kronen bestimmt

Determining the lateral restriction of tree A on the basis of a 3-dimensional model with the ABSTAND program. The distances from the crown perimeter of the central tree to the neighboring crowns are determined in direction 1 ... 8

das Programm fest, welche Baumart der Fahrstrahl trifft, so daß bekannt ist, auf welche Baumart die Krone des Zentralbaumes in verschiedenen Richtungen zuwächst. In den Richtungen 1, 2 und 3 wird beispielsweise eine Buche (hellgrau) von dem Fahrstrahl getroffen, in den Richtungen 4, 5 und 6 trifft der Fahrstrahl auf eine Fichte (dunkelgrau) (Abb. 5). Das Programm ABSTAND greift aus dem räumlichen Bestandesmodell sowohl die räumliche Konfiguration der Umgebung einzelner Bestandesglieder als auch ihre Zusammensetzung nach Baumarten ab.

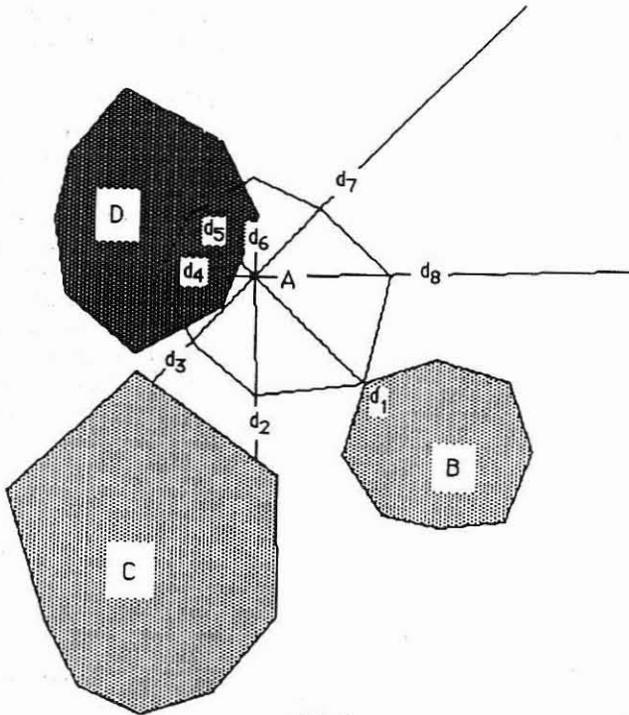


Abb. 5

Das Programm ABSTAND berechnet für die Richtungen 1 bis 8 die sphärischen Abstände zu den Nachbarn ($d_1 \dots d_8$).

A bis D: Zentralbaum und Nachbarn;

$d_1 \dots d_8$: richtungsspezifischer Abstand zwischen der Krone des Zentralbaumes und den benachbarten Kronen in Höhe der Schnittebene

The program ABSTAND calculates for the directions 1 to 8 the distances to the neighbors ($d_1 \dots d_8$).

A to D: central tree and neighbors;

$d_1 \dots d_8$: distances between the central tree crown and the neighboring crowns in each specific direction

Für Richtungen, in denen sich die Kronen gerade berühren, ergibt sich ein Abstand von 0 (Abb. 5: Bäume A und B), bei Richtungen, in denen das Kronendach aufgelockert ist, ergeben sich mittlere Abstandswerte (Bäume A und C), und wenn die Kronen ineinander gewachsen sind, erbringt die Abfrage negative Abstandswerte (Bäume A und D). Wurde der Baum einseitig freigestellt, so können die Abstandswerte in dieser Richtung mehrere Meter betragen (Abb. 5: d_7 und d_8). Der räumliche Ansatz bei der Abstandsberechnung kommt vor allem in stärker höhenstrukturierten Beständen zum Tragen: Eine Abstandsberechnung auf der Grundlage der Kronenkarten würde hier häufig Kronenberührungen und Konkurrenzsituationen diagnostizieren, die in Wirklichkeit nicht bestehen. In der konstruierten Biogruppe auf Abbildung 4 erbrachte die Beurteilung der Wuchskonstellation auf der Basis der Kronenkarten beispielsweise eine erhebliche Überlappung der Bäume A und D. Das räumliche Bestandesmodell zeigt hingegen, daß Baum D von Baum A zwar beschattet, aber nicht seitlich eingegrenzt wird.

4. MODELLANSATZ ZUR ABBILDUNG DER KRONENRADIENZUWÄCHSE IN ABHÄNGIGKEIT VOM SEITENDRUCK

Mit dem Programm ABSTAND wurden für alle Bäume auf den Rein- und Mischbestandsflächen ZWIESEL 111/1, 111/4 und 111/5 ihre 8 richtungsspezifischen Abstände zu den Nachbarkronen berechnet, so daß für jede Himmelsrichtung der Variablensatz Anfangsradius, Radienzuwachs, Kronenabstand zum Nachbarn und Baumart des getroffenen Nachbarn vorliegt.

