

Zur Analyse der räumlichen Bestandesstruktur und der Wuchskonstellation von Einzelbäumen

Von Hans Pretzsch

Herrn Professor Dr. Dr. h.c. Friedrich Franz zum 65. Geburtstag gewidmet

1 Der Bestand als Mosaik von Einzelbäumen

Eine Schlüsselerkenntnis aus neueren Untersuchungen über die Entwicklungsdynamik von Tier- und Pflanzenbeständen besteht darin, daß die Bestandesentwicklung besser verstanden werden kann, wenn der Bestand in ein Mosaik von Individuen aufgelöst und ihr Miteinander als dynamisches, räumlich-zeitliches System aufgefaßt wird. Das Erkenntnispotential der klassischen Erfassung und modellhaften Abbildung von Populationsentwicklungen über Bestandesmittelwerte, Bestandessummenwerte und Häufigkeitsverteilungen von Individualmerkmalen scheint zunächst einmal ausgeschöpft zu sein. Dagegen schafft der Übergang zu einem Erklärungsansatz, bei dem die Bestandesentwicklung von den zugrundeliegenden Individuen her aufgerollt wird, neue Möglichkeiten zum Verständnis und zur Prognose des Bestandeswachstums. Indem herkömmliche Ansätze zur Untersuchung und modellhaften Abbildung von Populationsentwicklungen deren räumlicher Konfiguration kaum eine Bedeutung beimessen und ein weitgehend uniformes Verhalten aller Bestandesglieder unterstellen, vernachlässigen sie bei heterogen aufgebauten Beständen geradezu deren wichtigste Charakteristika. Populationsstudien, die vom Individuum ausgehen und die Population als ein heterogenes Mosaik von Bestandesgliedern auffassen, legen demgegenüber gerade auf die räumliche Konfiguration und die individuelle Verschiedenheit der Bestandesglieder besonderen Wert und nutzen deren Merkmale für die Erklärung und Vorhersage der weiteren Entwicklung der Population. Sie leiten die Entwicklung des Gesamtbestandes aus seinen zugrunde liegenden Bestandesmitgliedern und den zwischen ihnen ablaufenden Wechselwirkungen ab.

Der Übergang von der bestandesbezogenen Betrachtungsweise zu Ansätzen, die vom Individuum ausgehen, bedeutet einen grundlegenden Paradigmenwechsel für alle Fachdisziplinen, die sich mit Populationsentwicklungen befassen. In ihrer richtungweisenden Erörterung belegen die Amerikaner HUSTON, DE ANGELIS und POST (1988) vom Oak Ridge Laboratory anhand neuerer Studien über die Dynamik von Populationen, Biozönosen und Ökosystemen, die auch forstwissenschaftliche Beispiele mit einschließen, daß der Übergang von bestandes- zu individuenbezogenen Denkmustern und Modellansätzen ein beachtliches neues Erkenntnispotential freisetzen kann.

Mit der Einführung der vom Individuum ausgehenden Betrachtungsweise, die für die Waldwachstumskunde gleichbedeutend mit einem Übergang vom bestandes- zum einzelbaumorientierten Forschungsansatz ist, steht die Waldwachstumforschung in Deutschland noch ganz am Anfang. Unter bestandesbezogenen Untersuchungen bzw. Bestandeswuchsmodellen verstehen wir im folgenden Forschungs- und Modellansätze, die die Bestandesentwicklung als Ganzes anhand von Mittel- und Summenwerten oder Häufigkeitsverteilungen erfassen und modellhaft abbilden. Beispielsweise gründet die klassische Ertragstafelforschung von SCHWAPPACH, WIEDEMANN, SCHOBER sowie ASSMANN und FRANZ auf Bestandesmittelwerten und Summenwerten. Die bekannten Untersuchungen von BENNETT, CLUTTER, VON GADOW, MOSER, SUZUKI, SLOBODA und ZÖHRER bilden Muster-

beispiele für einen verteilungsgestützten Zugang zum Bestandeswachstum. Als einzelbaumbezogene Untersuchungen und Einzelbaummodelle bezeichnen wir im folgenden Ansätze und Verfahren, die den Wachstumsgang aller Einzelbäume eines Bestandes verfolgen und durch summarische Zusammenfassung und Aggregation der Zustandsänderungen aller Bestandesglieder zu Aussagen über das Bestandeswachstum gelangen, d. h. das Bestandeswachstum vom Einzelbaum her aufrollen. Die eigentliche Informationseinheit ist hierbei der Einzelbaum, durch Integration über alle Bestandesglieder können aber auch Aussagewerte für niedrigere Auflösungsebenen, etwa Mittelstammentwicklungen oder Durchmesser-Häufigkeitsverteilungen abgeleitet werden. Erste einzelbaumbezogene Forschungs- und Modellansätze sind eng mit den Namen der Amerikaner ARNEY, BELLA, BOTKIN, EK, MONSERUD, LIN, MITCHELL und NEWNHAM verbunden.

Das Instrumentarium der Waldwachstumforschung zur Informationsgewinnung und -verarbeitung war auf allen drei Ebenen waldwachstumskundlicher Forschung – bei der Erfassung, Auswertung und modellhaften Abbildung von Wuchsprozessen, also von der Messung bis zum Modell – in erster Linie auf ertragskundliche Bestandeswerte für gleichaltrige Reinbestände ausgerichtet. Die bestandesbezogene Betrachtungsweise war angemessen und die Beschreibung der Populationsentwicklung über Summen- und Mittelwerte oder Häufigkeitsverteilungen von Einzelstammdimensionen erfolgreich, solange das Wachstum relativ homogen aufgebauter Reinbestände für definierte, statische Wuchsbedingungen im Mittelpunkt des Interesses stand. Die in den letzten Jahren zu verzeichnende Veränderung des Erkenntnisinteresses der Waldwachstumforschung und des Informationsbedarfs der forstlichen Praxis haben uns deutlich die Grenzen der bisherigen bestandesbezogenen Betrachtungsweise und den Bedarf an neuen einzelbaumbezogenen Erklärungsmustern für die Bestandesentwicklung vor Augen geführt.

Erstens ist die Forstwirtschaft in zunehmendem Maße zur Begründung und intensiveren Pflege von Mischbeständen übergegangen, für deren Erfassung und modellhafte Beschreibung Einzelbaumansätze, die die räumliche Bestandeskonfiguration berücksichtigen, angemessener erscheinen als bestandesbezogene Ansätze, die die Bestandesstruktur vernachlässigen. Beispielsweise haben die auf Abbildung 1 schematisch dargestellten Fichten-Buchen-Mischbestände gleiche Bestandesmittel- und Summenwerte und gleiche Durchmesser- und Höhenverteilungen. Sie unterscheiden sich nur in der räumlichen Konfiguration ihrer Bestandesglieder. Die räumliche Konfiguration übt aber einen bedeutsamen Einfluß auf die weitere Entwicklung dieser Bestände aus – bei Einzelbaummischung (Abb. 1c) wird sich die Buche sicher anders entwickeln als in Gruppen (Abb. 1a und b). Eine zutreffende Erfassung und Modellierung der Bestandesentwicklung ist nur bei ausreichender Berücksichtigung der räumlichen Konfiguration der zugrundeliegenden Bestandesglieder möglich, denn das breite Spektrum denkbarer Kombinationen und Permutationen bei der Anordnung benachbarter Bäume schlägt

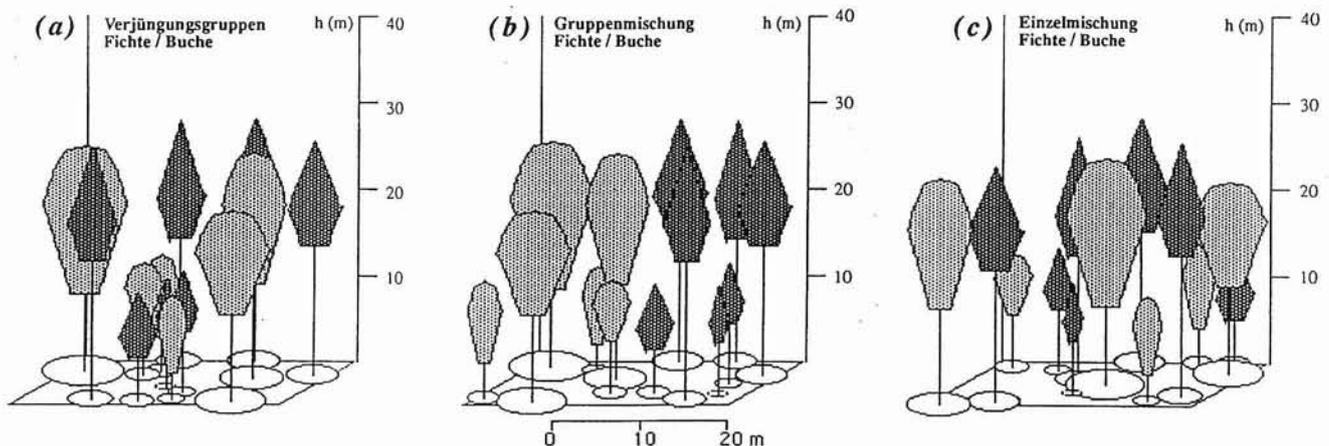


Abb. 1: Auch bei gleichen ertragskundlichen Bestandesmittel- und Summenwerten und gleichen Durchmesser- und Höhenverteilungen kann die räumliche Konfiguration von Mischbeständen in breitem Rahmen variieren. Ausbildung von Verjüngungsgruppen (a), Gruppenmischung aus Fichte und Buche (b) und Fichte und Buche in Einzelmischung (c) in schematischer Darstellung.

sich in einem ebenso breiten Spektrum verschiedener Bestandeselemente nieder. Vernachlässigen wir in solchen heterogenen, mehrschichtigen Mischbeständen die dreidimensionale Struktur, so lassen wir damit geradezu das Wichtigste, ihre Wuchsdynamik prägende Charakteristikum außer acht. Mit zunehmender Heterogenität eines Bestandes steigt der Informationsbedarf an, der für seine Beschreibung und die Prognose seiner Entwicklung erforderlich ist. Während die Entwicklung eines einschichtigen, gleichaltrigen Reinbestandes noch zutreffend durch ein System geringerer Dimension oder auch unter völliger Vernachlässigung seiner dreidimensionalen Struktur beschrieben werden kann, ist bei der Beschreibung von Mischbeständen keine der drei Dimensionen entbehrlich. Hier bietet der einzelbaumorientierte, räumliche Ansatz einen bestmöglichen Zugang zur Erfassung und modellhaften Abbildung der Bestandeselemente. Mischbestände können nur bei Inkaufnahme von erheblichen Informationsverlusten als Systeme niedrigerer Dimension abstrahiert werden.

Zweitens haben sich mit dem Übergang zu neuen Behandlungsprogrammen für Rein- und Mischbestände – etwa der Auslesedurchforstung von ABETZ – die Ansprüche an die Flexibilität und Informationsqualität unserer Prognosemodelle und Leistungstabellen tiefgreifend verändert. Unser Informationsbedarf hat sich von Bestandesmittelwerten zu Angaben über Einzelstammdimensionen bestimmter Teilkollektive eines Bestandes verschoben. Die klassischen Ertragstabellen mit ihren Bestandesmittelwert-Angaben über Dimensionselemente und verteilungsgestützte Wachstumsmodelle sind nicht flexibel genug, um die Bestandeselemente für ein breites Spektrum verschiedener Bestandaufbauformen, Mischungsformen und Durchforstungsvarianten abbilden zu können, da sie ein eher uniformes Zuwachsverhalten der Einzelbäume unterstellen und ihre räumliche Wuchskonstellation vernachlässigen. Am ehesten werden die im angloamerikanischen Raum seit den sechziger Jahren konsequent fortentwickelten Einzelbaummodelle unserem gestiegenen Informationsbedarf gerecht, denn sie erklären die Dimensionselemente aller Bäume eines Bestandes aus ihrer individuellen Wuchskonstellation und sind daher in der Lage, die Reaktion eines Teilkollektivs – etwa bestimmter Ausleseebenen – auf intensive Freistellung nachzubilden und zu prognostizieren.

Drittens ebnen einzelbaumgestützte Untersuchungs- und Modellansätze den Weg zur Erfassung und modellhaften Abbildung des Bestandeswachstums unter dem Einfluß von Störfaktoren. Die notwendige Anpassungsfähigkeit künftiger Wachstumsmodelle an die sich verändernden Umweltbedingungen kann nur durch einen Übergang zu kausaleren Modellansätzen erreicht werden. Ein solcher Übergang zu einer kausalen Beschreibung der Bestandeselemente ist über Einzelbaummodelle eher zu realisieren als über Bestandesmodelle. Denn die eigentliche Meß- und Informationseinheit, für die die Zuwachsreaktionen erfaßt und in Abhängigkeit von der Umgebung erklärt werden, ist nicht der Bestand, sondern der Einzelbaum. Während der Einzelbaum, seine morphometrischen Kennwerte, seine Umgebungsparameter und seine Wuchsbedingungen die primären Beobachtungs- und Meßgrößen darstellen, sind Bestandesmittel- und Summenwerte oder Häufigkeitsverteilungen lediglich abgeleitete, schon höher aggregierte Größen, die durch Hochrechnung oder Extrapolation entstehen. Daher ist es versuchs- und modelltechnisch leichter, für Einzelbaummodelle kausale Erklärungen und Modellparameter zu erhalten als für Populationsmodelle, deren Entwicklung im großen Maßstab erfaßt werden muß.

