

# Waldwachstumsforschung. Ihre Bedeutung für die Nutzung und den Schutz von Waldökosystemen

## 1 Erkenntnis- und Zweckinteressen der Waldwachstumsforschung

Das Erkenntnisinteresse der Waldwachstumsforschung richtet sich auf die Wachstumsprozesse und Strukturen von Einzelbäumen und Waldbeständen und ihre Abhängigkeit von Zeit, Standortbedingungen, wirtschaftlichen Maßnahmen und biotischen oder abiotischen Störfaktoren. Ziel der Waldwachstumsforschung ist die quantitative Erfassung und Analyse des Waldwachstums, seine modellhafte Nachbildung, die Aufdeckung von Gesetzmäßigkeiten und deren theoretische Fundierung. Ihr Zweckinteresse gilt der Nutzbarmachung von Erkenntnissen für die nachhaltige Entwicklung von Wäldern. Waldwachstumsforschung bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Erkenntnis- und Zweckinteresse, zwischen Streben nach biologischen Gesetzmäßigkeiten und deren Nutzbarmachung und Anwendung für die nachhaltige Entwicklung von Wäldern. Konzentriert sich das Interesse der Waldwachstumsforschung allein auf biologische Gesetzmäßigkeiten, so gehen Anwendungsbezug und die aus der forstlichen Praxis kommenden Richtungsimpulse verloren. Orientiert sich die Waldwachstumsforschung dagegen ausschließlich an Fragen und dem Informationsbedarf der Praxis, so wird sie zu reiner Zweckforschung.

## 2 Orientierung durch die Forstwirtschaft

Veränderungen der Waldaufbauformen, der Wachstumsbedingungen und des Interesses am Wald fordern die Waldwachstumsforschung gegenwärtig zu neuen Denkmustern, Untersuchungsmethoden und Informationstechniken heraus. Wenn sie der Forstwirtschaft effiziente und operable Hilfsmittel für Planung, Vollzug und Kontrolle bereitstellen will, muß sich die Waldwachstumsforschung an der im Wandel befindlichen Ausstattung der forstwirtschaftlichen Praxis mit Informationen und Informationstechnologien und dem veränderten Informationsbedarf orientieren (FRANZ 1987).

Von den veränderten Vorgaben seitens der Forstwirtschaftlichen Praxis dürfte für die Waldwachstumsforschung der thematisch immer differenziertere und dabei räumlich höher aufgelöste Informationsstand über Zustand und Entwicklung unserer Waldökosysteme am folgenreichsten sein. Stützte sich unser Wissen in der Vergangenheit vorwiegend auf das Informationspotential ertragskundlicher Dauerbeobachtungsflächen, so erbringen uns künftig u. a. die Rasterstichproben der Forstwirtschaft,

die Schadenserhebungen, Standortskartierung und Immissionskartierung eine zuvor nicht vorhandene Informationsbasis über Waldzustand, Wuchsbedingungen und Waldwachstum. Der vertiefte Informationsstand ist mit den bisher rein deduktiv konzipierten Planungs- und Kontrollinstrumenten nicht mehr vereinbar, denn diese schöpfen die neu aufgebaute Informationsgrundlage in keiner Weise aus. Solange räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Informationen über Waldzustand und Wuchsbedingungen fehlten, gab es zu Ertragstafeln, Standort-Leistungstafeln oder Sortentafeln, die zumeist aus Streuversuchen des forstlichen Versuchswesens abgeleitet wurden, keine Alternative. Denn quantitative Informationen über Waldzustand und Standortbedingungen lagen nur punktuell in höherer Auflösung vor. Heute würde ein Festhalten an den Ertragstafeln oder Sortentafeln die moderne Informationsbasis der Forstverwaltungen geradezu ignorieren. Denn diese ermöglicht eine am Einzelfall orientierte verbesserte Zustandsbeschreibung, Zuwachsdiagnose und eine Nutzung solcher Zustands- und Zuwachsdaten als Start- und Kalibrierungsdaten für Vorhersagemodelle. Die klassische deduktive Vorgehensweise der Planung weicht mit zunehmendem Informationsgrad einem induktiven Vorgehen (Abb. 1). Unter einem deduktiven Vorgehen verstehen wir in diesem Zusammenhang den Einsatz von Informationsgrundlagen, wie etwa den der Ertragstafeln, die aus dem Ertragskundlichen Versuchswesen entwickelt und dann großflächig eingesetzt werden. Die Planungsdaten für den Einzelfall werden dabei aus dem allgemeingültigen Tabellenwerk abgeleitet, deduziert (Abb. 1, oben). Wird dagegen so weit wie möglich auf lokale Datenquellen zurückgegriffen, so sprechen wir von einem induktiven Vorgehen. Bei einem solchen Vorgehen schöpft die Planung die für den Einzelfall verfügbaren Zustands- und Entwicklungsdaten soweit wie möglich aus, indem sie sie u. a. als Start- und Steuergrößen für Simulationsmodelle nutzt (Abb. 1, unten).

Die Ausstattung mit moderner Informationstechnologie ist eine zweite Vorgabe der Forstwirtschaft mit besonders weitreichenden Konsequenzen für die Waldwachstumsforschung. Bei allen drei Komponenten von Informationssystemen, der Hardware, der Software und dem Fachpersonal, haben die Forstverwaltungen einen Entwicklungsstand erreicht, der

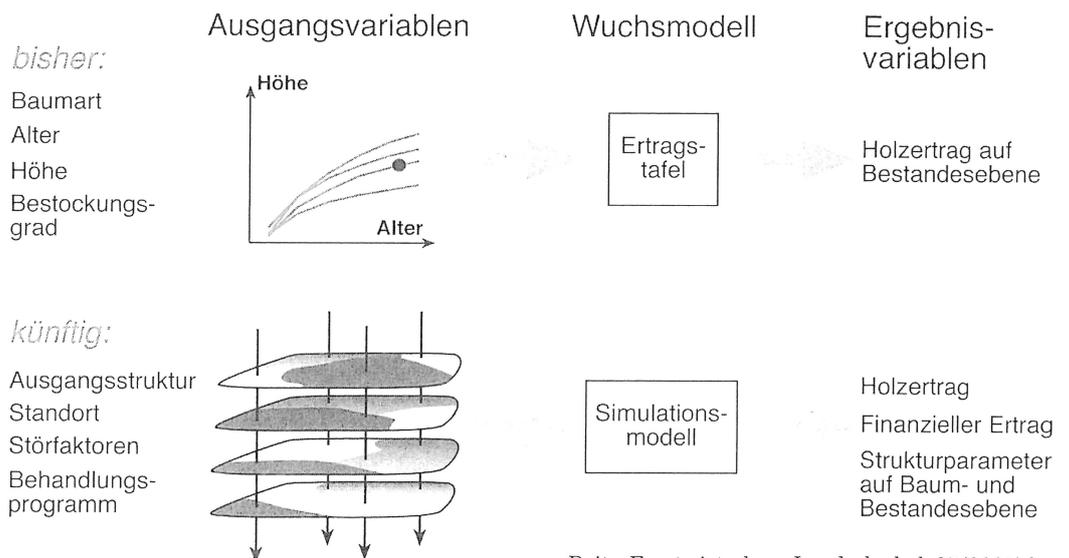


Abbildung 1:  
Wandel von Informationsangebot, Informationsbedarf und Informationsfluß in der Forstlichen Praxis.