Aufbauend auf den Abstandswerten zu den Nachbarn und den Kronenradienzuwächsen wurden Funktionen für den Zusammenhang zwischen Kronenabstand und Kronenradienzuwachs formuliert (Abb. 6). Sie geben für Fichte und Buche den Kronenradienzuwachs in Abhängigkeit von ihrem Kronenabstand zum Nachbarn an. Ein relativer Radienzuwachs von 1 bedeutet, daß der Baum den Radienzuwachs ausbildet, der ohne seitliche Kroneneinengung zu erwarten wäre (mittlerer potentieller Kronenradienzuwachs). Aus den Kurven auf Abbildung 6 läßt sich ablesen, wie der Kronenradienzuwachs bei zunehmender Verzahnung mit Nachbarkronen abnimmt, und ab welchem Kronenabstand ein Kronenabbau einsetzt (Unterschreitung der gestrichelt eingezeichneten 0-Linie). Da das Programm ABSTAND nicht nur die Entfernung zur Nachbarkrone, sondern auch die Baumart festhält, können mit den vom Programm errechneten Aussagewerten gesonderte Funktionen für folgende Nachbarschaftssituationen aufgestellt werden: Eine Reduktionsfunktion für das Kronenwachstum der Fichte, wenn sie auf eine Fichte zuwächst (Abb. 6, links: $Fi \rightarrow Fi$), eine Funktion für das Wuchsverhalten der Fichte, wenn sie auf eine Buche zuwächst (Abb. 6, links: $Fi \rightarrow Bu$). Hinzu kommen die entsprechenden Funktionen für die Buche: Eine Buche wächst auf eine Buche zu (Abb. 6, rechts: $Bu \rightarrow Bu$), eine Buche wächst auf eine Fichte zu (Abb. 6, rechts: $Bu \rightarrow Fi$).

Diese Funktionen beschreiben ein interessantes Konkurrenzverhalten: Wächst eine Fichtenkrone auf eine Fichte zu, also bei einer intraspezifischen Kronenkonkurrenz, nimmt der Radienzuwachs ab einer Überlappung von 1 m fast linear ab. Wächst eine Fichtenkrone auf eine Buche zu, d. h. bei einer interspezifischen Konkurrenz, sinkt der Kronenradienzuwachs erst wesentlich später ab. Mit benachbarten Buchen verzahnt sich eine Fichtenkrone also enger als mit benachbarten Fichten. Ebenso verzahnen sich Buchenkronen, die auf Fichten zuwachsen, wesentlich enger mit ihren Nachbarn als Buchenkronen im Reinbestand. Der Toleranzabstand, mit dem eine Rückbildung der Krone einsetzt, ist bei Fichte und Buche im Reinbestand deutlich höher als im Mischbestand. Dieser Befund bestätigt die Ergebnisse von KENNEL (1965), wonach Fichte und Buche auf dem Standort in Zwiesel in Mischung vor allem deshalb mehr leisten als im Reinbestand, weil sie den verfügbaren Wuchsraum effizienter nutzen können. Bei Fichte und Buche setzt eine merkliche Reduktion des potentiellen Kronenradienzuwachses (Reduktion $> 5\%$) erst bei Kronenverzahnungen von 1 m bis 2 m ein und eine Rückbildung der Krone erst ab Kronenüberlappungen von 1,2 m bis 2,7 m. Damit unterscheiden sich Fichte und Buche in ihrer Kronenwachsdynamik beispielsweise ganz erheblich von der Lichtbaumart Lärche, bei der SCHÖNBÄCHLER (1982) (zitiert nach SCHÜTZ, 1989) schon eine deutliche Längenzuwachsreduktion der Seitenäste beschreibt, wenn der Abstand der Äste zum Nachbarn 40 cm unterschreitet.

Der mittlere potentielle Radienzuwachs, der in den Reduktionsfunktionen auf Abbildung 6 mit dem oberen Rahmenwert von 1 bezeichnet ist, ergab sich, indem zunächst von allen Fichten und Buchen die jährlichen Radienzuwächse (in cm/Jahr) über dem Ausgangsradius aufgetragen wurden. Nach Auswahl der Bäume aus dem Kollektiv, die ohne seitliche Kroneneinengung (Kronenabstandswerte > 1 m) ausgebildet worden waren, erhalten wir ein Teilkollektiv, welches das Kronenradienzuwachstum ohne seitliche Kronenein-

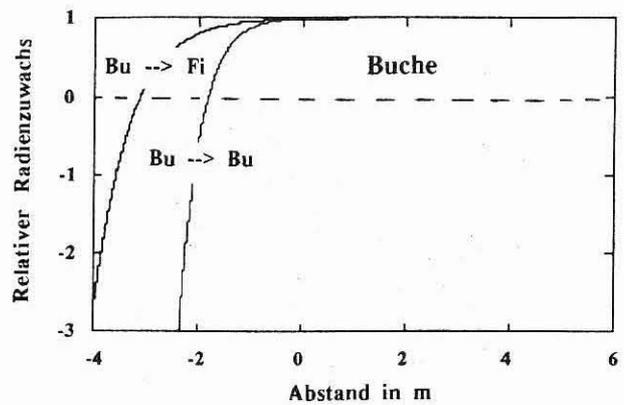
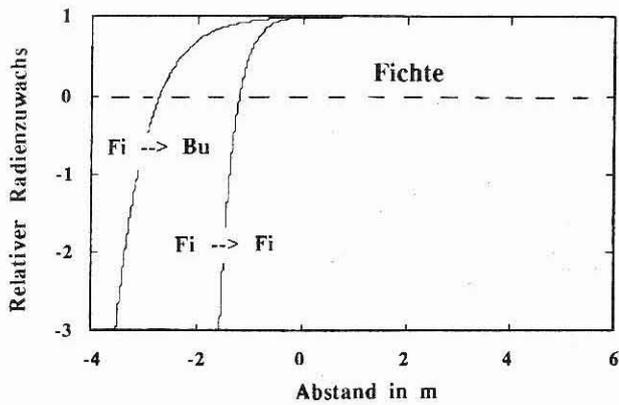