*

Wichtige Voraussetzungen für eine Konsolidierung des einzelbaumorientierten Forschungsansatzes sind einmal geeignete Versuchsflächen zum systematischen Aufbau eines Fundus von Primärinformationen über das Wachstum von Einzelbäumen in Rein- und Mischbeständen, zum anderen Standardprogramme zur Versuchsauswertung und Einzelbaumwachstumsmodelle zur Synthetisierung und Verdichtung dieser Primärinformationen.

Wichtige Impulse zur einzelbaumorientierten Untersuchung von Waldbeständen und zum Aufbau einer entsprechenden Datenbasis gaben die Strukturanalysen in Rein- und Mischbeständen von ASSMANN, MAGIN, R. KENNEL, MITSCHERLICH, KERN, FRANZ sowie die Solitär- und Z-Baum-Untersuchungen von ABETZ. Die durch ASSMANN am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde eingeleiteten einzelbaumorientierten Strukturuntersuchungen in Rein- und Mischbeständen wurden von FRANZ konsequent weitergeführt. FRANZ kommt das besondere Verdienst zu, in den siebziger Jahren, also in einer Zeit, in der sich die Waldwachstumforschung noch auf bestandesbezogene Aussagewerte für Reinbestände konzentrierte, das Erkenntnispotential der einzelbaumweisen Betrachtung erkannt zu haben.

Unter seiner Leitung wurden die auf bestandesbezogene Aussagewerte ausgerichteten Standarderhebungen auf den ertragskundlichen Beobachtungsflächen in zunehmendem Maße durch Stammverteilungspläne, Kronenkarten, Kronenstrukturanalysen, Vitalitäts- und Zuwachsbestimmungen an Einzelbäumen untermauert, so daß wir mit unseren Einzelbaummodellstudien heute auf einem ersten Grundstock von Informationen über Struktur und Leistung von Einzelbäumen aufbauen können. Künftige Untersuchungen sollten diesen bislang relativ schmalen Grundstock von Struktur- und Leistungsdaten erweitern und die Abhängigkeit des Einzelbaumwachstums in Rein- und Mischbeständen von der Wuchskonstellation, der Konkurrenz und Nachbarschaft, der Durchforstung, dem Standort, dem Klima und der Witterung auf eine zahlenmäßige Grundlage stellen.

Soll der Datenfundus zum Einzelbaumwachstum über eine rein deskriptive Stufe hinaus erschlossen und zur Verbesserung unserer forstlichen Arbeitsgrundlagen genutzt werden, so erfordert das Entwicklungsprogramm auf dem Sektor der Modellforschung (FRANZ, 1973, 1976). Dank der in den letzten 20 Jahren stark angestiegenen Rechenkapazität der Computer verfügen wir heute über die notwendige apparative Ausstattung, um die Bestandeselemente bis zur Entwicklung aller Einzelbäume hin aufzulösen und modellhaft nachzubilden. Bei der Konzeption und Konstruktion von Einzelbaummodellen können wir uns auf Entwicklungsarbeiten auf dem Sektor der waldwachstumskundlichen Modellbildung stützen, die in den letzten 20 Jahren in den USA und Kanada u. a. von BOTKIN, JANAK und WALLIS (1972), BURKHART et al. (1987), VAN DEUSEN und BIGING (1985), DUDEK und EK (1980), EK und MONSERUD (1974), KRUMLAND (1982), MITCHELL (1975), MONSERUD (1975), WENSEL und DAUGHERTY (1984), WENSEL und KÖHLER (1985), WYKOFF, CROOKSTON und STAGE (1982) und SHUGART (1984) ausgeführt wurden. In den Niederlanden betreiben MOHREN (1987) und KOOP (1989) und in Skandinavien u. a. MÄKELÄ und HARI (1986) intensive Einzelbaummodelluntersuchungen, deren Ergebnisse für die waldwachstumskundliche Forschung bei uns nutzbar gemacht werden können. Für den deutschsprachigen Raum seien hier die Arbeiten unter der Leitung von SLOBODA und PFREUNDT (1989), FRANZ (1969, 1973, 1976), SCHÖPPER (1973) und SCHNEIDER und KREYSA (1981) sowie die auf amerikanischen Modelluntersuchungen und ASSMANNs Wuchsgesetzmäßigkeiten aufbauenden Modelluntersuchungen von STERBA (1985, 1989) erwähnt. Erstaunlicherweise haben Einzelbaummodelle in den USA und Kanada, also gerade in Ländern mit eher extensiver Forstwirtschaft, viel rascher Eingang in die forstliche Praxis gefunden als in unserem Land, wo wir damit noch ganz am Anfang stehen. Dabei steht uns – mit den Daten der langfristigen Versuchsflächen sowie den Aufnahmedaten, die aus der Forsteinrichtung und Inventuren vorliegen – ein viel breiterer, aus jahrzehntelangen, in Einzelfällen sogar aus mehr als hundertjährigen Beobachtungen angesammelter, bisher nicht annähernd ausgeschöpfter Datenfundus über den Einzelbaum als Produktionsträger im Rein- und Mischbestand zur Verfügung.

Ebenso wie die Versuchskonzepte, die waldwachstumskundlichen Erhebungsgrößen und die Wachstumsmodelle sind auch unsere Auswertungsverfahren im wesentlichen auf die Berechnung von Bestandeswerten für Reinbestände ausgerichtet. Während das Instrumentarium für die bestandesbezogene Auswertung von Reinbestandsversuchen an den waldwachstumskundlichen Forschungseinrichtungen über Jahrzehnte hinweg weiterentwickelt wurde, haben wir vergleichbare Entwicklungsarbeiten für eine einzelbaumbezogene Analyse und für die Auswertung von Mischbestandsversuchsflächen vernachlässigt. Es fehlen uns bisher die methodischen Grundlagen und EDV-Auswertungsprogramme für die Auswertung von Mischbestandsversuchsflächen und eine effiziente Erschließung des Informationspotentials über das Wachstum von Einzelbäumen, das in dem Datenfundus unserer Beobachtungsflächen steckt. Die im folgenden vorgestellten EDV-Programme KROANLY, AUFRISS, RAUM und ε - ω -ANALYSE wurden im Rahmen von Mischbestandsmodelluntersuchungen am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumskunde entwickelt (PRETZSCH, 1990) und sind als erster Beitrag zum Aufbau einer Programmbibliothek für die einzelbaumorientierte Versuchsflächenauswertung gedacht. Sie wurden in der Programmiersprache Lightspeed Pascal verfaßt und laufen auf Rechnern des Typs Apple Macintosh.

2 Ausgewählte Testflächen

Als Testbestände zur Demonstration der Programme wurden die Parzellen 3, 4 und 5 der Fichten-Buchen-Mischbestandsversuchsfläche Zwiessel 111 und, um zu zeigen, daß die Verfahren auch für die räumliche Strukturanalyse in extrem heterogenen Waldaufbauformen

geeignet sind, die Parzelle 2 der Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldversuchsfläche Freyung 129 ausgewählt.

Fichten-Buchen-Mischbestandsversuchsfläche Zwiesel 111 (ZWI 111)

Lage: Forstamt Zwiesel, 760 m über NN, West-Exposition, Wuchsbezirk 11.3 Innerer Bayerischer Wald.

Mittl. Niederschlag: 1270 mm im Jahr, 490 mm in der Veg.-periode (Mai-August).

Mittl. Temperatur: 5 Grad C im Jahr, 13 Grad C in der Veg.-periode. Boden: Zweischichtige frische, zur Verdichtung und Vergleyung neigende Podsol-Braunerde aus Fließerde über Firneisgrundschutt.

Die Versuchsfläche Zwiesel 111 umfaßt acht Parzellen, von denen hier nur die seit 1954 beobachtete Fichten-Reinbestandsfläche ZWI 111/5, die Buchen-Reinbestandsfläche ZWI 111/4 und die Fichten-Buchen-Mischbestandsfläche ZWI 111/3 mit einer Flächengröße von jeweils etwa 0,25 ha betrachtet werden sollen. Zum Zeitpunkt der Erstaufnahme im Herbst 1954 waren die Buchen auf den drei Parzellen etwa 78jährig, die Fichten im Reinbestand etwa 50jährig und im Mischbestand 59jährig. Die Bestandesentwicklung der seit Versuchsbeginn mehrfach durchforsteten Parzellen ist durch vier Wiederholungsaufnahmen in den Jahren 1959, 1969, 1982 und 1987 dokumentiert. Die Buche ist – trotz ihres erheblichen Altersvorsprungs – der Fichte im Höhenwachstum deutlich unterlegen, so daß die Fichte auf der Fichten-Buchen-Mischbestandsparzelle ZWI 111/3 im oberen Kronenraum dominiert, während die Buche den mittleren und unteren Kronenraum besetzt (Abb. 4 und 5). Die zu Versuchsbeginn im Jahr 1954 sehr unterschiedlichen Stammzahlen auf den Parzellen 5 (Fichten-Reinbestand), 4 (Buchen-Reinbestand) und 3 (Fichten-Buchen-Mischbestand) von 977, 1473 bzw. 1070 $N_{\text{verbj}}/\text{ha}$ haben sich durch Durchforstungen und Selbstdifferenzierungsprozesse angenähert und lagen bei der letzten Aufnahme im Jahr 1987 bei 354, 428 bzw. 329 verbleibenden Stämmen pro ha. Für die bemerkenswerte Stammzahlabnahme auf den Parzellen 3 und 4 ist v. a. der Ausfall unterständiger Buchen verantwortlich (Abb. 5). Die Grundflächen des verbleibenden Bestandes haben auf den Parzellen 3, 4 und 5 von 39,9, 26,5 bzw. 33,4 qm/ha im Jahr 1954 auf 45,3, 28,0 bzw. 36,3 qm/ha im Jahr 1987 zugenommen, die Vorräte des verbleibenden Bestandes von 466,1, 264,7 und 381,3 VFmD/ha auf 786,3, 483,2 und 633,8 VFmD/ha .

Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldversuchsfläche Freyung 129 (FRY 129)

Lage: Forstamt Freyung, 720 m über NN, Südost-Exposition, Wuchsbezirk 11.3 Innerer Bayerischer Wald.

Mittl. Niederschlag: 1200 mm im Jahr, 640 mm in der Veg.-periode (Mai-Sept.)

Mittl. Temperatur: 6,5 Grad C im Jahr, 13–14 Grad C in der Veg.-periode.

Boden: Schwach podsolige, frische bis mäßig frische Braunerde mit reichen Skelettanteilen von Gneis- und Granitverwitterung.

Die Versuchsfläche besteht aus drei je 0,5 ha großen Parzellen, deren Leistung und Struktur im Herbst 1980 gesondert nach Hauptbestand (= alle Bäume ab 7 cm BHD), Nebenbestand (= Bäume über 1,3 m Höhe bis 7 cm BHD) und Jungwuchs (= Bäume zwischen 0,5 m und 1,3 m Höhe) intensiv erfaßt wurden. Das Plentergefüge auf Parzelle FRY 129/2, die für die folgenden Testrechnungen ausgewählt wurde, ist aufgrund erheblicher Starkholzhortung als vorratsreich einzustufen; auf dieser Fläche erreichen Fichten, Tannen und Buchen stärkster Dimension Alter von 330 bis 350 Jahren. Die Aufnahme 1980 erbrachte für den Hauptbestand von Parzelle FRY 129/2 472 Stämme, 40,0 qm Grundfläche und 555,1 VFm Derbholz pro ha. Während die Fichte mit 55 und die Tanne mit 35 Prozentanteilen am Vorrat beteiligt ist, tritt die Buche mit 10 Prozent Vorratsanteilen, die sich auf das Schwach- und Mittelholz konzentrieren, eher in den Hintergrund. Die maximalen Durchmesser und Höhen liegen bei der Fichte mit 115 cm bzw. 43,7 m deutlich über denen von Tanne und Buche, die der Fichte in der Wuchseistung unterlegen sind. Die bei allen drei Baumarten ausgeprägte gravierende Stammzahlabnahme vom Jungwuchs bis zur Nebenbestandsphase zeigt, daß der Verjüngungsablauf durch den mächtigen Schirm des überhöhten Starkholzanteils erheblich gehemmt wird.

3 Programm KROANLY

Nach Eingabe der Stammfußkoordinaten und der Meßdaten aus der Kronenablotung (4- oder 8-Radienablotung) erstellt das Programm KROANLY Kronenkarten, berechnet Überschirmungswerte des Bestandes und bestimmt die Kronenschirmflächen aller kartierten

Bestandesglieder. Mit einer Grafikroutine des Programmes können Kronenkarten wahlweise nach folgenden Berechnungsverfahren angefertigt werden: Bei einem ersten Berechnungsverfahren erfolgt der Ausgleich zwischen den Radien linear, die Kronenperipherie wird durch einen Polygonzug dargestellt. Im zweiten Berechnungsverfahren zeichnet das Grafikprogramm die Kronen als Kreise mit einem Durchmesser, der identisch mit dem mittleren Kronendurchmesser ist. In einem dritten Verfahren werden die gemessenen Kronenradien durch kubische Spline glatt verbunden, und die Kronenperipherie wird durch eine gekrümmte Verbindungslinie zwischen den vier bzw. acht Meßpunkten nachgebildet. Teilkollektive, wie auf Abbildung 2 die Fichten (dunkelgrau) und Buchen (hellgrau) können durch verschiedene Grauwert-Rasterstufen hervorgehoben werden.