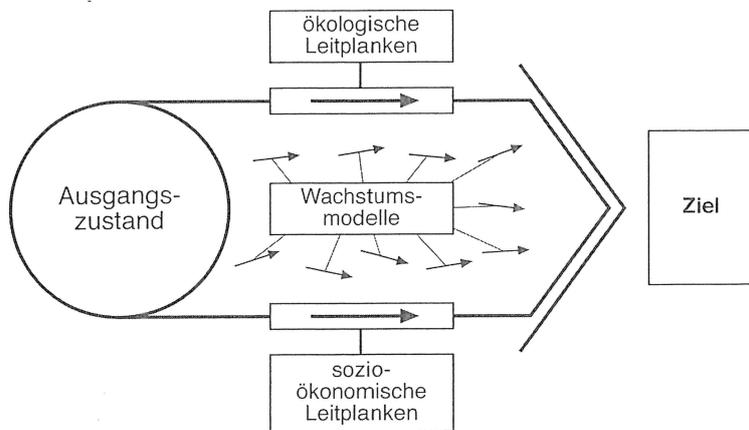


Abbildung 2: Mit Modellen lassen sich die Konsequenzen variiert waldbaulicher Behandlung, veränderter Intensität und Frequenz von Störungen und veränderter Standortbedingungen abschätzen. Sukzessionsmodelle und ökophysiologische Prozessmodelle können dazu beitragen, die Leitplanken des Korridors (eingerahmte Pfeile) für „richtiges“ Handeln zu bestimmen. Managementmodelle unterstützen die forstwirtschaftliche Entscheidungsfindung innerhalb dieses Korridors, indem sie die Konsequenzen von Handlungsalternativen (mobile Pfeile) quantifizieren.

künftig eine effizientere Rückführung von Informationen aus Forstwirtschaft und -wissenschaft zu Entscheidungsträgern ermöglicht (DURSKY 2000). Solange der Informationsbedarf der Praxis auf wenige Variablen und die waldbauliche Steuerung auf wenige Pflegeprogramme (z. B. mä. Ndf, schw. Hdf, st. Hdf.) beschränkt waren, ließen sich die Grundlageninformationen zur Zustandsschätzung und Entwicklungsprognose in Abhängigkeit von der Durchforstung leicht in einem Compendium von Ertragstabellen in Tabellenform zusammenstellen. Für ein umfassendes Management von Rein- und Mischbeständen ist aber ein breiteres Variablenpektrum erforderlich. Moderne Informationssysteme ebnet den Weg zum Einsatz besserer und dabei rechenintensiverer Lösungen und Verfahren der Zustandsanalyse und Wachstumsprognose auf den Ebenen Baum, Bestand, Betrieb bis zur überbetrieblichen Ebene. Mit ihnen können die gesammelten Informationen effizienter erschlossen und rascher als bisher Entscheidungsträgern für die praktische Arbeit zugeführt werden.

### 3 Waldwachstumssimulatoren für die Entscheidungsstützung

Die zentrale Bedeutung von Wachstumsmodellen und Waldwachstumssimulatoren für die Forstwirtschaft resultiert aus der Langlebigkeit von Bäumen und Beständen (PRETZSCH 2001). Neu aufkommende waldbauliche Behandlungsprogramme für Waldbestände können auf Grund der langen Zeiträume, über die sie sich erstrecken, in der Regel nicht experimentell geprüft werden; nach Abschluss solcher langwieriger Prüfungen wären die entwickelten waldbaulichen Pflege- und Behandlungsmodelle vermutlich bereits wieder veraltet oder vergessen. Deshalb leitet die Waldwachstumsforschung aus ihren Experimenten Wachstumsgesetzmäßigkeiten ab und fügt diese in Wachstumsmodellen zusammen. Mit diesen werden die Nachbildung des Bestandeswachstums im Zeitraffer-Verfahren und „Wenn-dann“-Analysen möglich. Die ertragskundlichen, betriebswirtschaftlichen und ökologischen Konsequenzen von Behandlungsprogrammen oder Störungen lassen sich im Modell durch Simulation nachbilden. Bei einem solchen Vorgehen muß nicht auf neu aufkommende Fragen in jedem Fall mit der Anlage neuer Experimente reagiert werden (NAGEL 1999).

Mit Modellen können innerhalb definierter Grenzen Waldentwicklungen bei veränderten Standortbedingungen, unter variiert waldbaulicher Behandlung oder veränderter Intensität und Frequenz von Störungen prognostiziert werden, die im praktischen Versuch noch nicht realisiert wurden. Ökophysiologisch basierte Prozessmodelle erlauben es, für gegebene Standorte den Korridor für eine angemessene forstwirtschaftliche Behandlung vorzuzeichnen. Sie können die Leitplanken skizzieren, innerhalb derer sich die Forstwirtschaft bewegen kann, ohne die Stabilitätsbedingungen für die zu bewirtschaftenden Systeme zu gefährden (Abb. 2). Veränderungen von Behandlungen, Standort, Artenzusammensetzung, Waldaufbauform usw. lassen sich dann auf ihre ökologischen, ökonomischen und sozialen Konsequenzen analysieren. Sind solche Rahmenbedingungen gesetzt, dann können Managementmodelle dazu beitragen, innerhalb des vorgegebenen Korridors die optimale Bestandesbehandlung zu bestimmen.