Abb. 6

Einfluß der Entfernung zur Nachbarkrone (Abstand) auf den relativen Kronenradienzuwachs (zkr rel) für Fichte (links) und Buche (rechts). Schätzfunktionen:

$$\begin{aligned} \text{zkr rel}_{\text{Fi} \rightarrow \text{Fi}} &= 1,0 - e^{-3,8376 \cdot (\text{Abstand} + 1,2)} & \text{zkr rel}_{\text{Fi} \rightarrow \text{Bu}} &= 1,0 - e^{-1,7056 \cdot (\text{Abstand} + 2,7)} \\ \text{zkr rel}_{\text{Bu} \rightarrow \text{Bu}} &= 1,0 - e^{-2,5584 \cdot (\text{Abstand} + 1,8)} & \text{zkr rel}_{\text{Bu} \rightarrow \text{Fi}} &= 1,0 - e^{-1,4855 \cdot (\text{Abstand} + 3,1)} \end{aligned}$$

(links): Radienzuwachs der Fichte in Nachbarschaft von Fichten (Fi → Fi) und in Nachbarschaft von Buchen (Fi → Bu);
(rechts): Radienzuwachs der Buche in Nachbarschaft von Buchen (Bu → Bu) und in Nachbarschaft von Fichten (Bu → Fi)

Influence of the distance to neighboring crowns on the crown radial growth for spruce (left) and beech (right).

(left): Crown radial growth of spruce to spruce (Fi → Fi) and spruce to beech (Fi → Bu);
(right): Crown radial growth of beech to beech (Bu → Bu) and beech to spruce (Bu → Fi)

engung repräsentiert. Für dieses Teilkollektiv wurde der Zusammenhang zwischen Ausgangsradius (r in m) und Kronenradienzuwachs (zkr in cm/Jahr) regressionsanalytisch ausgeglichen, so daß wir schließlich für Fichte und Buche die folgenden Grundbeziehungen für die Schätzung ihres mittleren potentiellen Kronenradienzuwachses (in cm/Jahr) in Abhängigkeit vom Ausgangsradius erhalten:

$$\begin{aligned} \text{zkr}_{\text{Fi}} &= 8,66 - 0,93 \cdot r; \\ \text{zkr}_{\text{Bu}} &= 11,99 - 0,61 \cdot r. \end{aligned}$$

Mit den beiden Grundbeziehungen: mittlerer potentieller Kronenradienzuwachs = f (Ausgangsradius) und Radienzuwachs = g (Abstand zum Nachbarn) stehen Schätzfunktionen für die Vorhersage des richtungsspezifischen Kronenradienzuwachses von Fichten- und Buchenkronen im Rein- und Mischbestand zur Verfügung. Beispielsweise ergibt sich für eine Fichtenkrone mit einem Ausgangsradius von 2 m ein mittlerer potentieller Radienzuwachs von 6,8 cm/Jahr, den die Fichte ohne Konkurrenzdruck (Abstand > 1 m) ausbilden würde. Nimmt der Konkurrenzdruck zu (Abstand < 0), so sinkt der relative Radienzuwachs deutlich ab. Wächst die Fichtenkrone auf eine benachbarte Fichte zu, so werden bei einer Kronenüberlappung von 1 m nur etwa 50 % des potentiellen Radienzuwachses, also 3,4 cm/Jahr ausgebildet. Wächst die Fichtenkrone hingegen auf eine benachbarte Buche zu, so vermag sie bei einer Überlappung von 1 m noch etwa 95 % des potentiellen Radienzuwachses, also 6,4 cm/Jahr auszubilden.

5. SIMULATION DER KRONENFORM-ENTWICKLUNG

Nachdem für Fichte und Buche der ohne seitliche Kroneneinengung zu erwartende mittlere potentielle Radienzuwachs und seine Minderung bei zunehmender Kroneneinengung bekannt sind, kann die Kronenquerschnittsentwicklung auf einer Testfläche einzelbaumweise in Abhängigkeit vom Nachbarschaftsspektrum simuliert werden (Abb. 7). In einem *ersten Schritt* wird hierbei die Kronenkarte einer Testfläche zum Ausgangszeitpunkt $t = 0$ vorgegeben. In einem *zweiten Schritt* wird ein räumliches Bestandesmodell aufgebaut, aus dem in einem *dritten Schritt* die Programm-Routine ABSTAND für jeden Baum seine richtungsspezifische Kroneneinengung abgreift. In einem *vierten Schritt* wird der Kronenradienzuwachs für die folgenden 5 Jahre in Abhängigkeit vom Ausgangs-

radius, dem Abstand zu den Nachbarn und der Baumart des Nachbarn geschätzt. Sind die Schritte 3 und 4 für alle Bestandesglieder durchlaufen, wird in *Schritt 5* der geschätzte Radienzuwachs an die Kronenperipherie angelegt und die Kronenkarte aktualisiert. Die Schritte 2 bis 5 werden so lange in 5-Jahres-Schritten durchlaufen, bis der gesamte Simulationszeitraum abgearbeitet ist. Ein Simulationslauf endet mit der Ausgabe der geschätzten Kronenradienzuwächse und der Kronenkarten für die Zeitpunkte $t = 0$, $t = 5$, $t = 10$ usw.