Eine wichtige Erweiterung gegenüber den herkömmlichen Programmen zur Kronenkartenzeichnung bildet die der Grafikroutine des Programms KROANLY angeschlossene numerische Auswertung der Kronenkarten. Beschränkte sich die Ausgabe der Kronenprogramme bisher auf eine Zeichnung von Kronenkarten mit Hilfe vorgegebener Standard-Zeichenfunktionen, so berechnet das Programm KROANLY die Interpolationsfunktionen zwischen den Radien nicht mehr über Standardfunktionen, sondern in eigens programmierten Routinen. Damit ist ein direkter Zugriff auf die Funktionsparameter möglich, die die Kronenperipherie für jeden Einzelbaum festlegen und auf denen die Berechnung der Kronenschirmflächen und Überschirmungswerte aufbaut. Für den Bestand insgesamt, für bestimmte Teilkollektive des Bestandes (z. B. Baumartengruppen) und für jeden Einzelbaum können die Kronenprojektionsflächen (wahlweise nach den drei eingangs beschriebenen Ausgleichsverfahren) abgefragt werden, die dann auch identisch mit den zeichnerisch dargestellten Flächen sind. Die Kronengrundflächen werden bei linearem Ausgleich (1. Berechnungsverfahren) auf der Basis der kartesischen Koordinaten der gemessenen Polygonpunkte nach der Flächenformel von GAUSS bestimmt. Bei Approximation der Kronen durch einen Kreis (2. Berechnungsverfahren) erfolgt die Flächenberechnung nach der Kreisflächenformel. Beim Ausgleich der Kronenradien durch kubische Spline (3. Berechnungsverfahren) werden die Kronengrundflächen durch abschnittsweise Integration der Splinefunktionen berechnet.

Zur Bestimmung der Überschirmungsverhältnisse des Bestandes wird die Kronenkarte mit einem Gitternetz unterlegt. Der Abstand der Gitterlinien kann, je nach gewünschter Erfassungsdichte, von 10 cm bis 50 cm eingestellt werden. Nach dem Prinzip der Trefferabfrage wird in einem Suchlauf des Programmes für jeden Knotenpunkt des Gitternetzes abgefragt, ob der Punkt unbeschirmt ist, ob er einfach, zweifach, dreifach und mehr überschirmt ist, und aus welchen Baumarten sich seine Überschirmung aufbaut. Aus der Häufigkeit, in der die jeweiligen Zustandsmerkmale vorkommen, lassen sich Aussagen über die Überschirmungsverhältnisse des Bestandes machen.

Beispiele für Rechenläufe mit dem Programm KROANLY

Auf Abbildung 2a bis d ist für den Fichten-Buchen-Mischbestand Zwiesel 111/3 die Bestandesentwicklung seit 1954 auf der Grundlage der Kronenkarten dargestellt, die vom Programm KROANLY angefertigt wurden. Die acht gemessenen Kronenradien pro Baum sind durch kubische Spline miteinander verbunden (3. Berechnungsverfahren). Buchenkronen sind hellgrau, Fichtenkronen dunkelgrau und Mehrfachüberschirmungen schwarz hervorgehoben. Auf Abbildung 2a sind die Stammpositionen und Kronenkarten zum Zeitpunkt der Flächenanlage im Jahr 1954 festgehalten. In Teil b der Abbildung ist die Kronenkarte für das Jahr 1982 und in Teil c ist die Verteilung der Durchforstungsstämme im Jahr 1982 dargestellt. Abbildung 2d zeigt den Flächenzustand im Jahr 1982 nach der Durchforstung.

Während die Bestandesstruktur von einschichtigen, gleichaltrigen Beständen und die Wuchskonstellation ihrer Einzelbäume ohne großen Informationsverlust über Kronenkarten abgebildet, d. h. auf ein zweidimensionales System zurückgeführt werden kann, erfordert die Charakterisierung und modellhafte Abbildung von ungleichaltrigen, mehrschichtigen Mischbeständen wie der Mischbestandsfläche Zwiesel 111/3 und der Plenterwaldfläche Freyung 129/2 räumliche, dreidimensionale Beschreibungsansätze.

4 Das Programm AUFRIS

Auf der Basis der Baumhöhen, Kronenansatzhöhen, Kronenradien, Stammfußkoordinaten und bei Zugrundelegung verallgemeinerter Kronenformmodelle fertigt das Programm AUFRIS für ausgewählte Bestandesauschnitte Aufrißzeichnungen an, wie sie auf Abbildung 4 beispielhaft für die eingangs vorgestellten Testflächen dargestellt sind. Die Modellannahmen zu Aufbau und Form der Kronen orientie-

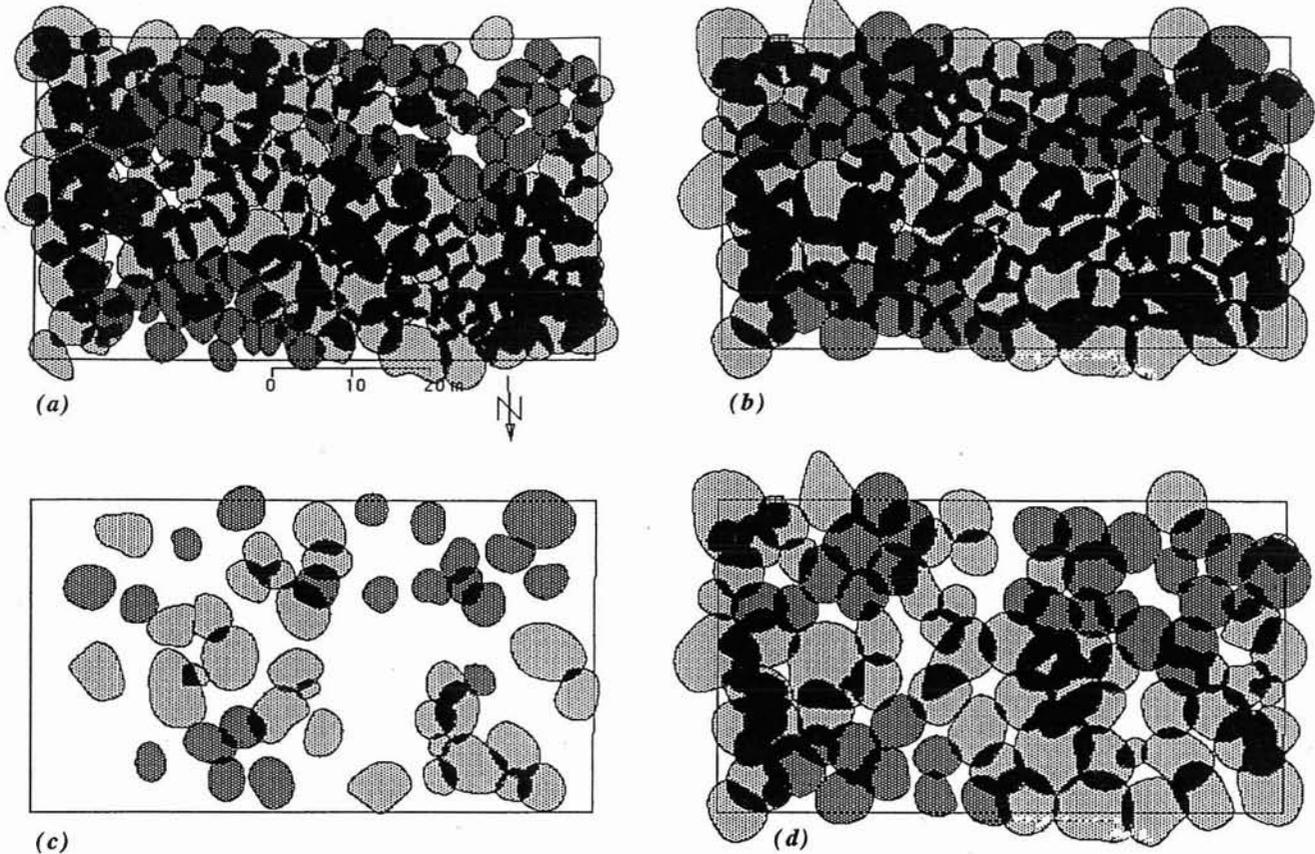


Abb. 2: Kronenkarten für die Fichten-Buchen-Mischbestandsversuchsfäche in Zwiesel ZWI 111/3. Die Baumarten Fichte und Buche sind durch unterschiedliche Grauwertraster hervorgehoben (Bu hellgrau, Fi dunkelgrau), Mehrfachüberschirmungen sind schwarz markiert.

(a) Ausgangsbestand im Jahr 1954

(b) Bestand im Jahr 1982 vor der Durchforstung

(c) Durchforstungsentnahmen 1982

(d) Bestand 1982 nach der Durchforstung

ren sich vorläufig an den bekannten Kronenuntersuchungen und -darstellungen von ASSMANN, BADOUX, BURGER und HAMPEL.

Für die Fichtenkronen wurde in dem Kronenformmodell angenommen, daß die größte Kronenbreite bei 66 Prozent der Kronenlänge vom Wipfel liegt. Hier wird die Grenze angesetzt zwischen der Lichtkrone, die bei der Fichte als Kegelspitze nachgebildet wird, und der Schattenkrone, die durch einen Kegelstumpf approximiert wird. Die größte Kronenbreite ergibt sich durch Verdoppelung des mittleren Kronenradius; die Kronengrundfläche wird als Kreis abgebildet. Für die Kronenbreite in der Kronenansatzhöhe wurde die Hälfte der größten Kronenbreite veranschlagt.

Bei der Buche ging die Modellannahme von der größten Kronenbreite in 40 Prozent der Kronenlänge von der Baumspitze aus. Die Form der Lichtkrone wird als kubisches Paraboloid und die Schattenkrone als Kegelstumpf nachgebildet, dessen Durchmesser in der Kronenansatzhöhe 33 Prozent der größten Kronenbreite beträgt.

Für die Tannenkronen wurde im Modell festgelegt, daß der größte Kronendurchmesser bei 50 Prozent der Kronenlänge liegt. Die Lichtkrone wird als quadratisches Paraboloid und die Schattenkrone als Kegelstumpf ausgeformt. Die Kronenbreite am Kronenansatz wurde wie bei der Fichte auf die Hälfte der größten Kronenbreite festgelegt.

Die Modellannahmen basieren auf Kronenuntersuchungen, die in mittelalten und älteren Beständen durchgeführt wurden, so daß die Ergebnisse auf unsere Bestände übertragbar erscheinen. Die unterstellten baumartenspezifischen Kronenformen sind als glättende Approximation der in Wirklichkeit viel unregelmäßigeren Kronenformen zu verstehen. Während in der jetzigen Programmversion für jede Baumart alters- und dimensionsinvariante Proportionen zwischen Licht- und Schattenkrone unterstellt werden, sollen die Licht- und Schattenkronenanteile künftig in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser und Schlankheitsgrad des Baumes, die als Indikatorgrößen für sein physiologisches Alter und den Behandlungseffekt gelten können, gesteuert werden.

Die biometrische Nachbildung der Kronenperipherie kann für die genannten drei Baumarten nach einem einheitlichen Rechenschema erfolgen: Hierbei wird die Veränderung des Kronenradius (r) mit zunehmender Entfernung (e) vom Gipfel beschrieben (Abb. 3). Im Bereich der Lichtkrone (l_o) werden die Kronenradien (r_L) in Funktion von der Entfernung vom Gipfel über die Funktion $r_L = a \times e^b$ mit

baumindividuellem Parameter a und baumartenspezifischem Exponenten b berechnet. Die Radien (r_s) im Bereich der Schattenkrone (l_u) werden nach der Geradengleichung $r_s = c + e \times d$ mit den baumindividuellen Parametern c und d berechnet. In Tabelle 1 sind die erforderlichen Angaben zur Bestimmung der Parameter a , b , c und d der Kronenformmodelle für Fichte, Buche und Tanne aus den Ein-

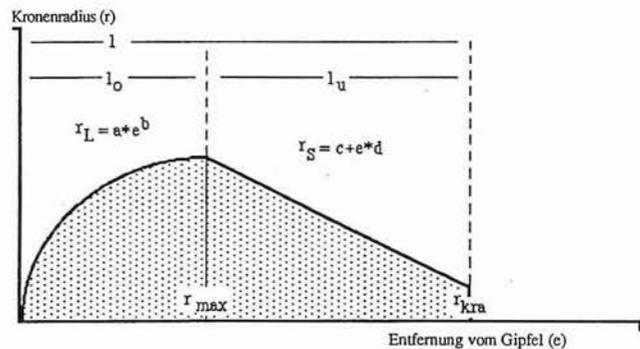


Abb. 3: Die Peripherie der Lichtkrone (Bereich l_o) wird bei Zugrundelegung baumartenspezifischer Parameter über die Funktion $r_L = a \times e^b$, die der Schattenkrone (Bereich l_u) über die Geradengleichung $r_s = c + e \times d$ beschrieben. Als Rotationskörper ergeben sich für die Lichtkrone der Fichte ein Kegelspitze, für die Buche ein kubisches Paraboloid und für die Tanne ein quadratisches Paraboloid. Die Schattenkrone wird bei allen Baumarten als Kegelstumpf nachgebildet.