### 4 Verbesserte Planung im Forstbetrieb mit Waldwachstumssimulatoren

Wie Waldwachstumssimulatoren für eine nachhaltige Entwicklung von Wäldern nutzbar gemacht werden können, wie sie auf den Informationsfluß und die Informationstechnologie der Praxis abgestimmt sind, welche Vorteile sie gegenüber herkömmlichen Modellen (Ertragstabellen, Verteilungsfortschreibungsmodellen, Matrixmodellen) bieten, wird im Folgenden am Einsatz des Simulators SILVA 2.2 für die Planung auf Betriebsebene verdeutlicht. SILVA 2.2 steht hier stellvertretend für eine neue Modellgeneration, zu der auch die im deutschsprachigen Raum verbreiteten Modelle BWIN, PROGNAUS und MOSES (NAGEL 1999; STERBA et al. 1995; HASENAUER 1994) zählen. Die von Baum- bis Landesebene reichenden Einsatzmöglichkeiten von SILVA 2.2 werden beispielhaft für die Betriebsebene ausgeführt (DURSKY 2000; MÜLLER 2000; PRETZSCH et al. 1998). Aufgrund ihrer großen Flexibilität haben solche Einzelbaummodelle einen breiten Anwendungsbereich in Praxis, Forschung und Lehre. Die Anwendung und Evaluierung des Simulators SILVA 2.2 auf verschiedenen Raumskalen behandeln u. a. DURSKY (2000), DUSCHL (2001), HANEWINKEL und PRETZSCH (2000), KNOKE (1998), PRETZSCH (1999) sowie PRETZSCH und KAHN (1996).

#### 4.1 Zum Prinzip von Waldwachstumssimulatoren

Der Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 geht von Start- und Steuergrößen aus, die die Ausgangssituation eines Bestandes und seine Standortbedingungen charakterisieren und bildet die Bestandesdynamik in Fünf-Jahres-Zyklen von der Bestandesbegründung bis zum Generationenwechsel nach (Abb. 3). Aus der Forsteinrichtungsdatenbank werden als Startwerte die Dimensionen und Positionen der Einzelbäume und als Steuergrößen die Standortparameter für den betrachteten Bestand eingelesen. Wenn Ausgangsdaten fehlen, beispielsweise die Stammfusspunkte unbekannt sind, werden fehlende Daten wirklichkeitsnah ergänzt. Die eigentliche Wachstumsprognose baut sich aus einer vom Benutzer anzugebenden Anzahl von Fünf-Jahres-Zyklen auf. Jeder dieser Zyklen umfasst vier Schritte: In einem ersten Schritt wird ein räumliches Bestandesmodell aufgebaut und die dreidimensionale Wuchskonstellation eines jeden Baumes über einen Konkurrenzindex erfasst. In einem zweiten Schritt wird für jeden Baum geprüft, ob dieser unter Maßgabe des vom Programm benutzer spezifizierten Durchforstungskonzeptes im Bestand verbleibt oder ausscheidet. Zur Steuerung der Dimensionsveränderung aller Bestandesglieder im dritten Schritt wird der zuvor ermittelte Konkurrenzindex eingesetzt. Der vierte Schritt besteht in der Anwendung eines Mortalitätsmodells, das entscheidet, welche Bäume den zurückliegenden fünfjährigen Zeitraum aufgrund von Konkurrenzwirkung nicht

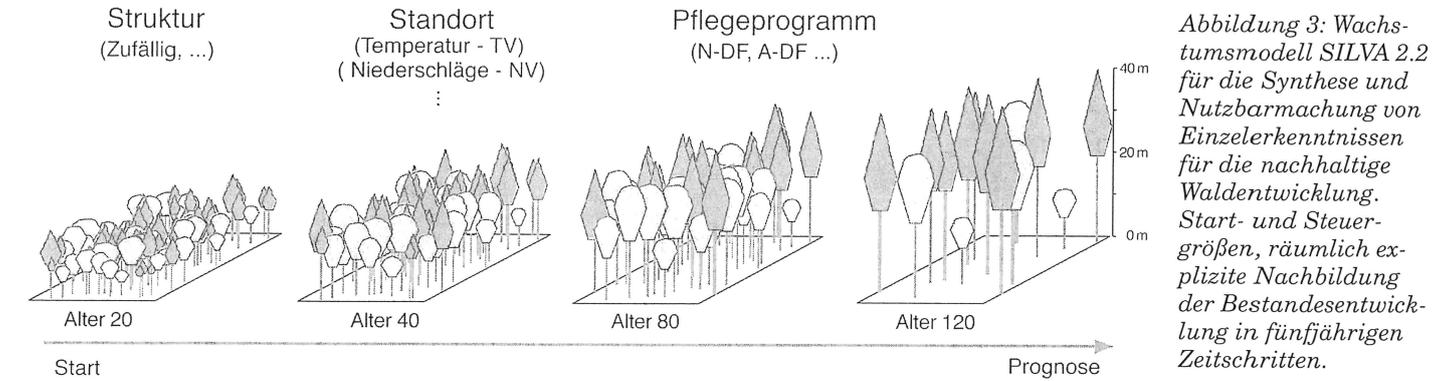
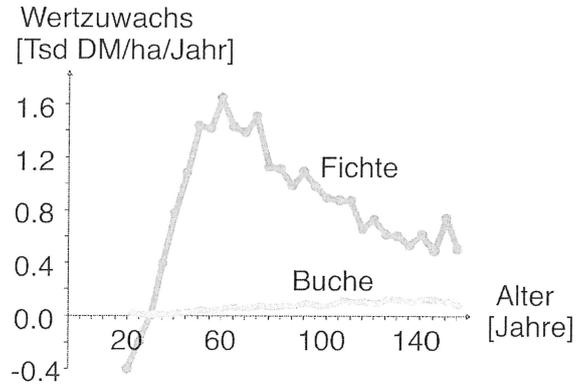


Abbildung 3: Wachstumsmodell SILVA 2.2 für die Synthese und Nutzbarmachung von Einzelerkenntnissen für die nachhaltige Waldentwicklung. Start- und Steuergrößen, räumlich explizite Nachbildung der Bestandesentwicklung in fünfjährigen Zeitschritten.

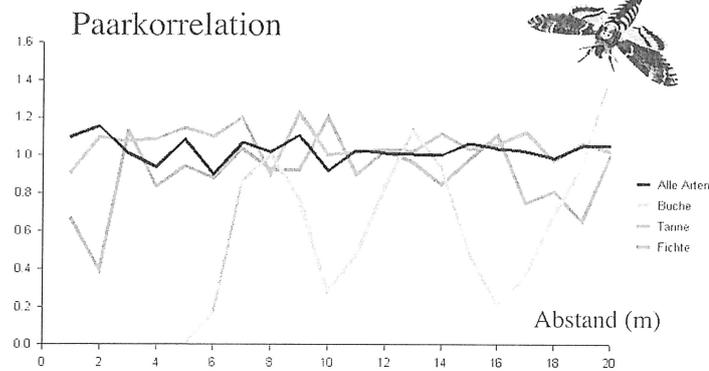
### Naturalproduktion Standortleistungstafeln