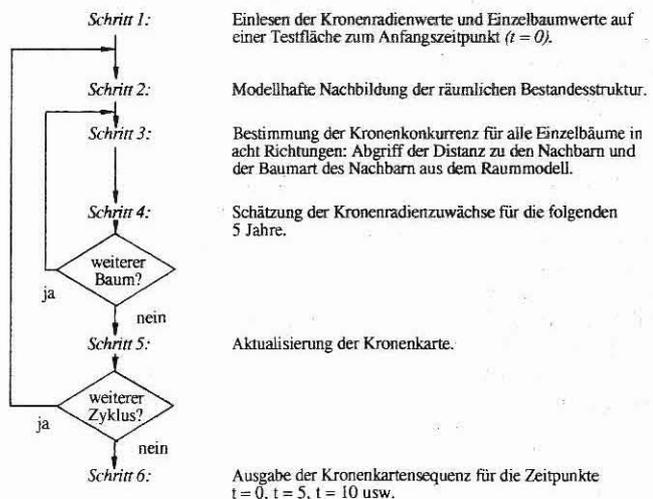


Abb. 7

Ablaufplan für die Simulation der Kronenformentwicklung
Sequence for simulating the crown form development

6. SIMULATIONS-TESTLÄUFE

Das Abbildungsverhalten des vorgestellten Modellansatzes soll anhand eines Simulations-Testlaufes demonstriert werden. Als Startsituation des Simulationslaufes ($t = 0$) wurde die Bestandesstruktur auf einem $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ großen Ausschnitt der Versuchsparzelle ZWIESEL 111/3 im Jahr 1954 ausgewählt (Abb. 8, links, oben). Zu diesem Zeitpunkt war die Fichte etwa 60jährig und die

Buche 80jährig. Die Kronenzuwachsdaten dieser Versuchsparzelle wurden von der Modellkonstruktion und der Ableitung der Schätzfunktionen ausgenommen, so daß sie sich für die Überprüfung des auf der Basis ihrer Nachbarparzellen entwickelten Modells eignet. Die Simulationsrechnung startet im Jahr 1954 und läuft nach dem auf Abbildung 7 dargestellten Wachstumsalgorithmus in 5-Jahres-Schritten über 50 Jahre. Die jeweiligen Zwischenergebnisse nach 10-Jahres-Perioden ($t = 10, t = 20, \dots$ bis $t = 50$) lassen sich als Se-

quenz von Kronenkarten darstellen (Abb. 8). Bei der Fortschreibung von Baumhöhe, Kronenansatzhöhe und Brusthöhendurchmesser stützt sich die Simulation auf die Zuwachsfunktion des Simulators SILVA 1 (PRETZSCH, 1992). Die Stammzahlentwicklung entspricht in dem durch Meßwerte abgedeckten Prognosezeitraum (1954 bis 1987) der tatsächlichen Stammzahlabnahme auf der Testfläche, in der Folgezeit wird sie vom Mortalitätsmodell des Simulators SILVA 1 gesteuert.