- r = Kronenradius
- r_L = Kronenradius in der Lichtkrone
- r_s = Kronenradius in der Schattenkrone
- r_{max} = größter Kronenradius
- e = Entfernung vom Gipfel
- l = Kronenlänge
- l_o = Länge der Lichtkrone
- l_u = Länge der Schattenkrone
- r_{kra} = Kronenradius am Kronenansatz
- a, b, c, d = baumartenspezifische Parameter

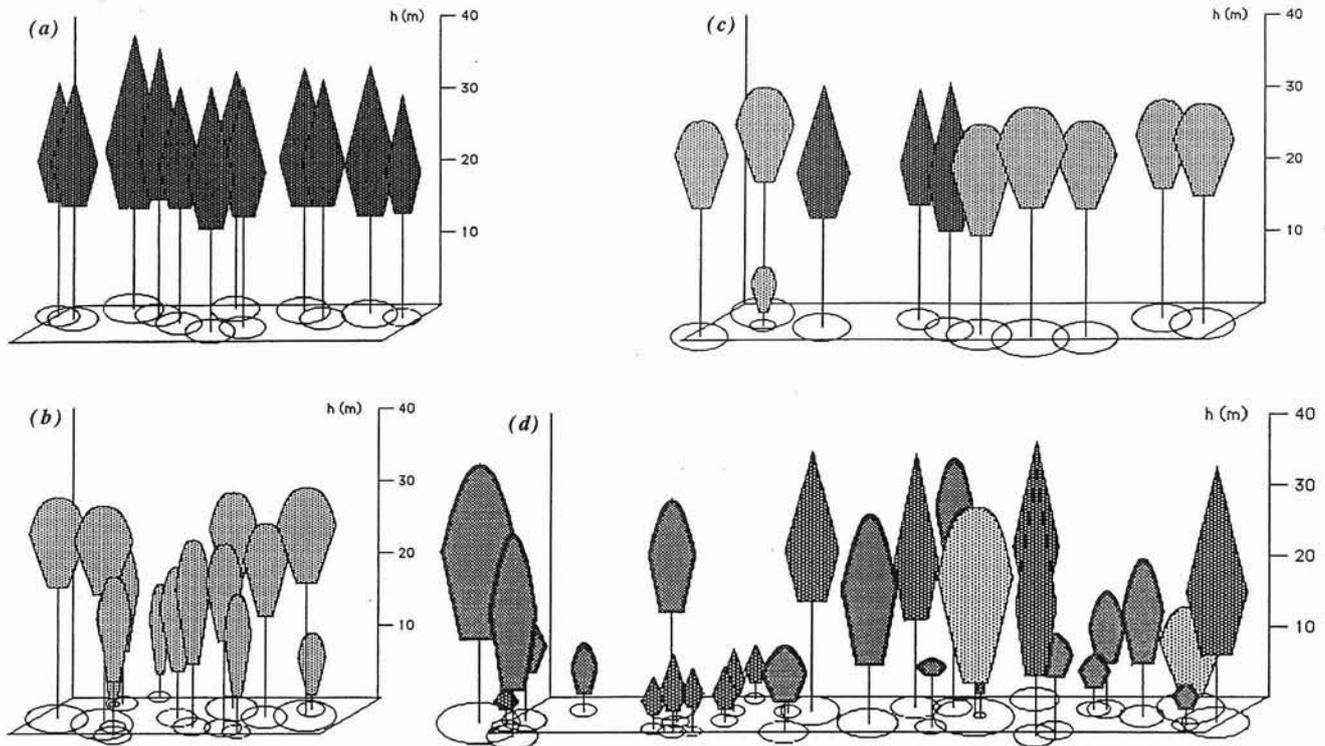


Abb. 4: Aufrißzeichnungen für fünf Meter breite Bestandeszonen, ausgeführt vom Programm AUFRISS.
 (a) Fichten-Reinbestand Zwiesel 111/5 im Forstamt Zwiesel im Jahr 1982, nach der Durchforstung (Zone 20–25 m).
 (b) Buchen-Reinbestand Zwiesel 111/4 im Forstamt Zwiesel im Jahr 1982, vor der Durchforstung (Zone 45–50 m).
 (c) Fichten-Buchen-Mischbestand Zwiesel 111/3 im Forstamt Zwiesel im Jahr 1982, nach der Durchforstung (Zone 0–5 m).
 (d) Fichten-Tannen-Buchen-Mischbestand Freyung 129/2 im Forstamt Freyung im Jahr 1980 (Zone 0–5 m).
 hellgrau Buche; dunkelgrau Fichte; grau Tanne

Tabelle 1: Kronenmodelle der Licht- und Schattenkrone für Fichte, Buche und Tanne. Die Form der Lichtkrone wird über die Parabelgleichung $r_L = a \times e^b$ und die Form der Schattenkrone über die Geradengleichung $r_S = c + e \times d$ berechnet. Angegeben ist die Ableitung der Parameter a, b, c und d (Variablenbezeichnungen vgl. Abb. 3).

Baumart	Lichtkrone			Schattenkrone		
	a	l_0	b	c	d	r_{kra}
Fichte	$a = r_{max}/l_0$	$l \times 0.66$	1.00	$r_{max}-d \times l_0$	$\frac{(r_{kra}-r_{max})}{(l-l_0)}$	$r_{max} \times 0.50$
Buche	$a = r_{max}/\sqrt{l_0}$	$l \times 0.40$	0.33	$r_{max}-d \times l_0$	$\frac{(r_{kra}-r_{max})}{(l-l_0)}$	$r_{max} \times 0.33$
Tanne	$a = r_{max}/\sqrt{l_0}$	$l \times 0.50$	0.50	$r_{max}-d \times l_0$	$\frac{(r_{kra}-r_{max})}{(l-l_0)}$	$r_{max} \times 0.50$

gangsgrößen Kronenlänge (l) und Kronenradius (r_{max}) und in Abbildung 3 die dazugehörigen Variablenbezeichnungen enthalten.

Die Abbildungen 4a und b zeigen Aufrißzeichnungen von 5 m breiten Streifen aus dem Fichten-Reinbestand ZWI 111/5 und dem Buchen-Reinbestand ZWI 111/4, deren Kronendach im Aufnahmejahr 1982 wenig höhenstrukturiert und aufgelockert ist. Es dominieren gut bekronete, sozial begünstigte Leistungsträger. Der Fichten-Buchen-Mischbestand Zwiesel 111/3 auf Abbildung 4c setzt sich

aus einer Gruppenmischung von Fichten und Buchen zusammen und hat eine gute Ausstattung mit Buchenunterstand. In dem Fichten-Tannen-Buchen-Plenterbestand Freyung 129/2 mischen sich einzelbaumweise und in Gruppenstruktur Fichten, Tannen und Buchen verschiedenster Alter und Dimensionen auf engstem Raum (Abb. 4 d). Die Tannen passen sich an ihren Druckstand an, indem sie relativ breite Kronen ausbilden.

Abbildung 5 zeigt einen Bestandesausschnitt aus der Fichten-Buchen-Mischbestandsfläche ZWI 111/3 in drei Entwicklungsphasen: Zu Beginn des betrachteten Wachstumszeitraumes – im Jahr 1954 (Abb. 5, oben) – war die Bestockung relativ dicht und der Konkurrenzdruck zwischen den Bäumen entsprechend groß. Abbildung 5 (Mitte und unten) zeigt denselben Bestandesausschnitt vor und nach der Auslesedurchforstung, die im Herbst 1982 durchgeführt wurde. Zwei bis drei Jahrzehnte nach der Erstaufnahme in den fünfziger Jahren zeigen die Bestände einen relativ homogenen Aufbau; die Stammzahlen sind infolge der Selbstdifferenzierung, der konkurrenzbedingten Stammausfälle in der Unter- und Mittelschicht und der hochdurchforstungsartigen Eingriffe in der Oberschicht deutlich zurückgegangen. Solche Zeitserien von Aufrißzeichnungen wie diese dokumentieren die Entwicklung der räumlichen Bestandesstruktur und veranschaulichen Veränderungen der Wuchskonstellation von Einzelbäumen.

5 Das Programm RAUM

Mit der Einmessung der Stammpositionen und der Ableitung der Kronen auf einer Versuchsfläche steht uns ein Informationspotential über ihre räumliche Bestandesstruktur zur Verfügung, das durch die Anfertigung von Baumverteilungskarten, Kronenkarten und Aufrißzeichnungen allein nicht annähernd ausgeschöpft wird. Um die räumliche Struktur des Kronenraumes und das dreidimensionale nachbarliche Umfeld jedes Bestandesgliedes charakterisieren zu können, wurde das Programm RAUM erstellt. Tragendes Element des Programms RAUM ist eine dreifach dimensionierte Matrix, in welche für jeden Kubikmeter Bestandesraum einer Versuchs- oder Testfläche ein Informationsgehalt eingespeichert werden kann. Beispielsweise wäre für die räumliche Erfassung eines Untersuchungsbestandes mit den Abmessungen 20 m × 20 m und einer Maximalhöhe von 25 m eine Matrix mit der Dimensionierung (20, 20, 25) erforderlich, d. h. der Bestandesraum würde sich aus 10 000 Zellen der Größe 1 cbm aufbauen. Dem Zentrum der Zellen – bei den Zellen



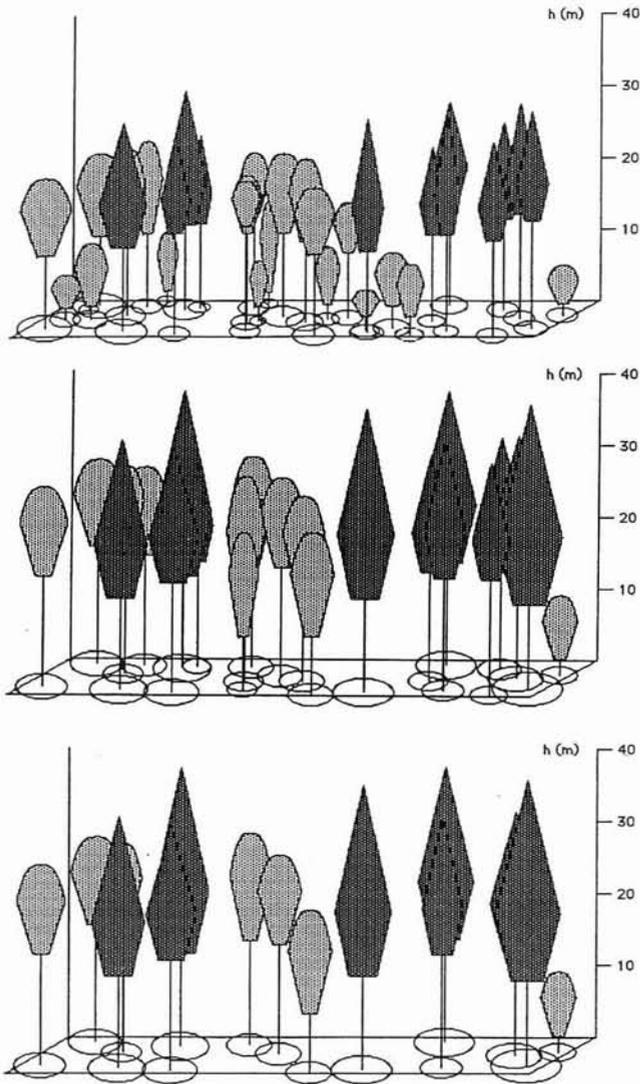


Abb. 5: Bestandesdynamik auf einem 5 m breiten Ausschnitt (Zone 30 m–35 m) der Fichten-Buchen-Mischbestandsfläche Zwiesel 111/3 nach den Ergebnissen der Aufnahmen im Jahre 1954 und 1982.

(oben) Fichten-Buchen-Mischbestand im Herbst 1954;
 (Mitte) Fichten-Buchen-Mischbestand im Herbst 1982 vor der Df.;
 (unten) Fichten-Buchen-Mischbestand im Herbst 1982 nach der Df.
 hellgrau Buche; dunkelgrau Fichte

(1, 1, 1) oder (2, 2, 5) wären das z. B. die Punkte mit den Koordinaten (0.5, 0.5, 0.5) bzw. (1.5, 1.5, 4.5) – können beliebige Informationen zugeordnet werden (Abb. 6). Die Zellausdehnung, die für die folgenden Testrechnungen auf 1 cbm eingestellt wurde, kann je nach der gewünschten Aussagegenauigkeit auch größer oder kleiner gewählt werden. In einem ersten Abschnitt des Programms RAUM werden alle Bestandesglieder einer zu untersuchenden Testfläche nacheinander in die Matrix eingeführt: Auf der Basis der Stammfußkoordinaten, der Kronenradien, der Dimensionsgrößen Höhe und Kronenansatzhöhe und bei Zugrundelegung der modellhaft nachgebildeten baumartenspezifischen Kronenformen (vgl. Abb. 3 und Tab. 1)

Abb. 7: Horizontalschnitte durch den Kronenraum eines Buchen-Reinbestandes (links) und eines Fichten-Reinbestandes (rechts) mit den Ergebnissen der Trefferabfrage.