Per	Art	Alter	Nv	h100h	d100h	hgv	dgv	Gv	Volv	Na	h100a	d100a	hga	dga	Ga	Volga	IG	IV	dGz	GWL
1	Fichte	32	863	19,0	28,0	17,2	18,5	23,3	198	225	15,0	13,5	13,9	11,1	2,2	14			6,4	204
1	Buche	35	318	16,5	19,5	15,6	14,5	8,2	37	10	14,4	12,5	14,4	12,5	0,1	1			1,1	38
1	Alle		1181					28,5	238	235					2,2	15			7,5	242
2	Fichte	37	733	21,0	30,8	19,4	21,5	26,7	249	130	17,1	15,2	16,8	14,1	2,0	16	148	14,8	7,5	278
2	Buche	40	307	17,9	21,3	17,0	16,1	6,2	50	10	15,1	14,1	15,1	14,1	0,2	2	0,24	2,8	1,3	52
2	Alle		1041					32,9	299	140					2,2	17	1,32	17,6	8,8	330
7	Fichte	62	419	29,2	43,5	28,1	34,2	38,5	514	48	27,4	29,8	27,4	29,8	3,4	44	0,93	16,9	11,2	694
7	Buche	65	195	24,2	27,8	23,5	23,2	8,3	97	19	23,6	24,6	23,6	24,6	0,8	10	0,23	3,7	2,2	141
7	Alle		615					46,8	611	67					4,2	54	1,14	20,7	13,4	835
8	Fichte	67	380	30,5	45,7	29,5	36,4	39,5	549	40	28,9	32,1	28,9	32,1	3,2	44	0,84	15,8	11,5	793
8	Buche	70	181	25,3	28,8	24,6	24,5	8,5	105	15	24,7	26,2	24,7	26,2	0,8	10	0,20	3,5	2,3	159
8	Alle		560					48,0	654	55					4,0	54	1,04	19,3	13,8	932
9	Fichte	72	342	31,8	47,9	30,9	38,7	40,2	579	37	30,3	33,8	30,3	33,8	3,3	48	0,81	15,6	11,8	851
9	Buche	75	167	26,2	29,8	25,6	25,8	8,7	113	14	25,9	27,6	25,9	27,6	0,8	11	0,20	3,6	2,4	177
9	Alle		509					48,9	691	51					4,1	58	1,01	19,2	14,2	1028
15	Fichte	102	196	37,2	60,2	36,8	52,4	42,1	683	19	36,3	44,9	36,3	44,9	2,9	39	0,61	11,6	12,2	1243
15	Buche	105	103	30,6	34,9	30,6	34,2	9,4	149	9	29,1	29,8	29,1	29,8	0,6	10	0,16	3,3	2,6	276
15	Alle		299					51,5	832	27					3,6	58	0,78	14,9	14,8	1519

### Sorten und Wertleistung



### Ökologische Kennziffern



### Multikriterielle Bewertung

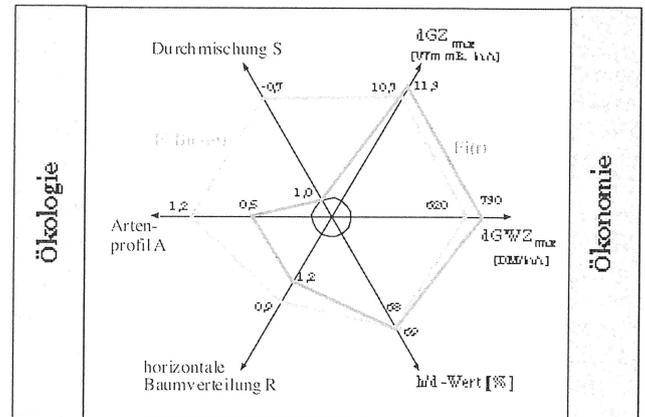


Abbildung 4: Prognoserechnungen mit dem Waldwachstumsmodell SILVA 2.2 liefern Dimensionsentwicklung für alle Einzelbäume, Standortleistungstafeln, Sorten- und Wertleistung für Einzelbäume und Bestand, Strukturparameter u. a. zur Vielfalt, Diversität und Durchmischung und ermöglichen einen multikriteriellen Vergleich verschiedener Behandlungsvarianten.

überleben. Die Schritte 1 bis 4 werden so lange wiederholt, bis der gesamte Prognosezeitraum in Fünf-Jahres-Zyklen durchlaufen ist (PRETZSCH et al. 1996).

Die in Tabellen, Diagrammen oder Bestandesbildern abrufbaren Prognoseergebnisse decken mehrere Themenbereiche ab (Abb. 4): Zustand und Entwicklung des Bestandes werden anhand der klassischen ertragskundlichen Bestandessummen- und Bestandessmittelwerte, Häufigkeitsfrequenzen und Einzelbaumaussagen charakterisiert. Hierzu zählen beispielsweise Vorratsangaben, laufende und durchschnittliche Volumenzuwächse für den Gesamtbestand und für die Einzelbäume. Da im Prognosezeitraum für jeden Stamm die Dimensionen bekannt sind, kann er unter Berücksichtigung von allgemeinen Benutzervorgaben in Holzsortimente zerlegt werden. Nach Vorgabe von Holzpreisen und Erntekosten können sehr detaillierte Informationen zur Wertentwicklung von Bestand und Einzelbäumen erzeugt werden. Zur ökologischen Bestandesbewertung werden Indizes und Korrelationsfunktionen errechnet,

die die räumliche Bestandesstruktur auf unterschiedlichen Skalen charakterisieren. Weiter werden Kennzahlen zur Biomasseproduktion, Kohlenstoff- und Stickstoffspeicherung ausgegeben. Neben diesen vielfältigen numerischen Informationen vermittelt das angeschlossene Visualisierungsmodul den dreidimensionalen Waldaufbau auf Bestandes- oder Landschaftsebene. Hierdurch wird eine multikriterielle Bewertung von Alternativszenarien möglich (PRETZSCH 2001).

### 4.2 Einsatzmöglichkeiten für die Betriebsplanung

Im Folgenden wird skizziert, wie die für Bestände oder Straten eines Betriebes geplanten Behandlungsvarianten mit dem Wachstumsmodell SILVA so ausgewertet werden können, dass ihre Konsequenzen für die Entwicklung des gesamten Betriebes resultieren (DURSKY, 2000; MÜLLER, 2000; PRETZSCH, KAHN und DURSKY, 1998). Andersherum kann eine gewünschte Entwicklung auf Betriebsebene durch Adjustierung der Pflege-