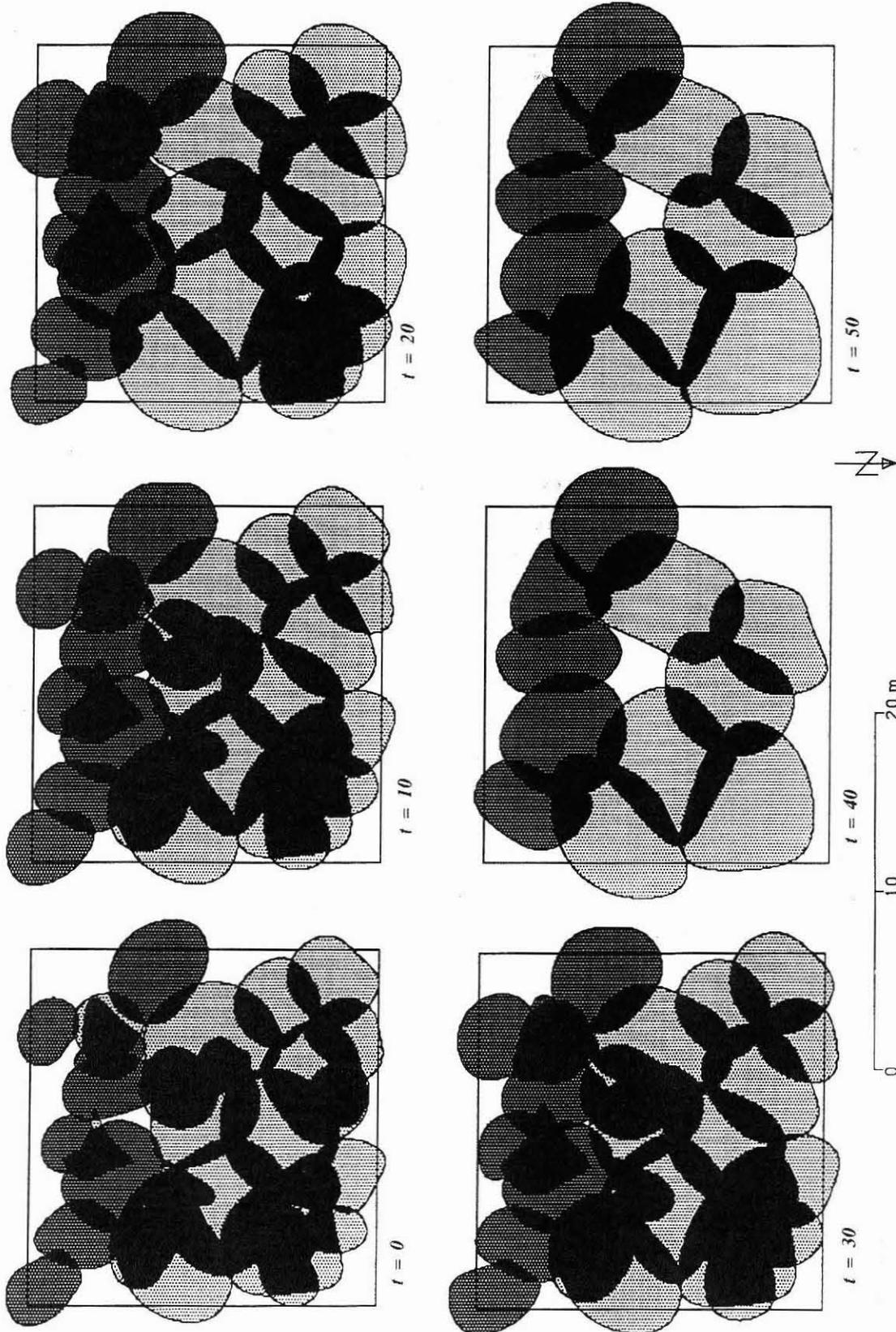


Abb. 8

Kronenquerschnittsentwicklung nach den Ergebnissen eines Simulationslaufes über 50 Jahre.
 Dargestellt ist die Kronenkarte für einen $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ großen Ausschnitt der Versuchsfläche Zwiesel 111/3 vom Zeitpunkt $t = 0$ bis zum Zeitpunkt $t = 50$.
 Crown cross-section development as a result of a simulation run over 50 years.
 Shown is the $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ section of a crown map of the experimental plot in Zwiesel 111/3 for the time span $t = 0$ to $t = 50$.

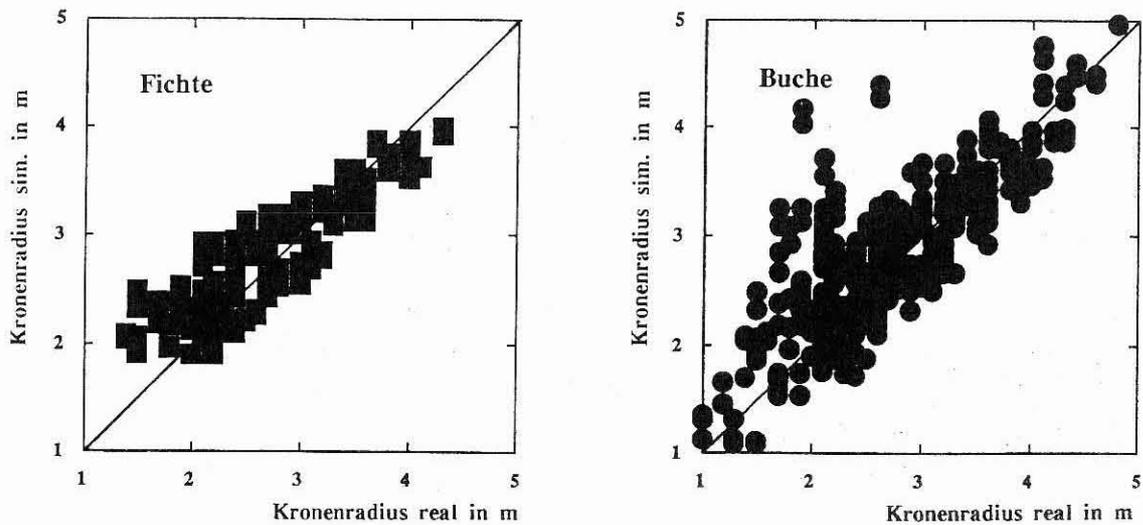


Abb. 9

Ergebnisse der Simulation und Wirklichkeit. Dargestellt sind die simulierten Kronenradien über den wirklichen Kronenradien zum Zeitpunkt $t = 28$ für Fichte (links) und Buche (rechts)

Results of the simulation and reality. Shown are the simulated crown radii over the actual radii for the time $t = 28$ for spruce (left) and beech (right)

Es wird sichtbar, in welchem Maße die Kronen in dem betrachteten Wachstumszeitraum ihre Größe verändern und wie sie auf eine zunehmende Einengung mit Bildung ovaler und exzentrischer Kronenformen reagieren (Abb. 8). Zur Darstellung der Kronenperipherie wurden die 8 Kronenradien unter Verwendung der Algorithmen von SPATH (1983) durch kubische Spline verbunden. Für das Jahr 1982, in dem eine Wiederholungsaufnahme der Kronen stattfand, sind auf Abbildung 9 aus einer Serie von Probeläufen wirkliche und simulierte Kronenradien gegeneinander aufgetragen. Bei völliger Übereinstimmung müßten die Wertepaare wirklicher/simulierter Kronenradius auf der eingezeichneten Winkelhalbierenden liegen. Ein Vergleich der simulierten und wirklichen Radien für das Jahr 1987 (Abb. 9) ergibt, daß Prognose und Wirklichkeit bei der Fichte (links) relativ gut übereinstimmen und daß die Prognosewerte bei der Buche – v. a. bei kleineren und mittleren Kronen – beträchtlich voneinander abweichen.