Versuchsfläche Zwiesel 111, Aufnahme Herbst 82 (nach der Durchforstung)

(links) Parzelle 4
 (rechts) Parzelle 5

(oben) Horizontalschnitte in der Höhe 25 m
 (unten) Horizontalschnitte in der Höhe 30 m

hellgrau Buche; dunkelgrau Fichte; schwarz Mehrfachüberschirmung

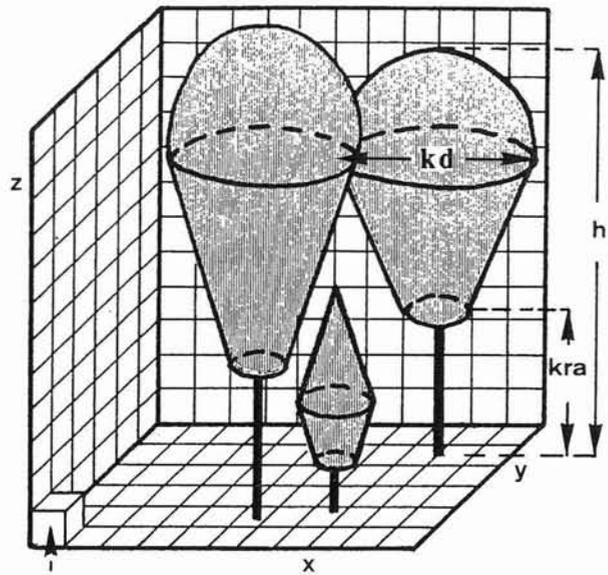
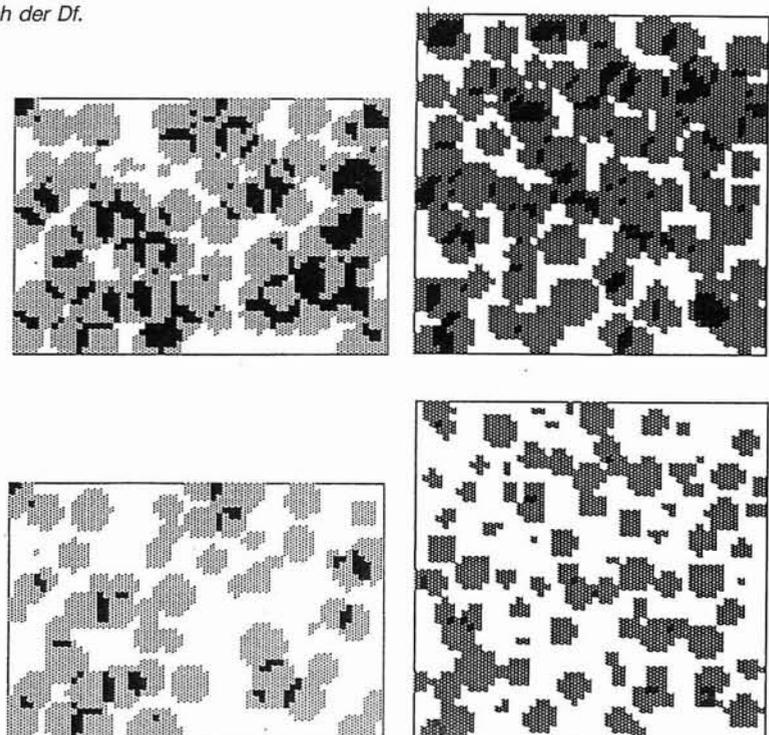


Abb. 6: Erfassung der räumlichen Ausdehnung eines Baumes durch Trefferabfrage. In einer dreidimensionalen Matrix werden für jeden Kubikmeter Bestandesraum Informationen u. a. über die Präsenz verschiedener Baumarten und die Beschirmungsdichte abgespeichert.

h = Baumhöhe
 kd = mittlerer Kronendurchmesser
 kra = Kronenansatzhöhe
 x, y = Stammfußkoordinaten

wird die räumliche Ausdehnung der Bäume in kartesische Koordinaten umgesetzt und in der Raummatrix lokalisiert. In einem zweiten Programmabschnitt wird nach dem Trefferprinzip für alle Zellenmittelpunkte der Raummatrix bestimmt, von welchen Bäumen, welchen Baumarten und mit welcher Häufigkeit sie getroffen werden. Die Ergebnisse der Trefferabfrage werden in der Raummatrix abgespeichert. Sie enthält dann ein modellhaftes, gerastertes Abbild der tatsächlichen Bestandesstruktur und stellt weitreichende Informationen über die Ausnutzung des Kronenraumes durch die Baumkronen und die Präsenz verschiedener Baumarten in unterschiedlichen Höhenbereichen bereit. Aufbauend auf den Informationen, die in der Raummatrix abgespeichert sind, zeichnet ein dritter Abschnitt des Programms RAUM Horizontalschnitte durch den Bestandesraum und Vertikalprofile der Überschirmung. Die Ergebnisse der Treffer-

abfrage, die die Raummatrix festhält, sind außerdem als Trefferstatistik abrufbar.

Horizontalschnitte durch den Kronenraum

Die Abbildungen 7 bis 9 zeigen die Ergebnisse der Strukturanalyse mit dem Programm RAUM am Beispiel der eingangs vorgestellten Testflächen in den Forstämtern Zwiesel und Freyung. Im linken Teil von Abbildung 7 sind die Horizontalschnitte durch den Kronenraum des Buchenreinbestandes ZWI 111/4 (Aufnahme 1982, nach der Durchforstung) in den Höhenzonen 25 m (oben) und 30 m (unten) mit den Ergebnissen der Trefferabfrage dargestellt. Der Horizontalschnitt in 25 m Höhe läßt einen hohen Besatz durch Buchenkronen und zahlreiche mehrfachbesetzte Zellen, die schwarz eingezeichnet sind, erkennen. Oberhalb und unterhalb dieser „Hauptkonkurrenzzone“ in 25 m Höhe ist das Kronendach wesentlich aufgelockelter; beispielsweise greifen die Kronen in der Höhe 30 m kaum noch ineinander.

Ganz ähnlich sind die Übersichtsverhältnisse im Fichtenreinbestand ZWI 111/5 (Aufnahme 1982, nach der Durchforstung). Auch hier erkennen wir in 25 m Höhe (Abb. 7, rechts oben) einen relativ dichten Kronenschluß und zahlreiche Kronenüberlappungen, während sich die Fichten im oberen Kronenraum (Abb. 7, rechts unten) nur selten berühren. Im Fichten-Buchen-Mischbestand ZWI 111/3 (Aufnahme 1982, nach der Durchforstung) sind die Kronen der Fichten und Buchen in einem deutlich breiteren Höhenbereich mit-

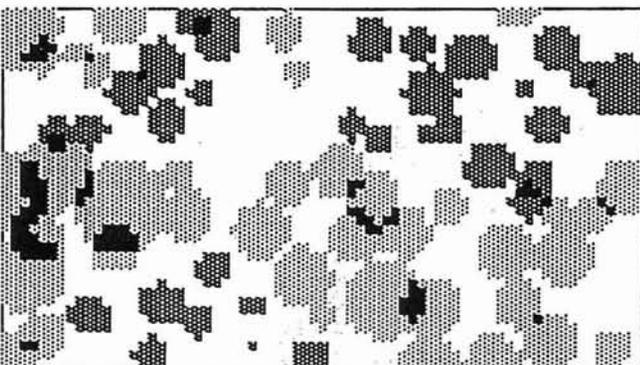
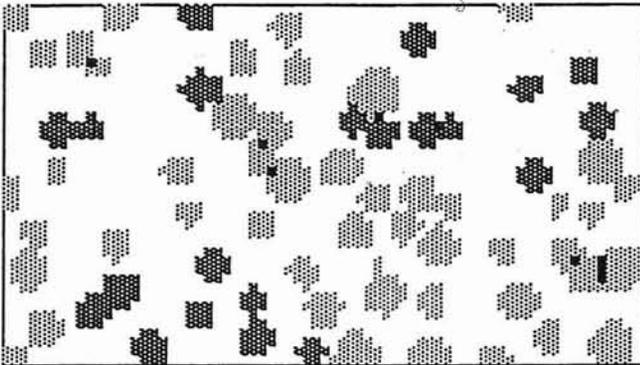


Abb. 8: Horizontalschnitte durch den Kronenraum eines Fichten-Buchen-Mischbestandes (Versuchsfläche Zwiesel 111, Parzelle 3) nach den Ergebnissen der Aufnahme im Herbst 1982 (nach der Durchforstung).

(oben) Horizontalschnitt in der Höhe 20 m, (Mitte) in der Höhe 25 m, (unten) in der Höhe 30 m.

hellgrau Buche; dunkelgrau Fichte; schwarz Mehrfachbesetzungen

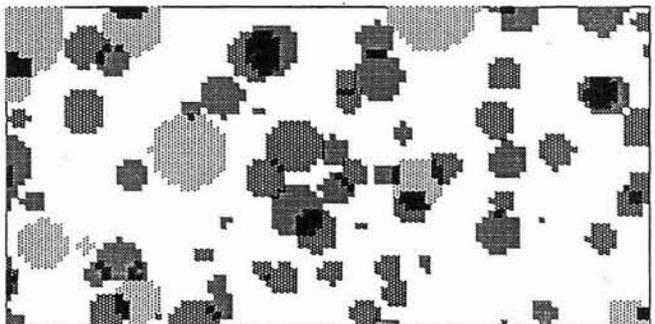
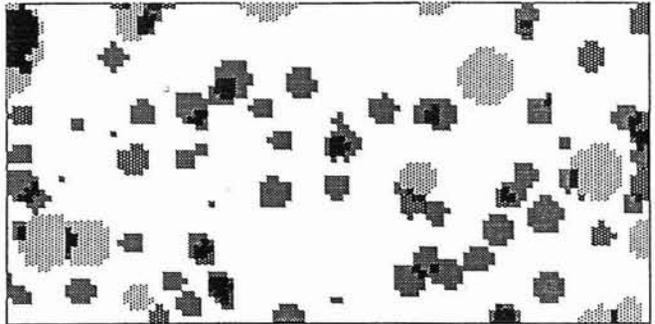
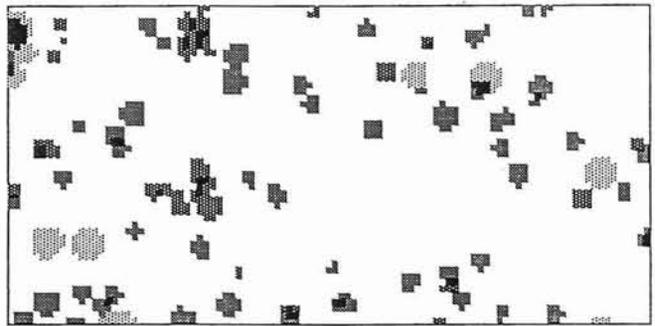


Abb. 9: Präsenz der Baumarten Fichte, Tanne und Buche in verschiedenen Höhenschichten in einem Plenterbestand im Forstamt Freyung (Versuchsfläche FRY 129/2, Aufnahme Herbst 1980). Dargestellt sind Horizontalschnitte durch den Kronenraum in den Höhen 5 m, 15 m und 25 m.

(oben) Horizontalschnitt in der Höhe 5 m, (Mitte) in der Höhe 15 m, (unten) in der Höhe 25 m.

hellgrau Buche; dunkelgrau Fichte; grau Tanne; schwarz Mehrfachbesetzungen

einander verzahnt (Abb. 8). Im Unterschied zum Reinbestand tritt hier nicht ein schmaler Höhenbereich als ausgesprochene Konkurrenzzone in den Vordergrund, vielmehr geht aus den Horizontalschnitten in 20 m, 25 m und 30 m Höhe hervor, daß die Buche (hellgrau) im unteren Kronenraum (20 m) dominiert. Im mittleren Höhenbereich (25 m) kommen Fichten (dunkelgrau) und Buchen etwa gleich häufig vor und nutzen den vorhandenen Wuchsraum zu großen Teilen aus. Im oberen Kronenraum (30 m) greifen benachbarte Kronen kaum ineinander.

Auf der Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldversuchsfläche Freyung 129/2 (Aufnahme 1980) im Forstamt Freyung sind die Baumarten Fichte (dunkelgrau), Tanne (grau) und Buche (hellgrau) noch breiter über alle Höhenschichten verteilt als im zuvor betrachteten Fichten-Buchen-Mischbestand (Abb. 9). Mehrfache Zellenbesetzungen (schwarz) kommen relativ selten vor. Der Horizontalschnitt in fünf Metern Höhe (Abb. 9, oben) zeigt die relativ geringe Ausstattung des Plenterbestandes mit nachwachsenden Bäumen. Der strukturelle Aufbau der mittleren und oberen Kronenschichten, der auf den Horizontalschnitten in 15 m und 25 m Höhe erkennbar ist (Abb. 9, Mitte und unten), steuert die Wuchsprozesse in dem darunterliegenden Kronenraum.

Vertikalprofile der Übersicherung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Trefferabfrage, die das Programm RAUM bei der Analyse eines Bestandes in der Raummatrix abspeichert, kann eine Statistik über die Verteilung der Kro-

nen im Bestandesraum angefertigt werden, wie sie auf Abbildung 10 beispielhaft für drei Testflächen dargestellt ist. Diese Abbildungen lassen erkennen, welche Prozentanteile die verschiedenen Baumarten im Bestandesraum der betrachteten Versuchsfläche einnehmen.

Im linken und mittleren Teil der Abbildung 10 (oben, Mitte und unten) sind – getrennt nach Baumarten und für alle Baumarten zusammen – die prozentischen Anteile der Baumkronen am Bestandesraum in 1-Meter-Höhenschichten angegeben. Zur Berechnung dieser Prozentanteile wurden vom Programm RAUM – am Bestandesboden beginnend und in 1-Meter-Schritten bis zum Wipfelraum fortschreitend – Horizontalschnitte durch den Kronenraum gelegt. In einem Suchlauf wurde für jeden Horizontalschnitt ermittelt, aus wieviel Zellen er sich aufbaut (vgl. Abb. 6), und wie diese Zellen anteilmäßig durch verschiedene Baumarten besetzt sind. Ist diese Berechnung für alle 1-Meter-Höhenschichten ausgeführt, so stehen uns die Prozentangaben für die Vertikalprofile der Überschirmung auf Abbildung 10 zur Verfügung. Im rechten Teil der Abbildung 10 wurde außerdem die kumulative Häufigkeitsverteilung für die Präsenz der Baumkronen innerhalb des Kronenraumes eingezeichnet. Die kumulative Häufigkeitsverteilung zeigt den Gradienten der Überschirmungszunahme vom Wipfelraum bis zum Boden an. Dieser Gradient ist ein Indikator für den Kurvenverlauf der Lichtextinktion innerhalb des Kronenraumes.