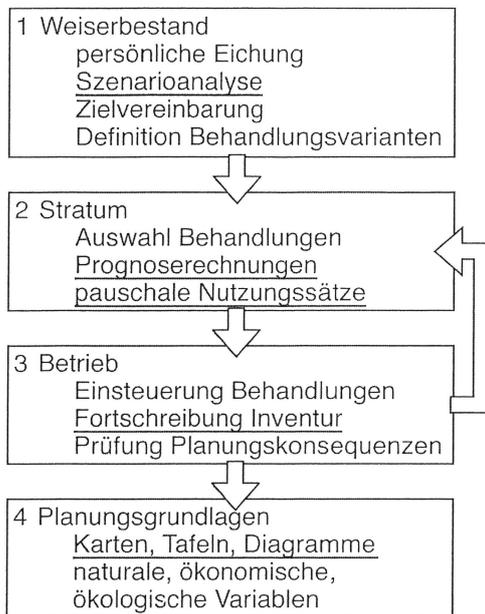


Abbildung 5: Konzept für den Einsatz von Wachstumsmodellen im Rahmen der Betriebsplanung. Unterstrichen sind die Arbeitsschritte, die sich auf Modellanwendungen stützen. Die an Weiserbeständen entwickelten und für Straten unterstellten Behandlungsprogramme werden der Fortschreibung der Betriebsinventur zugrunde gelegt. Eingriffsvarianten auf Bestandes- oder Stratenenebene lassen sich hinsichtlich ihrer langfristigen Konsequenzen für den Betrieb abschätzen.

programme auf Bestandes- oder Stratenenebene angenähert werden. Die wichtigsten Schritte und Ergebnisse eines solchen Vorgehens werden am Beispiel der Entwicklungsprognose und Nutzungsplanung für den im bayerischen Wuchsbezirk 14.4 Oberbayerische Jungmoräne und Molassevorberge gelegenen, 553 ha großen Stadtwald Traunstein dargestellt. Eine Entwicklungsprognose mit SILVA gründet auf detaillierten Zustandsinformationen über Stammzahl-Durchmesser-Verteilungen, Baumhöhen und Baumpositionen. Diese sind nach Stichprobeninventuren mit konzentrischen Probekreisen in ausreichendem Umfang vorhanden. Allein ein positionsabhängiges Einzelbaummodell vermag die im Rahmen solcher Inventuren erhobenen Detailinformationen in vollem Umfang auszuschöpfen. Die dynamische Nutzungsplanung auf Betriebsebene erfolgte dort in vier Schritten (Abb. 5):

1. Weiserbestände, von denen Zustands- und Entwicklungsdaten bekannt sind, dienen der ertragskundlichen Einordnung des Betriebes, gewissermaßen der persönlichen Eichung beim Grundlagenbezug. Auf ihren Zustandsdaten bauen dann Modellrechnungen auf, welche die langfristigen Konsequenzen verschiedener Pflegeprogramme für die Naturalproduktion, den Wertzuwachs und die Stabilität erbringen. An den Weiserbeständen können also alternative Pflegeregime in ihren naturalen, ökonomischen und ökologischen Konsequenzen ausprobiert werden, um so den Korridor für auszuführende Pflegeprogramme einzugrenzen. Indem Szenariorechnungen „Wenn-dann“-Aussagen für alternative Behandlungen der Weiserbestände erbringen, können die Weiserbestände der Zielfindung und Zielvereinbarung auf quantitativer Grundlage dienen.
2. Alle Stichprobenpunkte der Inventur werden durch Kreuzklassifikation bestimmten Straten zugeordnet; das können Standort/Bestandestypen- oder Baumarten/Entwicklungsstadien-Straten sein. Die an den Weiserbeständen entwickelten Behandlungsszenarien werden nun den Straten unterstellt, sodass für die Straten via Prognoserechnungen pauschale Nutzungssätze abgeleitet werden können.

3. Nachdem jeder Inventurpunkt einem Stratum zugeordnet ist und mit einer stratenspezifischen Behandlung identifiziert wird, können die Inventurdaten auch insgesamt fortgeschrieben werden. Hierdurch wird es möglich, die Konsequenz der bestandes- oder stratenweise festgelegten Eingriffe auf die langfristige Entwicklung des Betriebes insgesamt zu analysieren. Zur Vermeidung ungewünschter Entwicklungen auf Betriebsebene können die für die Straten festgelegten Pflegeprogramme gegebenenfalls modifiziert werden.
4. Wesentliche Ergebnisse für die praktische Planung sind die für die ausgeschiedenen Straten ausgewählten Pflegeprogramme, behandlungsabhängige Leistungstabellen mit pauschalen Nutzungssätzen für die Straten und thematische Karten, welche naturale, ökonomische und ökologische Zustands- und Entwicklungsdaten für die Weiserbestände, die Straten, Bestände, Inventurpunkte und den Betrieb insgesamt darstellen.

Bei der Anwendung des Simulators auf Betriebs-, Regional- oder Landesebene wird dieser nicht mehr über einen Menüdialog interaktiv bedient, sondern automatisiert im Batch-Betrieb eingesetzt. Die Startwerte für Prognoseläufe (u. a. Bestandesdaten, Stratenzugehörigkeit) werden dabei aus Forsteinrichtungsdatenbanken eingelesen und die Steuergrößen (u. a. Behandlungsprogramme, Holzpreise, Holzerntekosten) in entsprechenden Dateien abgelegt, sodass Fortschreibungen in unbegrenzter Zahl sequenziell abgewickelt werden können (DURSKY 2000).

### 4.3 Ergebnisse

Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Entwicklung von Zuwachs, Vorrat, Nutzung und holzerntekostenfreien Erlösen des auscheidenden Bestandes für einen 30-jährigen Folgezeitraum nach der Inventur. Als Referenz ist die Entwicklung unter A-Grad-Bedingungen eingezeichnet. Die in den Nutzungen und holzerntekostenfreien Erlösen überlegene Z-Baum-Durchforstung würde im Vergleich zur Auslesedurchforstung zu einer deutlichen Vorratsabsenkung von gegenwärtig 426 Erntefestmetern/ha auf etwa die Hälfte in 30 Jahren führen. Eine solche Behandlung würde nicht durch Mehrzuwachs kompensiert, sodass die Nachhaltigkeit der holzerntekostenfreien Erlöse gefährdet wäre. Die Auslesedurchforstung würde auf eine nur geringe Vorratsabsenkung hinauslaufen und die holzerntekostenfreien Erlöse eher stabilisieren. Ähnliche Überlegungen können auch für alle anderen in Simulationsrechnungen mitgeführten naturalen, ökonomischen und ökologischen Variablen auf Betriebsebene erfolgen. Erst eine solche Fortschreibung auf Betriebsebene lässt die langfristigen Konsequenzen der gewählten Behandlungsvarianten für den Forstbetrieb erkennen.