7. DISKUSSION UND WERTUNG DER ERGEBNISSE

Erkenntnisse über das Konkurrenzverhalten und die Wettbewerbsstrategien miteinander vergesellschafteter Baumarten sind von zentraler Bedeutung für die Erfassung, das Verständnis und die Vorhersage des Wachstums von Mischbeständen. Hier wurde einer Komponente der Konkurrenz, nämlich der baumartentypischen Reaktion der Kronen auf Seitendruck nachgegangen. Mit der Programmroutine ABSTAND lassen sich aus Versuchsflächendaten aufschlußreiche Struktur- und Konkurrenzparameter für Einzelbäume berechnen; sie erweitert unsere Programmbibliothek für die einzelbaumorientierte Versuchsflächenauswertung. Der auf dieser Routine aufbauende Algorithmus zur modellhaften Nachbildung der Kronenquerschnittsentwicklung soll einen Baustein zur Verbesserung des am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde ausgearbeiteten Mischbestandssimulators SILVA 1 (PRETZSCH, 1992) bilden. Auch in seiner bisherigen Version steuert SILVA 1 den Kronenradienzuwachs von Einzelbäumen in Abhängigkeit von ihrer seitlichen Kroneneinengung, es wurden dabei aber kreisförmige Kronenquerschnitte und ausschließlich konzentrische Kronenquerschnittsentwicklungen unterstellt. Indem der hier vorgestellte Wachstumsalgorithmus den Kronenradienzuwachs in Abhängigkeit von der richtungsspezifischen Kroneneinengung vorhersagt und auch exzentrische Kronenformentwicklungen, die in Mischbestän-

den besonders bedeutsam sind, nachbilden kann, verbessert er die Wirklichkeitsnähe des Modells SILVA 1.

Die Ergebnisse von Simulations-Testläufen ließen noch gewisse Abweichungen zwischen simulierter und wirklicher Kronenformentwicklung erkennen (Abb. 9). Diese Abweichungen können sicher weiter verkleinert werden, wenn außer dem Ausgangsradius und dem Abstand zu den Nachbarn weitere Größen zur Erklärung der Kronenradienzuwächse herangezogen werden, wie z. B. der Lichtgenuß der Krone, das Baumalter oder Angaben über den zurückliegenden Wachstumsgang des Baumes. Kronenablotungen, zumal wenn sie wie auf unseren Versuchsflächen ohne optisches Gerät erfolgen, sind bekanntlich mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet. RÖHLE (1983) kommt bei seiner Untersuchung zur Genauigkeit der Kronenradienablotung sogar zu dem Resultat, daß Ablotungsergebnisse, die durch freies Abloten gewonnen werden, aufgrund ihrer Ungenauigkeit für die Erfassung von Kronenwachstumsprozessen völlig ungeeignet sind. Vor diesem Hintergrund erscheinen Bestimmtheitsmaße von 20 % bis 40 %, wie sie sich bei der Schätzung der Kronenradienzuwächse in Abhängigkeit vom Ausgangsradius und der Entfernung zu den Nachbarn ergeben haben, noch relativ hoch. Die dargestellten Untersuchungsergebnisse stützen sich auf freie Kronenablotungen, die bei Erst- und Wiederholungsaufnahmen in denselben festen Richtungen N, NO, O, ... bis NW erfolgten (8-Radien-Methode). Aussagen über Kronenformen und ihre Veränderung bei Konkurrenz könnten durch Übergang zu genaueren Meßverfahren und durch ergänzende Aufnahmen präzisiert bzw. weiter untermauert werden. Eine Verbesserung der Meßgenauigkeit könnte sicher durch Einsatz optischer Geräte, eventuell auch durch den Übergang zu anderen Ablotungsverfahren erzielt werden. Beispielsweise wäre zu prüfen, ob sich die Qualität der Meßergebnisse verbessert, wenn die Kronenablotung gezielt in Richtung der längsten Äste erfolgt (Extremwert-Methode). Beim Überdenken der Meßmethode ist aber zu berücksichtigen, daß für die Herleitung von Kronenradienzuwächsen die Kontinuität von Ablotungsverfahren und Meßtechnik von vorrangiger Bedeutung ist. Angesichts unserer gegenwärtig unzureichenden Datenausstattung über Struktur und Zuwachsreaktion von Einzelbäumen können wir auch bei allen bekannten Schwächen auf die Nutzung älterer ungenauerer Kronendimensionserhebungen nicht verzichten. Künftige Untersuchungen könnten unsere Wissensbasis über Form und Reaktionskinetik der

Baumkrone durch Asttrieblängenmessungen an liegenden Bäumen und Kronenvermessungen auf der Grundlage von Luftbildern wirkungsvoll erweitern.

Mit der Programmroutine ABSTAND und dem darauf aufbauenden Wachstumsalgorithmus (Abb. 7) steht uns ein erstes Instrumentarium für Modellstudien zur Kronenquerschnittsentwicklung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand zur Verfügung. Es können damit Szenarien für das baumartentypische Kronenwachstum von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand bei verschiedenen Mischungsformen, Mischungsanteilen und Behandlungsvarianten berechnet werden. Abbildung 10 zeigt beispielhaft die Kronenentwicklung einer konstruierten Biogruppe nach den Ergebnissen einer Simulationsrechnung über 50 Jahre. Die Szenarien zeigen das Kronenwachstum je einer Fichte (oben) und einer Buche (unten) unter den gleichen Nachbarschaftsverhältnissen von Fichten