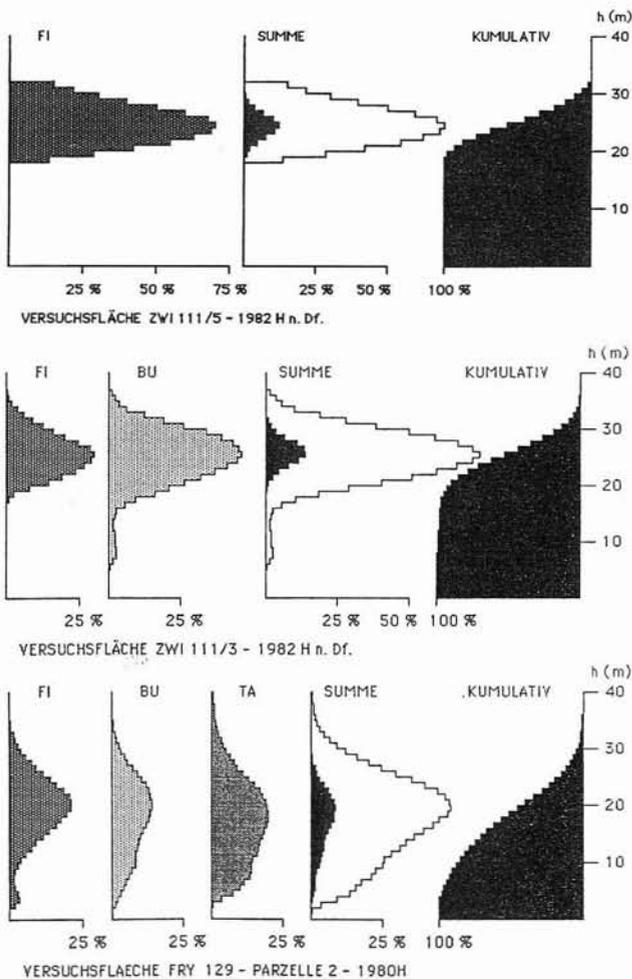


Abb. 10: Vertikalprofile der Überschirmung für einen Fichten-Reinbestand (oben), einen Fichten-Buchen-Mischbestand (Mitte) und einen Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldbestand (unten). Getrennt nach Baumarten (FI = Fichte, BU = Buche und TA = Tanne) und für alle Baumarten zusammen (SUMME) sind die prozentischen Anteile am Bestandesraum für 1-Meter-Höhenschichten angegeben. In dem Abbildungsteil (SUMME), der die Überschirmung für die Baumarten insgesamt ausweist, zeigt die äußere Verteilungskurve einfache und die innere schwarz eingezeichnete Verteilungskurve mehrfache Zellenbesetzungen an. Im rechten Teil der Abbildung (KUMULATIV) ist die kumulative Zunahme der Überschirmung vom Wipfelraum bis zum Boden dargestellt.

(oben) Fichten-Reinbestand Zwiesel 111/5, Herbst 1982, nach Df., (Mitte) Fichten-Buchen-Mischbestand Zwiesel 111/3, Herbst 1982, nach Df., (unten) Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwald Freyung 129/2, Herbst 1980.

Abbildung 10 (oben) zeigt das Vertikalprofil der Überschirmung für den Fichten-Reinbestand Zwiesel 111/5 (Aufnahme Herbst 1982). Auf dieser Versuchsfläche treffen die Kronen in einer schmalen Höhenzone, in etwa 25 m Höhe, aufeinander. In dieser Höhenschicht sind, wie die Summenkurve (SUMME) erkennen läßt, etwa 75 Prozent der Zellen der Raummatrix mit Kronen besetzt und Mehrfachbesetzungen der Zellenmittelpunkte der Raummatrix (schwarze Verteilungskurve) am häufigsten. Im Fichten-Buchen-Mischbestand Zwiesel 111/3 (Aufnahme Herbst 1982) sind die Häufigkeitsverteilungen über der Höhe breiter (Abb. 10, Mitte) und zweigipfelig; das kumulative Häufigkeitsdiagramm ist trapezförmig. Auf der Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldfläche Freyung 129/2 (Aufnahme Herbst 1980) verteilen sich die Baumarten über den ganzen Höhenbereich, das kumulative Häufigkeitsdiagramm hat Dreiecksform und weist auf stärkeren Lichteinfall bis in die unteren Höhenschichten hin (Abb. 10, unten).

6 Das Programm ε - ω -ANALYSE

Nach dem Prinzip der Trefferabfrage, mit dem das Programm RAUM den Kronenraum des Gesamtbestandes analysiert, können auch weitreichende Informationen über die räumliche Umgebungsstruktur von Einzelbäumen aus Aufnahmearten erschlossen werden. Für die Erfassung der Wuchskonstellation von Einzelbäumen in stärker höhenstrukturierten Beständen – wie beispielsweise in ungleichaltrigen Mischbeständen – und für die Prognose ihres Wachstums haben sich vor allem zwei Strukturparameter als wichtig erwiesen: die seitliche Einengung einer Baumkrone und ihre Beschattung durch Nachbarbäume (ASSMANN, 1953/1954). PETRI (1966) hat in den sechziger Jahren Begriffe wie „Kontaktzone zwischen Nachbarn“, „Überlagerung“, „Verspernung“ und „Ablenkung“ geprägt, die er in erster Linie zur Quantifizierung der seitlichen Einengung und Beschattung von Einzelbäumen einsetzt.

Für die numerische Erfassung der seitlichen Kroneneinengung und der Beschattung von Einzelbäumen wurde das Programm ε - ω -ANALYSE erstellt. In seiner jetzigen Version erschließt es aus Versuchsflächenaufnahmen Kennwerte für die seitliche Kroneneinengung von Einzelbäumen, die wir im folgenden ε nennen und Angaben über die Beschattung, die wir mit ω bezeichnen. Nach dem Prinzip der Trefferabfrage können aber auch andere Kennwerte zur Bemessung der räumlichen Umgebungsstruktur von Einzelbäumen errechnet werden.

Bestimmung der seitlichen Kroneneinengung ε und ihrer durchforstungsbedingten Veränderung $\Delta\varepsilon$

Die seitliche Kroneneinengung ε von Einzelbäumen im Bestand und ihre Veränderung $\Delta\varepsilon$ infolge von Durchforstungseingriffen, die neben der Beschattung die wichtigsten Bestimmungsgrößen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Wuchsaussichten eines Baumes sind, werden vom Programm ε - ω -ANALYSE nach dem folgenden Verfahren berechnet (Abb. 11, links):

In einem ersten Schritt wird aus einer zuvor abgeleiteten Beziehung zwischen der Baumhöhe h und dem potentiellen Kronendurchmesser kd_{pot} , der bei optimaler seitlicher Umlichtung zu erwarten wäre ($kd_{pot} = f[h]$), für einen zu beurteilenden Baum A in Abhängigkeit von seiner aktuellen Höhe h der potentielle Kronendurchmesser kd_{pot} bestimmt. Die Kreisscheibe mit Durchmesser kd_{pot} markiert eine

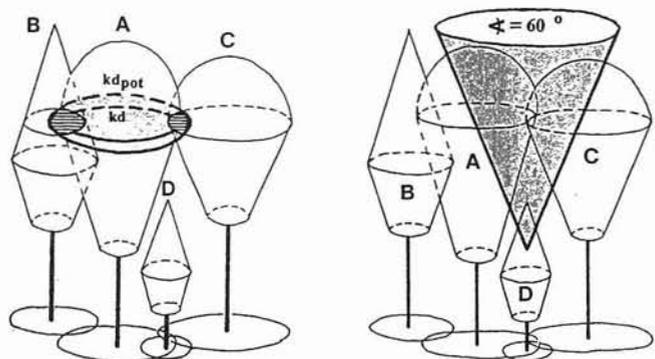


Abb. 11: Bestimmung der seitlichen Kroneneinengung ε (links) und der Beschattung ω (rechts) von Einzelbäumen. (links) Bestimmung der seitlichen Kroneneinengung ε von Baum A durch Rasterabfrage (rechts) Bestimmung der Beschattung ω von Baum D nach der Lichtkegelmethode

Umgebungszone des Baumes A, die dieser unter optimalen Wachstumsbedingungen ganz ausfüllt, aus der er aber um so stärker zurückgedrängt wird, je weiter die Kronen der Bestandesnachbarn (Abb. 11, links, Bäume B und C) in diese Zone hineinreichen.

Zur Bestimmung der seitlichen Kroneneinengung ϵ des Baumes A werden in einem zweiten Schritt von allen benachbarten Kronen (Abb. 11, links, Bäume B und C) die Überlappungsflächen mit der potentiellen Kronengrundfläche des Zentralbaumes A bestimmt (Abb. 11, links, schraffierte Schnittflächen). Diese Überlappungsanalyse erfolgt auf der Grundlage des räumlichen Modellansatzes in der Bestandesschicht, in der eine seitliche Einengung des Baumes A durch Nachbarn wirksam wird. Würde die Überlappungsanalyse unter Vernachlässigung der Baumhöhe nur auf der Grundlage der Kronenprojektionskarten erfolgen, so würden in stärker höhenstrukturierten, mehrschichtigen Beständen häufig Überlappungen und seitliche Konkurrenzeffekte diagnostiziert, die nur durch die Projektion der Kronen auf eine Ebene vorgetäuscht werden. Beispielsweise würde eine Kronenkarte eine Kronenüberlappung zwischen den Bäumen A und D oder C und D anzeigen (Abb. 11, links), obwohl sich deren Kronen nicht berühren.

Zur Berechnung der Überlappungsflächen wird die potentielle Kronengrundfläche in der Höhe der maximalen Kronenbreite von Baum A (Grenze zwischen seiner Licht- und Schattenkronen) mit einem Rasternetz unterlegt und in einem Suchlauf für jeden Rasterpunkt abgefragt, ob dieser nicht von benachbarten Kronen überlappt wird oder ob er einfach, zweifach, dreifach usw. von benachbarten Kronen geschnitten wird. Die in dem Suchlauf registrierten Zustandsmerkmale fließen in den Strukturparameter ϵ ein. Indem die durch Trefferabfrage erfaßten Überlappungsflächen in Beziehung zur gesamten Kronenfläche bei potentiellem Kronendurchmesser gesetzt werden, ergibt sich ein relatives Maß für die seitliche Kroneneinengung von Einzelbäumen durch ihre Nachbarn.

In einem dritten Schritt wird der gesamte Rechengang für die Bestandesstruktur nach einem Durchforstungseingriff wiederholt, so daß ϵ_{vor} und ϵ_{nach} sowie – darauf aufbauend – die durchforstungsbedingte seitliche Freistellung $\Delta\epsilon = \epsilon_{\text{vor}} - \epsilon_{\text{nach}}$ quantifiziert werden können.

Die Trefferstatistik der Rasterabfrage liefert nicht nur einen Gesamtwert ϵ , im folgenden auch ϵ_{ges} genannt, für die seitliche Kroneneinengung durch benachbarte Bäume, sie registriert auch, indem sie den Wert ϵ_{ges} nach Baumarten aufschlüsselt, aus welchen Baumarten sich die seitliche Kroneneinengung eines zu beurteilenden Baumes aufbaut. In einem Fichten-Buchen-Mischbestand könnte die Überlappungsanalyse für einen Baum beispielsweise zu folgendem Ergebnis kommen: $\epsilon_{\text{ges}} = 0.75$ mit einer Zusammensetzung aus $\epsilon_{\text{FI}} = 0.25$ und $\epsilon_{\text{BU}} = 0.50$. Das würde bedeuten, daß der zu beurteilende Baum zu 75 Prozent von Nachbarkronen überlappt wird und daß benachbarte Buchen einen doppelt so hohen Anteil wie Fichten zu seiner seitlichen Kroneneinengung beitragen.

Herkömmliche Konkurrenzstudien in Waldbeständen, über die u. a. die Arbeiten von DALE, DOYLE und SHUGART (1985), DANIELS, BURKHART und CLASON (1986) sowie MARTIN und EK (1984) einen guten Überblick liefern, berücksichtigen zwar, daß die Reaktion eines Baumes auf eine bestimmte Konkurrenzsituation artentypisch ist – daß z. B. die Buche schattentoleranter ist als die Fichte –, sie vernachlässigen aber im allgemeinen, daß auch die Konkurrenzwirkung baumartenspezifisch ist – daß z. B. benachbarte Buchen lichtdurchlässiger sind als benachbarte Tannen. Durch die numerische Erfassung der seitlichen Konkurrenz und ihre Aufschlüsselung nach Baumarten mit dem Programm ϵ - ω -ANALYSE soll die Voraussetzung dafür geschaffen werden, sowohl die artentypische Reaktion auf Konkurrenz als auch die artentypische Konkurrenzwirkung verschiedener Baumarten aus Versuchsflächen-daten zu erschließen. Für eine ausreichend genaue Erfassung und modellhafte Nachbildung der Konkurrenzverhältnisse in Mischbeständen ist nach HÖHN (1972) die Kenntnis der artentypischen Reaktion auf Konkurrenz ebenso wichtig wie die der artentypischen Konkurrenzwirkung der miteinander vergesellschafteten Baumarten.