Planung, Vollzug und Kontrolle können durch Kartendarstellung der Zustands- und Entwicklungsdaten unterstützt werden. Die Ablage der Inventurbefunde und Prognoseresultate in einem Geografischen Informationssystem ermöglicht thematische Karten zu allen im Rahmen der Inventur erfassten, bei der Inventurauswertung berechneten und vom Waldwachstumssimulator SILVA prognostizierten naturalen, ökologischen und ökonomischen Aussagegrößen. Wachstumsmodell und Geografisches Informationssystem werden dabei über eine Datenbankschnittstelle miteinander verknüpft. In der Datenbank sind die Inventur- und Standortdaten, Informationen zur Stratifizierung und Parameter zur Einstuerung des Wachstumsmodells abgelegt. Die Resultate der Prognoseläufe mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 werden ebenfalls in die Datenbank übertragen. Das Geografische Informationssystem greift auf diese Datenbank zu.

Abbildung 7 stellt beispielhaft die Bevorratung der Bestände in den Distrikten VI und VII im Stadtwald Traunstein dar, die bis zu 950 Vorratsfestmeter Derbholz pro Hektar beträgt. Die

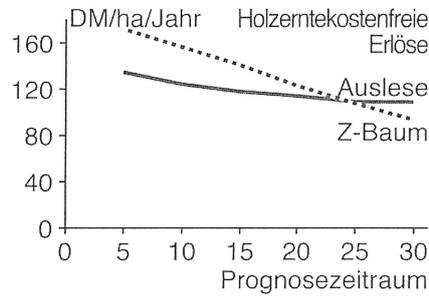
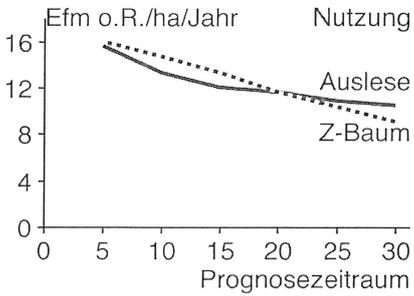
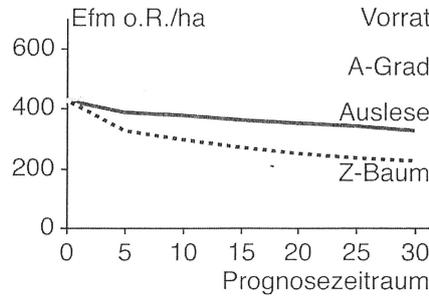
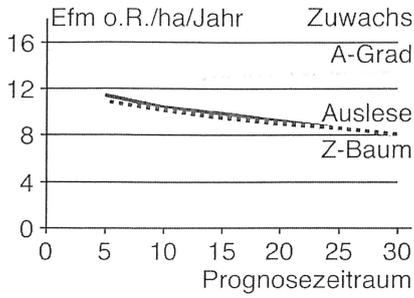


Abbildung 6: Entwicklung von Zuwachs, Vorrat, Nutzungsmenge und holzerntekostenfreien Erlösen im Stadtwald Traunstein bei Entwicklung unter A-Grad-Bedingungen, Auslesedurchforstung und Z-Baumdurchforstung. Je nach unterstelltem Pflegeprogramm wird der Vorrat stabilisiert, auf- oder abgebaut.

Bedeutung solcher Zustandskarten reicht von der Auffindung besonders vorratsreicher Bestände bei der Nutzungsplanung bis zur Dokumentation der Strukturvielfalt bei der ökologischen Bewertung von Betrieb und Betriebsentwicklung. Besonders nützlich für die forstwirtschaftliche Planung im engeren Sinne ist die räumlich differenzierte Darstellung der mittleren jährlichen Volumenzuwächse, die in unserem Beispiel bis zu 21 Vorratsfestmetern pro Hektar und Jahr reichen. Die

Tanne und Buche. Besonders nützlich für die forstwirtschaftliche Planung im engeren Sinne ist die räumlich differenzierte Darstellung der holzerntekostenfreien Erlöse, die im kommenden Dezennium bei unterschiedlichen Behandlungsvarianten zu erwarten sind. Die auf Abbildung 7 abgebildeten Erlöse unterstellen eine starke Auslesedurchforstung. Differenzierte und räumlich explizite Angaben zu Zuwachs, Nutzungssätzen, anfallenden Sortimenten, Wertzuwächsen und Wertzuwachs-

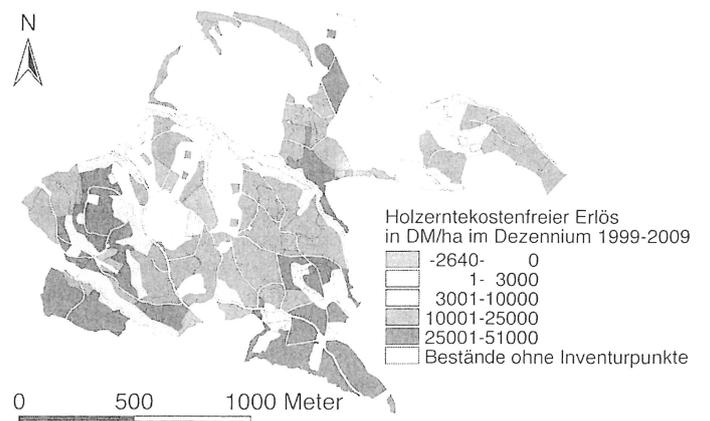
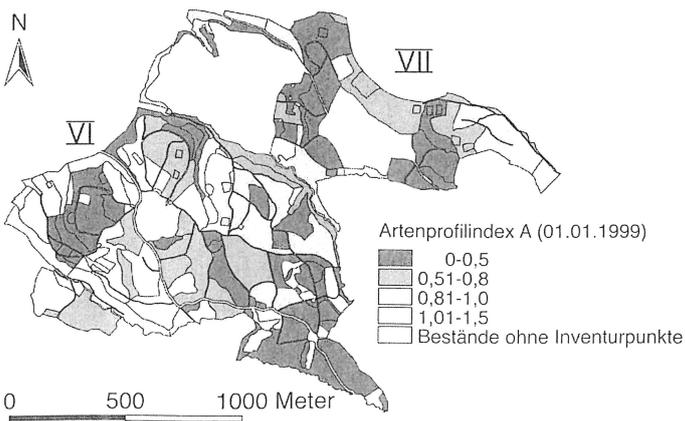
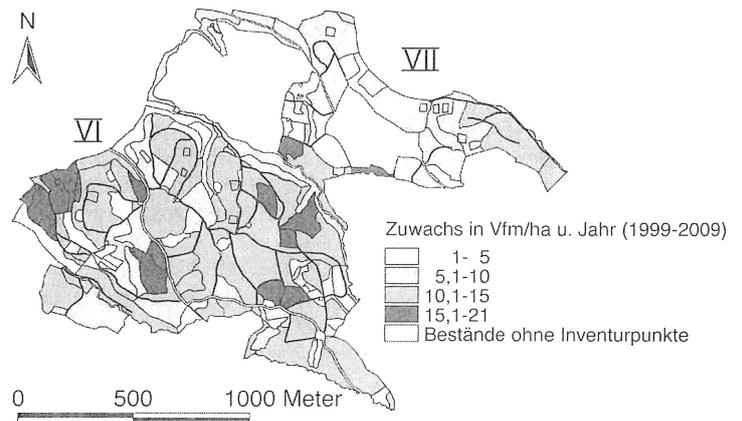
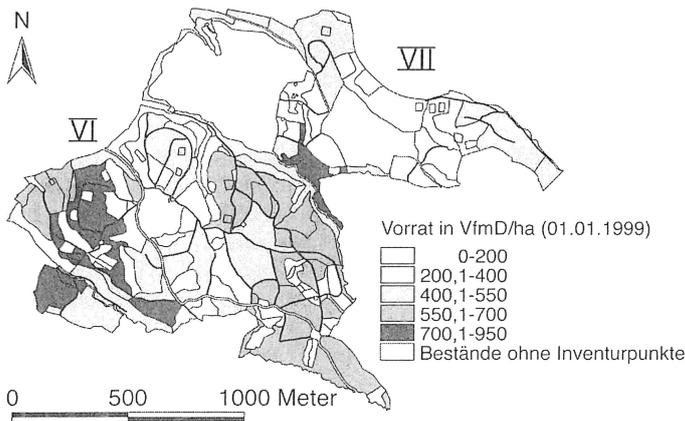