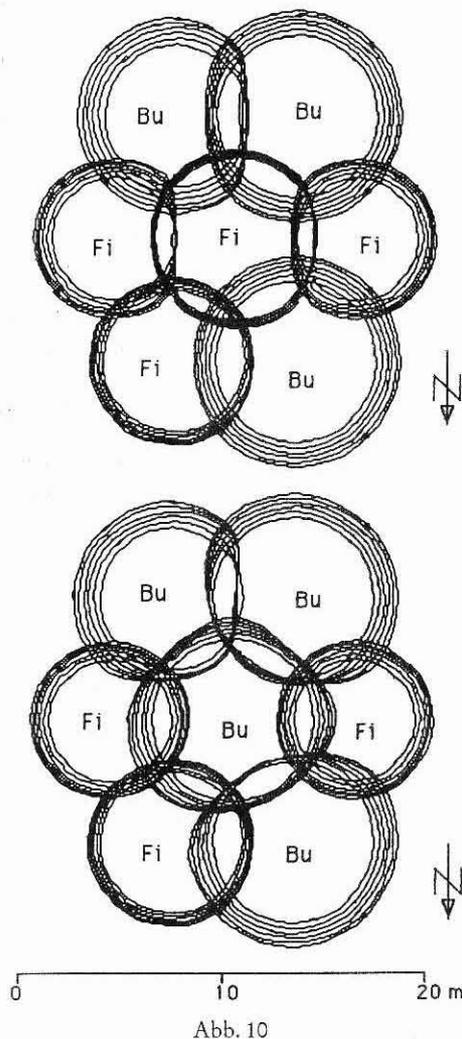


Abb. 10

Simulation der Kronenentwicklung von Fichten und Buchen im Rein- und Mischbestand über einen Zeitraum von 50 Jahren.

Kronenentwicklung über $t = 0$ bis $t = 50$.

(oben): Entwicklung einer Fichte unter dem Nachbarschaftseinfluß von Fichten und Buchen;

(unten): Entwicklung einer Buche unter dem Nachbarschaftseinfluß von Fichten und Buchen

Simulation of the crown development of spruce and beech in pure and mixed stands for a period of 50 years.

Crown development from $t = 0$ until $t = 50$.

(above): Development of a spruce under the influence of neighboring spruce and beech;

(below): Development of a beech under the influence of neighboring spruce and beech

und Buchen. In den Grafiken bezeichnet die innere der sechs konzentrischen, jahringartigen Linien die Kronenperipherie zum Ausgangszustand ($t = 0$), die weiter außen gelagerten Linien geben die simulierte Kronenperipherie zu den Zeitpunkten $t = 10$, $t = 20$, $t = 30$, $t = 40$ und $t = 50$ an. Es ist zu sehen, daß die Buche wesentlich breitere 10-jährige Jahreszuwächse aufweist als die Fichte. Während sich der Kronendurchmesser der Fichten in der Biogruppe in 50 Jahren lediglich um 1 m bis 2 m vergrößert, steigt der Kronendurchmesser der Buchen um 3 m bis 4 m, also um das doppelte der Fichte an. Die Abbildung zeigt außerdem, daß die Kronenquerschnittsfläche der Buche aufgrund ihrer bekanntermaßen höheren Kronenplastizität viel stärker von der Wuchskonstellation und der Baumartenzusammensetzung der Nachbarn und Bedränger geprägt wird; diese Kronenplastizität der Buche wird nun quantitativ faßbar. Ferner ist sichtbar, daß, wenn die Buchenkrone auf eine Buche oder die Fichtenkrone auf eine Fichte zuwächst, der Kronenradienzuwachs schon bei geringer Kronenüberlappung deutlich zurückgeht. Im Reinbestand nimmt der Kronenradienzuwachs bereits bei relativ geringer Verzahnung der Kronen negative Werte an, was gleichbedeutend mit einem Kronenabbau ist. Demgegenüber sind bei einer Vergesellschaftung von Fichte und Buche die Toleranzabstände wesentlich größer und die Kronenverzahnungen entsprechend enger.

Ein ebenso einfaches wie wichtiges Resultat der Modellstudie ist, daß die Kronenentwicklung eines Baumes auch bei gleichen Stammabständen zu seinen Nachbarn und bei gleicher seitlicher Kroneneinengung maßgeblich von der Baumartenzusammensetzung der Nachbarn, d. h. von der Mischungsform und den Mischungsanteilen des Bestandes abhängt. Je nach konkurrierender Baumart ist die Neigung bei Fichten- und Buchenkronen, sich miteinander zu verzahnen, verschieden, und die Toleranzabstände, bei denen eine Kronenrückbildung einsetzt, sind unterschiedlich. Wohl wissend, daß die Konkurrenz zwischen Einzelbäumen in Rein- und Mischbeständen auf äußerst komplexen Regelprozessen beruht, die sowohl den Wurzel- als auch den Bestandesraum betreffen, ist die Waldwachstumsforschung bei der Erfassung, Beschreibung und modellhaften Abbildung des Wuchsverhaltens miteinander vergesellschafteter Baumarten auf solche Beobachtungsgrößen angewiesen, die ihr aus langfristigen Versuchsflächen schon heute in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen oder zumindest in absehbarer Zeit verfügbar sein werden. Hierzu zählen beispielsweise Abstandswerte zwischen Einzelbäumen, Kronenüberlappungswerte und andere Konkurrenzindices, die auf morphometrischen Kennwerten aufbauen und eher Indikatorgrößen für die Konkurrenzsituation eines Baumes sind, als daß sie seine Wuchskonstellation explizit beschreiben. Die Studie sollte Wege aufzeigen, wie das baumarten- und mischungstypische Konkurrenzverhalten von Fichte und Buche anhand wiederholter Kronenerfassungen quantifiziert und in Wuchsmodelle umgesetzt werden kann.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Zeitserien von Kronenkarten enthalten wertvolle Informationen über den Zusammenhang zwischen der Wuchskonstellation und der Wuchsdynamik der erfaßten Bestandesglieder (Abb. 1). Die aus den wiederholten Kronenablotungen der Versuchsfläche ZWIESEL 111 im Bayerischen Wald berechneten Kronenradienzuwächse geben Auskunft über die jährliche Kronenexpansion von Fichten und Buchen im Rein- und Mischbestand (Abb. 2 und 3). Der Kronenradienzuwachs eines Baumes und die Form seiner Krone hängen maßgeblich von der Konfiguration des nachbarlichen Umfeldes ab (Abb. 4 und 5). Um für einen Baum die seitliche Einengung zu erfassen, ermittelt das Programm ABSTAND in 8 Richtungen den Kronenabstand zum jeweils nächstgelegenen Nachbarn und registriert seine Baumart. Aufbauend auf den Ergebnisgrößen einer solchen Abstandsberechnung werden für Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand Zusammenhänge zwischen Kronenabstand und Kronenradienzuwachs berechnet und modellhaft formuliert (Abb. 6