Bestimmung der Beschattung ω und ihrer durchforstungsbedingten Veränderung $\Delta\omega$
Zur Bestimmung der Beschattung eines Baumes konstruieren wir im Modell, in Anlehnung an SLOBODA und PFREUNDT (1989), in 70 Prozent der Baumhöhe einen Licht-

kegel mit einem Öffnungswinkel von 60 Grad (Abb. 11, rechts). Indem die Spitze des Lichtkegels in 70 Prozent der Baumhöhe positioniert wird, ist die Erfassung der Beschattung ω auf den oberen, besonders stark assimilierenden Kronenabschnitt des Baumes ausgerichtet, auf einen Kronenbereich, in dem nach BAUMGARTNER (1957) jeder Dezimeter Höhe, um den die Krone eines Baumes die Nachbarn überragt, einen großen Zuwachs an Energie bedeutet. Je weiter sich die Nachbarbäume in den Lichtkegel des Zentralbaumes D ausbreiten, um so ungünstiger ist sein Lichtangebot und damit seine Wuchskonstellation. Die Überschirmungsverhältnisse innerhalb des Lichtkegels werden durch den Strukturparameter ω beschrieben, der eine Indikatorgröße für die Beschattung des Baumes durch benachbarte Kronen darstellt und vom Programm ϵ - ω -ANALYSE nach dem Verfahren der Trefferabfrage in folgenden Schritten berechnet wird: In einem ersten Schritt werden für den zu beurteilenden Baum D der Lichtkegel und die in den Kegel hineinreichenden Konkurrenten bestimmt (vgl. Abb. 11, rechts, Bäume A und C). Zur Erfassung der Beschattung innerhalb des Lichtkegels belegt das Programm ϵ - ω -ANALYSE das Kegellinnere in einem zweiten Schritt mit einem dreidimensionalen Gitternetz, wonach in einem Suchlauf von allen Zellenmittelpunkten, die durch das Gitternetz beschrieben werden, abgefragt werden kann, ob sie von Nachbarn getroffen werden, wie häufig sie von Nachbarn getroffen werden und von welchen Baumarten die Treffer stammen. Jeder Zellenmittelpunkt des Gitternetzes, der von einer Nachbarkrone getroffen wird, fließt, gewichtet mit dem Reziprok der quadratischen Entfernung zwischen dem Zellenmittelpunkt und der Kegelspitze in den Beschattungswert ω ein. So wird die Überschirmung durch benachbarte Kronen stärker gewichtet als die Überschirmung durch entfernter stehende Bäume. Die Selbstüberschirmung hat keinen Einfluß auf den Beschattungsindex. Der errechnete Beschattungsindex ω ist ein dimensionsloser, relativer Weiserwert für die Beschattung eines Baumes durch seine Nachbarn. Analog zur Berechnung der seitlichen Kroneneinengung ϵ wird neben dem Wert für die Beschattung insgesamt ($\omega = \omega_{\text{ges}}$) auch deren Zusammensetzung nach Baumarten berechnet, so daß für einen Baum im Fichten-Tannen-Buchenbestand der Befund einer Beschattungsanalyse lauten könnte: $\omega_{\text{ges}} = 8.0$, mit $\omega_{\text{FI}} = 4.0$, $\omega_{\text{TA}} = 3.0$ und $\omega_{\text{BU}} = 1.0$. Der Baum wäre in diesem Fall überwiegend von Fichten und Tannen und in geringerem Maße von benachbarten Buchen beschattet. Die Beschattungsanalyse wird vom Programm ϵ - ω -ANALYSE für die Bestockungsverhältnisse vor und nach einem Durchforstungseingriff durchgeführt. Die Differenz $\Delta\omega$ liefert uns ein aussagekräftiges

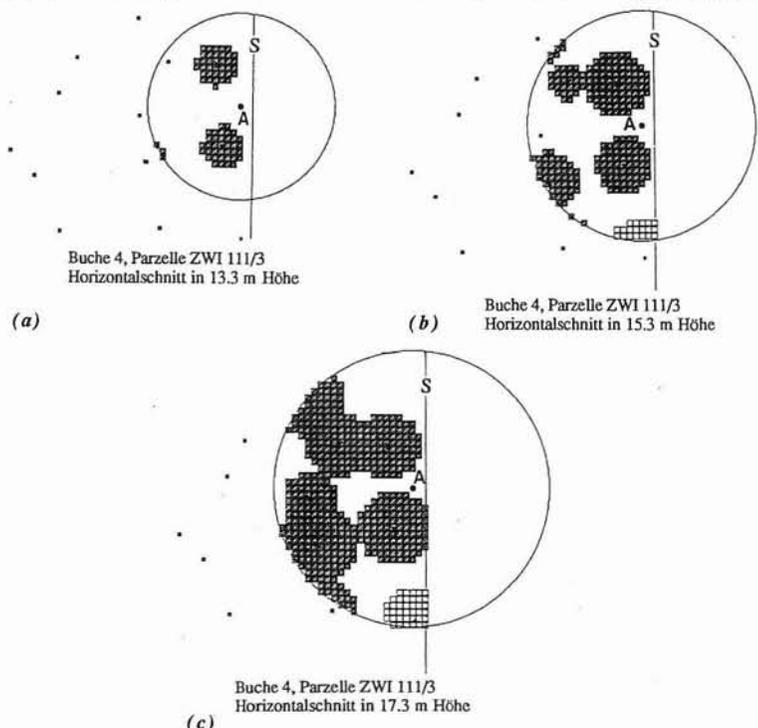


Abb. 12: Beschattungsanalyse durch Rasterabfrage innerhalb des Lichtkegels von Baum A in den Höhen 13,3 m (a), 15,3 m (b) und 17,3 m (c). In den Lichtkegel des Baumes A reichen die Kronen benachbarter Fichten (graue Rasterquadrate) und Buchen (weiße Rasterquadrate). Die eingezeichneten Sekanten S teilen den innerhalb der Versuchsfläche liegenden Teil des Lichtkegels von dem über den Flächenrand hinausreichenden Teil ab.

Maß für die durchforstungsbedingte Auflichtung der Krone des zu beurteilenden Baumes.

Abbildung 12 zeigt beispielhaft für drei Höhenbereiche die Beschattungsverhältnisse innerhalb des Lichtkegels für einen Randbaum auf der Fichten-Buchen-Mischbestandsfläche Zwiesel 111/3. Dargestellt sind die Schnitte durch den Lichtkegel des zu beurteilenden Baumes A in den Höhen 13,3 m, 15,3 m und 17,3 m (Abb. 12, a bis c) mit den Ergebnissen der Trefferabfrage. In den Lichtkegel von Baum A reichen die Kronen benachbarter Fichten (dunkelgraue Rasterquadrate) und Buchen (helle Rasterquadrate). Mit zunehmender Höhe vergrößern sich die Öffnungsweite des Lichtkegels und der zu analysierende Umgebungsbereich von Baum A. Die eingezeichneten Sekanten (S) deuten die Randlinie der Versuchsfläche an, über welche der Lichtkegel hinausreicht.

Testrechnungen mit dem Programm

ε - ω -ANALYSE

Die folgenden Rechenläufe am Beispiel der Testbestände in Zwiesel und Freyung sollen verdeutlichen, in welchem Wertebereich die Kennwerte ε und ω in verschiedenen strukturierten Rein- und Mischbeständen liegen und welchen Informationsgehalt ε und ω haben. Auf den Abbildungen 13 und 14 sind für alle Einzelbäume unserer Testbestände die Beschattung ω_{ges} (Ordinate) über der seitlichen Kroneneinengung ε_{ges} (Abszisse) aufgetragen; die einzelnen Symbole (Kreise, Quadrate, Rauten) repräsentieren jeweils einen Baum und sein ω_{ges} - ε_{ges} -Wertepaar. Die Lage der Punktwolken spiegelt die räumliche Konfiguration der Einzelbäume wider und läßt erkennen, nach welcher Strategie eine Baumpopulation den ihr verfügbaren Bestandesraum ausnutzt. Besteht eine Population beispielsweise nur aus Bäumen, deren Kronen unbeschattet und seitlich nicht eingeeengt sind – wie das für Solitäre zutrifft –, so würden sich die Wertepaare im Ursprung ($\varepsilon_{ges} = 0.0$, $\omega_{ges} = 0.0$) konzentrieren. Je höher die Bestockungsdichte ist, um so größer werden die Strukturparameter ε_{ges} und ω_{ges} der Einzelbäume, und je heterogener die Bestandesstruktur ist, um so breiter wird die Streuung von ε_{ges} und ω_{ges} .

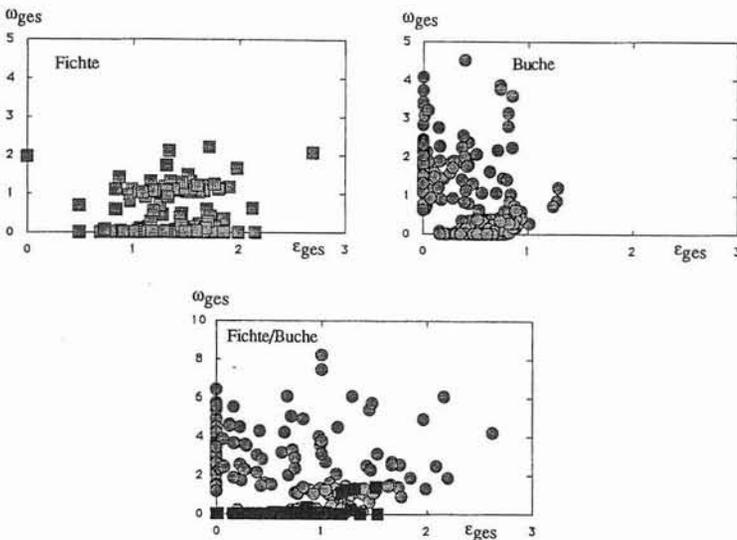


Abb. 13: Zusammenhang zwischen den Strukturparametern ε_{ges} (seitliche Kroneneinengung) und ω_{ges} (Beschattung) für die Fichten des Reinbestandes Zwiesel 111/5 (oben, links), die Buchen des Reinbestandes Zwiesel 111/4 (oben, rechts) und die Fichten und Buchen des Mischbestandes Zwiesel 111/3 (unten).

(oben, links) Versuchsfläche Zwiesel 111/5, Aufnahme 1959, vor der Durchforstung; (oben, rechts) Versuchsfläche Zwiesel 111/4, Aufnahme 1959, vor der Durchforstung; (unten) Versuchsfläche Zwiesel 111/3, Aufnahme 1954, vor der Durchforstung.

Quadrate Fichten; Kreise Buchen

In dem einschichtigen Fichten-Reinbestand Zwiesel 111/5 (Abb. 13, links, oben) wird die Wuchskonstellation der Einzelbäume vor allem durch ihre seitliche Kroneneinengung geprägt, während die Beschattungsverhältnisse aller Bestandesglieder relativ ähnlich sind. Es überwiegen Bäume mit mittlerer bis starker seitlicher Kroneneinengung ($\varepsilon_{ges} = 1.0-2.0$) und gutem Lichtangebot ($\omega_{ges} < 1.0$).

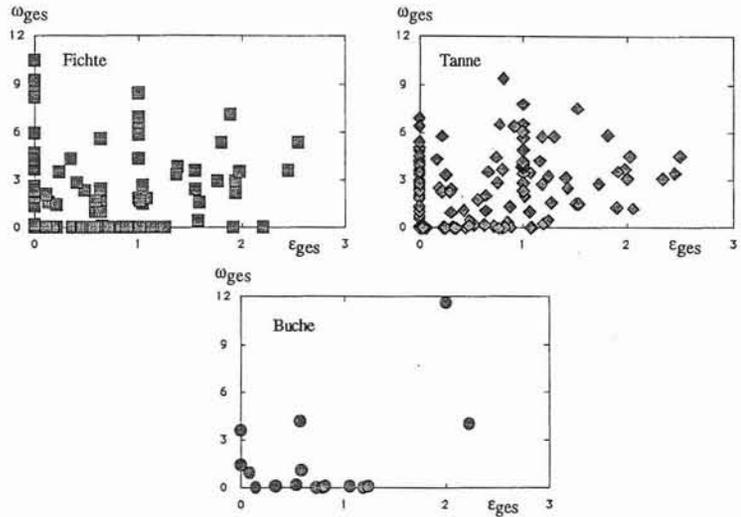


Abb. 14: Zusammenhang zwischen den Strukturparametern ε_{ges} (seitliche Kroneneinengung) und ω_{ges} (Beschattung) für die Fichten (oben, links), Tannen (oben, rechts) und Buchen (unten) des Plenterbestandes Freyung 129/2 vor der Durchforstung im Herbst 1980.

Quadrate Fichten; Rauten Tannen; Kreise Buchen

Seitlich freigestellte, unterständige Bäume mit Strukturparametern von $\varepsilon_{ges} = 0.0$ und $\omega_{ges} > 2.0$ und herrschende Bäume, die weder seitlich eingeeengt noch beschattet sind ($\varepsilon_{ges} = 0.0$, $\omega_{ges} = 0.0$), kommen in diesem niederdurchforsteten Bestand nicht vor. Das Verteilungsmuster der Strukturparameter für den hochdurchforsteten Buchen-Reinbestand Zwiesel 111/4 (Abb. 13, rechts, oben) weist neben einem großen Anteil von Bäumen, die kaum seitlich eingeeengt und beschattet sind, auch viele unterständige Bäume mit geringer seitlicher Kroneneinengung ($\varepsilon_{ges} = 0.0-0.5$), aber starker Beschattung ($\omega_{ges} > 1.0$) auf. In dem Fichten-Buchen-Mischbestand Zwiesel 111/3 (Abb. 13, unten) besetzt die Fichte (schwarze Quadrate) solche Bestandeszonen, in denen sie kaum beschattet und nur mäßig seitlich eingeeengt ist. Der Schattbaumcharakter und die große Kronenplastizität der Buche (graue Kreise) kommen zum Ausdruck in ihrer Präsenz im gesamten Bereich der vorkommenden ε - ω -Wertekombinationen. Die größte Bandbreite an Wuchskonstellationen ($\varepsilon_{ges} = 0.0-2.5$ und $\omega_{ges} = 0.0-12.0$) weist der Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldbestand Freyung 129/2 auf (Abb. 14). Einen großen Anteil an der Population haben zum einen unterständige Bestandesglieder, die seitlich freistehend, aber stark beschattet sind, zum anderen herrschende, wenig beschattete Bäume, die durch Nachbarn seitlich eingeeengt werden. In einem ungleichaltrigen und mehrschichtigen Bestand wie diesem leisten beide Strukturparameter einen eigenen, voneinander unabhängigen Beitrag zur numerischen Erfassung der räumlichen Wuchskonstellation von Einzelbäumen. Die Erfassung der Wuchskonstellation über nur einen der Strukturparameter ε oder ω würde hier einen erheblichen Informationsverlust bedeuten. Die Grafiken bezeichnen die Strukturparameter für die seitliche Kroneneinengung und Beschattung von Einzelbäumen vor Durchforstungseingriffen. Die durchforstungsbedingten Änderungen der Strukturparameter ($\Delta\varepsilon = \varepsilon_{vor} - \varepsilon_{nach}$ bzw. $\Delta\omega = \omega_{vor} - \omega_{nach}$) erreichen auf den vorgestellten Versuchsflächen Werte bis $\Delta\varepsilon = 0.4$ und $\Delta\omega = 0.2$. Die Strukturparameter ε , $\Delta\varepsilon$, ω und $\Delta\omega$ dienen zum einen der Analyse der Wuchskonstellation und Wuchsaussicht von Einzelbäumen, zum anderen können sie zur Steuerung ihres Zuwachsverhaltens in Wuchsmodellen herangezogen werden.