Abbildung 7: Kartenmäßige Darstellung der Inventurbefunde zum Stichtag 01. 01. 1999 für die Distrikte VI und VII im Stadtwald Traunstein. Durch Farbtönungen dargestellt sind der aktuelle Bestandesvorrat, der für die nächsten 10 Jahre prognostizierte jährliche Zuwachs, die Strukturdiversität und die summarischen holzerntekostenfreien Erlöse im kommenden Dezennium.

## 5 Diskussion

Die Zunahme der Belastung von Waldbeständen, der Wandel im Waldaufbau und in der Waldbehandlung sowie die Veränderung der Nutzungsinteressen führen zu einer Erweiterung des Informationsbedarfes forstwirtschaftlicher und umweltpolitischer Entscheidungsträger. Ein verantwortungsvoller Umgang mit Waldökosystemen und die nachhaltige Entwicklung von Wäldern sollte auf soliden Informationen gründen können. Zu diesen kann die Waldwachstumsforschung einen wirkungsvollen Beitrag leisten. Neben den klassischen ertragskundlichen Baum- und Bestandesattributen wie Massenleistung, Sortenleistung und Wertleistung rücken neue ökologische, ökonomische und sozioökonomische Leistungen in den Vordergrund, die z. T. in räumlich expliziten Bestandessimulatoren mitgeführt werden. Verfügbare Informationstechniken für eine bestmögliche Verdichtung und Verfügbarmachung von Wissen über den Wald sollten in den forstwirtschaftlichen Bereich transferiert werden. Dies kann der Waldwachstumsforschung nur gelingen, wenn sie – wie in dem dargestellten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Stadtwald Traunstein – in enger Rückkopplung mit dem Informationsfluß der forstlichen Praxis, ihrem Informationsbedarf und den Möglichkeiten und Grenzen ihrer Informationstechnologien bleibt.

Auf der Grundlage der Inventurdaten von 1989 und der Standortkartierung von 1997 erfolgte im Rahmen eines vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens die Entwicklungsprognose und Nutzungsplanung im Forstbetrieb Traunstein unter Verwendung des Waldwachstumssimulators SILVA 2.2. Im Herbst des Jahres 2000 erfolgte der Abnahmebegang der Forsteinrichtung, die sich in den auf Abbildung 5 skizzierten Schritten auf den Simulator SILVA 2.2 stützt. Bei den dargestellten Konzepten und Methoden handelt es sich also um erprobte Anwendungen des Modells, die bereits Eingang in die Praxis gefunden haben und zu Standardverfahren der Forsteinrichtung werden können.

Charakteristisch für die Waldwachstumsforschung ist, dass sie bei aller Fesselung durch fortschreitendes Detailwissen dessen Zusammenführung zu einem Ganzen (Baum-, Bestandesebene, Betriebsebene, Großregion) nicht aus den Augen verliert. Indem moderne Waldwachstumssimulatoren Einzelentscheidungen auf Bestandes- und Stratenebene bis zur Betriebsebene oder noch höher aggregieren, machen sie die übergeordneten Konsequenzen waldbaulicher Einzelentscheidungen sichtbar. Die Fortschreibung über mehrere Jahrzehnte lässt die langfristigen Konsequenzen der gewählten Behandlungsvarianten auf Betriebsebene, beispielsweise dadurch ausgelöste Liquiditätseingänge, Sortimentsdefizite usw., erkennen. Die gewonnenen Einblicke können zu einem Überdenken oder Adjustieren der Behandlungsprogramme auf Straten- oder Bestandesebene führen; es wird ein Abgleich zwischen den Behandlungsvarianten und Nutzungssätzen auf Stratenebene und Nachhaltigkeitsüberlegungen auf Betriebsebene möglich. Auf diese Weise kann die Waldwachstumsforschung einen zentralen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der forstlichen Ressourcen, der Vitalität und Stabilität von Wäldern, der Produktion und Erzeugung, der biologischen Diversität und den weitreichenden Schutzfunktionen und sozioökonomischen Funktionen leisten.

### Zusammenfassung

Waldwachstumsforschung bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Erkenntnis- und Zweckinteresse, zwischen Streben nach biologischen Gesetzmäßigkeiten und deren Nutzbarmachung und Anwendung für die nachhaltige Entwicklung von Wäldern. Von den Vorgaben seitens der forstwirtschaftlichen Praxis dürfte für die Waldwachstumsforschung der immer bessere In-



Abbildung 8: Visualisierung waldbaulicher Planungsalternativen auf Landschaftsebene mit dem Programmbaustein L-VIS. Blick von der Stadt Traunstein auf den Bürgerwald bei gegenwärtigen Mischungsverhältnissen von Fichte, Tanne und Buche (oben) und bei Erhöhung des Tannen- und Buchenanteils auf 10 bzw. 20 Prozent (unten).

prozenten bilden eine geradezu ideale Grundlage für die jährliche Nutzungsplanung, die gezielte Bearbeitung spezifischer Käuferwünsche und die Dokumentation des Pflegefortschrittes auf der Betriebsfläche.