und 7). Ausgearbeitet und in Testläufen erprobt wird ein erster Ansatz für die modellhafte Abbildung von Fichten- und Buchenkronen und ihre Veränderung bei seitlicher Einengung (Abb. 8 bis 10).

9. Summary

Title of the paper: *Modelling crown competition of spruce and beech in pure and mixed stands.*

Chronological sequence maps of crowns give valuable information on the relationship between the growth constellation and growth dynamic of the measured stand members (fig. 1). The crown radial growth, calculated from repeated crown measurements on the experimental plot in Zwiesel (Bavarian Forest), show the annual crown expansion of spruce and beech in pure and mixed stands (fig. 2 and 3). Crown radial growth and form are mainly dependent on the configuration of the neighborhood (fig. 4 and 5). In order to determine the lateral confinement for a tree, the program ABSTAND measures the crown interval to the next trees in 8 directions and registers the species of the neighbors. On the basis of these values the relationships between the crown distances and crown radial growth in pure and mixed spruce and beech stands are calculated and models formulated (fig. 6 and 7). A first approach for modelling crowns of spruce and beech and their changes through lateral confinement is worked out and tested in simulation runs (fig. 8 to 10).

10. Résumé

Titre de l'article: *Modélisation de la concurrence entre les couronnes de hêtre et d'épicéa, en peuplements purs ou mélangés.*

Des séries diachroniques de cartes des couronnes contiennent des informations pleines d'intérêt sur les corrélations entre «constellation de croissance» et dynamique de croissance des différents éléments constituant le peuplement (fig. 1). Les accroissements radiaux des couronnes calculés à partir des relevés effectués dans la placette expérimentales Zwiesel 111 dans la forêt bavaroise donnent des indications sur l'expansion annuelle des couronnes de hêtre et d'épicéa, en peuplements purs ou mélangés (fig. 2 et 3). La croissance radiale de la couronne d'un arbre et la forme de cette couronne dépendent essentiellement de la configuration de l'environnement immédiat (fig. 4 et 5). Afin de déterminer la contrainte latérale subie par un arbre, le programme ABSTAND mesure suivant 8 directions quelle est

pour chacune d'elles la distance à laquelle se trouve la couronne de l'arbre voisin le plus proche et enregistre l'essence à laquelle il appartient. A partir des valeurs obtenues par une telle méthode de calcul de distances, on a établi pour l'épicéa et le hêtre en peuplements purs et mélangés les corrélations entre distances entre couronnes et accroissement radial des couronnes; un modèle a pu également être formulé (fig. 6 et 7). On a pu en déduire une première ébauche, qui a été vérifiée dans une série de tests, pour modéliser la représentation des couronnes des épicéas et de hêtre ainsi que les modifications qu'elles présentent par suite de contraintes latérales (fig. 8 à 10).

J. M.

11. Literatur

- ASSMANN, E.: Die Standraumfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. *AFJZ* 125 (5), 149–153, 1953/1954
- ASSMANN, E. und FRANZ, F.: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München, 104 S., 1963
- FRANZ, F.: Entwurf eines Konzeptes für zeitvariable reaktionskinetische Untersuchungen an ausgewählten Probestämmen (Zentralbaum-Konzept). Bericht von der Jahrestagung 1983 der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Soest, S. 133–142, 1983
- FRANZ, F.: Fichten-Buchen-Mischbestandsversuch Zwiesel 111. ZWI 111 – Forstamt Zwiesel –. Exkursionsführer MWWEF 55. Lehrst. f. Waldwachstumskunde, Univ. München, 29 S., 1986
- KENNEL, R.: Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. *AFJZ* 136 (7), 149–161, und (8), 173–189, 1965
- LANGF, C.: Simulation der Entwicklung von Kronenquerschnitten in Mischbeständen der Baumarten Buche und Fichte. Dipl.-Arb. Forstwiss. Fak., LMU München, 218 S., 1991
- PETRI, H.: Versuch einer standortgerechten, waldbaulichen und wirtschaftlichen Standraumregelung von Buchen-Fichten-Mischbeständen. Mitt. a. d. Landesforstverw. Rhld.-Pfalz, zugleich Mitt. a. d. Forsteinrichtungsamt Koblenz, Nr. 13, Bd. 1, 145 S., 1966
- PRETZSCH, H.: Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 115, 358 S., 1992
- RÖHLE, H.: Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien und der Berechnung von Kronengrundflächen. Bericht von der Jahrestagung 1983 der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Neuhaus/Solling, S. 2/1–2/25, 1983
- SCHÖBER, R.: Buchen-Ertragstafel für mäßige und starke Durchforstung. In: Die Rotbuche 1971. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, 333 S., 1967
- SCHUTZ, J.-PH.: Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 140 (12), 1069–1083, 1989
- SPÄTH, H.: Spline Algorithmen. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 134 S., 1983