8 Zusammenfassung

Das herkömmliche Instrumentarium für die Datenerfassung und -auswertung sowie für die modellhafte Abbildung des Waldwachstums entstammt der Reinbestandsforschung und ist auf Bestandesmittelwerte, Bestandessummenwerte und Häufigkeitsverteilungen von Einzelstammdimensionen ausgerichtet. Es vernachlässigt die räumliche Bestandeskonfiguration und unterstellt ein weitgehend homogenes Wuchsverhalten aller Bestandesglieder. Eine Schlüsselerkenntnis aus neueren Untersuchungen über das

Wachstum von Tier- und Pflanzenbeständen ist, daß wir die Entwicklungsdynamik heterogener Populationen besser verstehen können, wenn wir sie in ihr Mosaik von Individuen auflösen und deren Miteinander als räumlich-zeitliches System betrachten. Ein solcher Übergang von der bestandesbezogenen zur einzelbaumorientierten Betrachtungsweise bedeutet einen grundlegenden Paradigmenwechsel in der Waldwachstumsforschung, der für die Forstwissenschaft neue Erkenntnisse über das Einzelbaum- und Bestandeswachstum und für die Forstwirtschaft eine verbesserte Informationsgrundlage für Planung, Kontrolle und Vollzug erwarten läßt. Zur Konsolidierung des einzelbaumorientierten Forschungsansatzes sollte erstens unser Datenfundus über das Wachstum von Einzelbäumen in Rein- und Mischbeständen konsequent erweitert werden. Zweitens sind auf dem Sektor der einzelbaumorientierten Modellbildung umfangreiche Entwicklungsarbeiten vonnöten, bei denen wir auf Vorarbeiten im angloamerikanischen Raum zurückgreifen können. Drittens ist unsere Programmbibliothek zur Versuchsauswertung, die bisher auf eine bestandesbezogene Auswertung zielte, um Standardprogramme zur Erschließung einzelbaumbezogener Informationen aus Versuchsflächen zu erweitern.

Die am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumkunde entwickelten EDV-Programme KROANLY, RAUM, AUFRISS und ϵ - ω -ANALYSE erschließen aus Versuchsflächenendaten Informationen über die dreidimensionale Bestandesstruktur und die Wuchskonstellation von Einzelbäumen und dienen der einzelbaumorientierten Versuchsflächenauswertung. Die Programme werden anhand der Strukturdaten der Versuchsflächen Zwiesel 111 und Freyung 129 vorgestellt. Das Programm KROANLY fertigt Kronenkarten an, berechnet Kronengrundflächen und liefert Aussagen über die Überschirmungsverhältnisse des Bestandes. Die Nachbildung der Kronenperipherie kann je nach verfügbarem Meßdatensatz durch Polygonzüge, Kreise oder kubische Splines erfolgen. AUFRISS setzt die Meßdaten von Versuchsflächenaufnahmen in modellhafte Abbildungen der vertikalen Bestandesstruktur um. Das Programm RAUM erzeugt auf der Grundlage der ertragskundlichen Strukturhebungen ein gerastertes, modellhaft räumliches Abbild der tatsächlichen Bestandesstruktur und leitet daraus Informationen über die Präsenz verschiedener Baumarten in unterschiedlichen Höhenbereichen ab. Aufbauend auf dem vom Programm RAUM erzeugten räumlichen Bestandesmodell bestimmt das Programm ϵ - ω -ANALYSE nach dem Trefferprinzip für alle Bäume einer Versuchsfläche die Strukturparameter ϵ und ω zur Erfassung ihrer seitlichen Kroneneinengung und ihrer Beschattung.

9 Summary

On the spatial analysis of the stand structure and the growth constellation of single trees

The methods of gathering and evaluating data for forest growth until now were based on pure stands and is keyed to average and total stand values as well as distribution frequency of individual tree dimensions. It neglects the spatial configuration and assumes a homogeneous growth behavior of all stand members. One of the key perceptions of recent studies on the growth of animal and plant stands is that we can understand the development of heterogeneous populations better when we separate their individuals and look at their interaction as a spatial-temporal system. Such a transition from stand to single-tree orientation means a basic change in the approach to forest growth research from which we can expect new knowledge on single tree and stand growth and better information for forest management. In order to consolidate single-tree oriented research, first we should broaden our basic data on the growth of individual trees in pure and mixed stands. Secondly, more development is necessary on single-tree oriented model construction for which we can build up on previous Angloamerican work. Thirdly, we must widen our program library for evaluating experiments and include programs to decipher single-tree information.

The programs KROANLY, RAUM, AUFRISS and ϵ - ω -ANALYSE detract and synthesize information about growth dynamics of single trees and whole stands from the data obtained by our experimental plots. The programs are presented on the data base of the experimental plots Zwiesel 111 and Freyung 129. KROANLY draws crown maps, calculates crown area projections and analyzes the crown cover conditions. According to available measurements the crown perimeter can be approximated by polygons, circles or cubic splines. The program AUFRISS reproduces the 3-dimensional structure of a forest stand and creates the basis for the graphical representation of the stand composition. The program RAUM produces a 3-dimen-

sional model of the actual stand structure and deducts information on the abundance of the tree species in different height zones of the stand. On the base of the spatial model of the stand built up by the routine RAUM program, ϵ - ω -ANALYSE calculates the structure parameters ϵ (for characterizing the lateral crown competition) and ω (for the respective amount of shade) for each tree. By spatial analysis of stand structure we can – by means of these programs – deduct new information valuable for single stems from data in the experimental plots, which was impossible by using our conventional evaluation procedures.

10 Literaturverzeichnis

- ASSMANN, E. (1953/54): Die Standraumfrage und die Methodik der Mischbestandsuntersuchungen. AFJZ, 125. Jg., H. 5, S. 149–153. – BAUMGARTNER, A. (1957): Sommerlicher Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Fichtenwaldes. MittStfBay, H. 29, S. 23–28. – BOTKIN, D. B., J. F. JANAK und J. R. WALLIS (1972): Some ecological consequences of a computer model of forest growth. Journal of Ecology, 60, S. 849–872. – BURKHART, H., E., K. D. FARRAR, R. L. AMATEIS und R. F. DANIELS (1987): Simulation of individual tree growth and stand development in loblolly pine plantations on cutover, site-prepared areas. Virg. Polytechn. Inst. and State Univ., Publication No. FWS-1-87, 47 S. – DALE, V. H., T. W. DOYLE und H. H. SHUGART (1985): A comparison of tree growth models. Ecological Modelling, Vol. 29, S. 145–169. – DANIELS, R. F., H. E. BURKHART und T. R. CLASON (1986): A comparison of competition measures for prediction growth of loblolly pine trees. Canadian Journal of Forestry Research, Vol. 16, No. 6, S. 1230–1237. – van DEUSEN, P. C., und G. S. BIGING (1985): STAG A Stand Generator for Mixed Species Stands. Version 2.0. Northern California Forest Yield Cooperative, Dept. of For. and Res. Mgt., Univ. of California, Res. Note No. 11, 25 S. – DUDEK, A., und A. R. EK (1980): A bibliography of worldwide literature on individual tree based stand growth models. Staff Paper Series, Dep. of Forest Resources, Univ. of Minnesota, 33 S. – EK, A. R., und R. A. MONSERUD (1974): Trials with program FOREST: Growth and reproduction simulation for mixed species even- or uneven-aged forest stands. In: J. Fries (Hrsg.) Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Research Notes, Nr. 30, S. 56–73. – FRANZ, F. (1969): Ertragskundliche Modellhypothesen. Vortragskonzept, Manuskriptdruck, München, 9 S. – FRANZ, F. (1973): Wachstumssimulation und Wuchsleistungsanalysen. In: 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur in Wien, Band IV, Teil 1, S. 329–336. – FRANZ, F. (1976): Überlegungen zur Aufstellung von Leistungsstufen für baumzahlgesteuerte Behandlungsprogramme. Tagungsbericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Paderborn 1976, S. 3–14. – HÜHN, M. (1972): Untersuchungen zur Konkurrenz in Mischbeständen aus n Komponenten. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, 135. Jg., Teil 1: S. 55–77 und Teil 2: S. 85–106. – HUSTON, M., D. de ANGELIS und W. POST (1988): New computer models unify ecological theory. BioScience, Vol. 38, No. 10, S. 682–691. – KOOP, H. (1989): Forest Dynamics. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo und Hongkong, 250 S. – KRUMLAND, B. E. (1982): A Tree-Based Forest Yield Projection System for the North Coast Region of California. Ph. D. thesis, Univ. Calif., Berkeley, 188 S. – MÄKELÄ, A., und P. HARI (1986): Stand growth model based on carbon uptake and allocation in individual trees. Ecological Modelling, Vol. 33, S. 205–229. – MARTIN, G. L., und A. R. EK (1984): A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. Forest Science, Vol. 30, No. 3, S. 731–743. – MITCHELL, K. J. (1975): Dynamics and simulated yield of douglas-fir. Forest Science, Monogr. 17, 39 S. – MOHREN, G. M. J. (1987): Simulation of forest growth, applied to douglas fir stands in the Netherlands. Diss. Agricultural University Wageningen, 183 S. – MONSERUD, R. A. (1975): Methodology for simulating Wisconsin northern hardwood stand dynamics. Ph. D. thesis, Univ. Wisconsin-Madison, 156 S. – PETRI, H. (1966): Versuch einer standortgerechten, waldbaulichen und wirtschaftlichen Standraumregelung von Buchen-Fichten-Mischbeständen. Mitt. a. d. Landesforstverw. Rhld.-Pfalz, zugleich Mitt. a. d. Forst-einrichtungssamt Koblenz Nr. 13, Bd. 1, 145 S. – PRETZSCH, H. (1990): Strukturparameter zur Steuerung von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Tagungsbericht von der Jahrestagung 1990 der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Verden/Aller, S. 80–100. – PRETZSCH, H. (1991): Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände. Habilitationsschrift, Univ. München, 332 S. – SCHNEIDER, T. W., und J. KREYSA (1981): Dynamische Wachstums- und Ertragsmodelle für die Douglasie und die Kiefer. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 135, 137 S. – SCHÖPFER, W. (1973): Vom Einzelbaumversuch zum Wachstumssimulator. AFJZ, 144. Jg., S. 149–154. – SHUGART, H. H. (1984): A Theory of Forest Dynamics. The Ecological Implications of Forest Succession Models. Springer Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, 278 S. – SLOBODA, B., und J. PFREUNDT (1989): Baum- und Bestandeswachstum. Ein systemanalytischer räumlicher Ansatz mit Versuchsplanungskonsequenzen für die Durchforstung und Einzelbaumentwicklung. Tagungsbericht von der Jahrestagung 1989 der Sektion Ertragskunde im DVFFA in Attendorn/Olpe, S. 17/1-17/25. – STERBA, H. (1985): Durchforstungssimulation am Bildschirm. Inst. f. Forstl. Ertragslehre, Univ. f. Bodenkultur Wien, Abschlussber. zum Projekt. Nr. 4357, 42 S. – STERBA, H. (1989): Concepts and techniques for forest growth models. In: Artificial Intelligence and growth models for management decisions. Proc. IUFRO S4.01 und S6.02, Meeting Univ. f. Bodenkultur Wien, 18.–22. 9. 1989, Publ. No. FWS-1-89, School of For. a. Wildlife Res., Virg. Polytech. Inst. and State Univ. Blacksburg, S. 13–20. – WENSEL, L. C., und P. J. DAUGHERTY (1984): CACTOS User's Guide: the California conifer timber output simulator. Northern California Forest Yield Cooperative, Dept. of Forestry and Res. Mgt., Univ. of California, Research Note No. 10, 91 S. – WENSEL, L. C., und J. R. KOEHLER (1985): A tree growth projection system for Northern California coniferous forests. Northern California Forest Yield Cooperative, Dept. of Forestry and Res. Mgt., Univ. of California, Research Note No. 12, 30 S. – WYKOFF, W. R., N. L. CROOKSTON und A. R. STAGE (1982): User's Guide to the stand prognosis model. U. S. For. Serv., Gen. Techn. Rep. INT-133, 122 S.

Priv.-Doz. Dr. Hans PRETZSCH war bis Ende März 1992 wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr. Dr. h. c. Friedrich Franz am Lehrstuhl für Waldwachstumkunde der Ludwig-Maximilians-Universität München und leitet seit 1. April das Sachgebiet Ertragskundliches Versuchswesen – Waldwachstum – der Niedersächs. Forstl. Versuchsanstalt in Göttingen.