Die Interpolation zwischen Inventurpunkten und Erschließung weiterer Informationen ebnet den Weg für die Visualisierung ganzer Landschaftsausschnitte eines Forstbetriebes. Aus verfügbaren Daten zu Landschaftsrelief, Oberflächenstruktur, Bestandesgrenzen und Bestockungsform werden dreidimensionale Landschaftsbilder erstellt, auf die der Benutzer aus frei wählbarer Position blicken kann. Durch die Kopplung mit einzelbaumorientierten Wuchsmodellen werden neben reinen Zustandsbildern auch wirklichkeitsnahe Waldentwicklungen abbildbar, etwa die langfristige Veränderung des Landschaftsbildes durch Aufforstungen, Veränderung der Baumartenzusammensetzung oder Erschließungsmaßnahmen. Das an SILVA 2.2 gekoppelte Landschaftsvisualisierungsprogramm L-VIS modelliert die Makrostrukturen des Landschaftsausschnittes und belegt sie mit den aus Zustandsaufnahmen oder Simulationsrechnungen vorliegenden Waldstrukturen. Die Kopplung an das Einzelbaummodell ebnet den Weg zur Dynamisierung der erstellten Landschaftsbilder und Visualisierung von Planungsalternativen (Abb. 8). Die Einsatzmöglichkeiten solcher Visualisierungsmethoden im Rahmen der partizipativen Planung in einem Stadtwald liegen auf der Hand (PRETZSCH und SEIFERT 2000).

formationsstand über die Ressourcen und Risiken in unserer Wälder am folgenreichsten sein. Die Ausstattung mit moderner Informationstechnologie ist eine zweite Vorgabe der Forstwirtschaft mit besonders weitreichenden Konsequenzen für die Waldwachstumsforschung. Der Beitrag führt aus, wie waldwachstumskundliches Wissen via Waldwachstumssimulatoren für eine nachhaltige Entwicklung von Wäldern nutzbar gemacht werden kann, wie diese auf den Informationsfluß und die Informationstechnologie der Praxis abgestimmt sind und welche Vorteile sie gegenüber herkömmlichen Modellen (Ertragstafeln, Verteilungsfortschreibungsmodellen, Matrixmodellen) bieten. Indem solche Modelle Einzelentscheidungen auf Bestandes- und Stratenebene bis zur Betriebsebene oder noch höher aggregieren, machen sie die übergeordneten Konsequenzen von Einzelentscheidungen sichtbar. Neben den klassischen ertragskundlichen Baum- und Bestandesattributen wie Massenleistung, Sortenleistung und Wertleistung werden wichtige ökologische, ökonomische und sozioökonomische Variablen im Modell mitgeführt. Sie unterstützen die im weiteren Sinne nachhaltige Entwicklung unserer Waldbestände.

## Summary

Forest yield science is within the field of force between interest in biological knowledge and application, between aiming for biological rules and their use for a sustainable development of forests. Two changes in forest practice with essential influence on a practice oriented growth and yield science are discussed: The extended data base about the state and development of forests and the availability of information technology and their mastery by forest managers. The paper presents how the increasing growth and yield knowledge can be used by forest management models, how growth simulators can support decisions and how they fit into the information flow of forest management. The advantages of single tree based stand simulators compared with classical yield tables, diameter distribution models and matrix models are pointed out. By scaling up separate management decisions they can make evident their long term consequences on enterprise, regional or country level. Scenario analysis with growth simulators provide forest management with ecological, economical and socioeconomical output variables for management alternatives. In this way the introduced new model generation improves the accessibility of growth and yield knowledge for taking care of forests and their sustainable development.

## Literatur

- [1] DURSKY, J.: Einsatz von Waldwachstumssimulatoren für Bestand, Betrieb und Großregion. Habilitationsschrift an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan 2000, 223 S.  
 [2] DUSCHL, CH.: Simulation fortbetrieblicher Sachverhalte auf der Basis gegenwärtiger Waldstrukturen. Forstliche Forschungsberichte München, Freising 181 (2001), 178 S.

- [3] FRANZ, F.: Zum Aufbau eines neuzeitlichen Informationssystems für die Forstwirtschaft. Forstarchiv, 58 (1987) 4, S. 131–137  
 [4] HANEWINKEL, M.; PRETZSCH, H.: Modelling the conversion from even-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* L. KARST.) with a distance-dependent growth simulator. Forest Ecology and Management 134 (2000), S. 55–70  
 [5] HASENAUER, H.: Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien 1994, 152 S.  
 [6] KNOKE, TH.: Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald – zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern. Forstliche Forschungsberichte, München 170 (1998), 198 S.  
 [7] MÜLLER, M.: Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Waldwachstumssimulatoren für die Betriebsplanung – Untersuchung am Beispiel des Stadtwaldes Traunstein. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan 2000, 135 S.  
 [8] NAGEL, J.: Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Norddeutschland. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächs. Forstl. Versuchsanstalt, (1998) 128, 122 S.  
 [9] PRETZSCH, H.: Zur Evaluierung von Wuchsmodellen. Bericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten in Volpriehausen 1999, S. 1–23  
 [10] PRETZSCH, H.: Modellierung des Waldwachstums. Blackwell Wissenschaft, Berlin 2001, 320 S.  
 [11] PRETZSCH, H.; KAHN, M.: Wuchsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. Anwendungsbeispiel: Variantenstudie Fichtenreinbestand versus Fichten/Buchen-Mischbestand, Allgemeine Forstzeitschrift, 51 (1996) 25, S. 1414–1419  
 [12] PRETZSCH, H.; KAHN, M.; DURSKY, J.: Stichprobendaten für die Entwicklungsprognose und die Nutzungsplanung. AFZ/DerWald (1998) 25, S. 1552–1558  
 [13] PRETZSCH, H.; SEIFERT, ST.: Methoden zur Visualisierung des Waldwachstums. Berlin, Forstwiss. Cbl., 119 (2000), S. 100–113  
 [14] STERBA, H.; MOSER, M.; MONSERUD, R.: PROGNAUS – Ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände, Österreichische Forstzeitung, Wien (1995) 5, S. 19–20

*Autorenanschrift:*

*Prof. Dr. Hans Pretzsch*

*Lehrstuhl für Waldwachstumskunde  
der Technischen Universität München*

*Am Hochanger 13*

*D-85354 Freising*

*Tel.: ++49-81 61-71 47 10, Fax: ++49-81 61-71 47 21*

*E-Mail: H. Pretzsch@lrz.tum.de*

## Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie

Mit dieser Zeitschrift werden die „Beiträge für die Forstwirtschaft“ im 35. Jahrgang auf qualitativ neuem Niveau weitergeführt und in der Thematik durch landschaftsökologische sowie Naturschutzaspekte wesentlich erweitert. Veröffentlichung finden insbesondere Forschungsarbeiten aus dem Forst- und Jagdwesen, dem Natur- und Umweltschutz, aber auch aus Holztechnik und Forstökonomie. Dies entspricht dem Aufgabenprofil der Landesforstanstalt Eberswalde sowie der Fachhochschule Eberswalde als den mit dem Deutschen Landwirtschaftsverlag GmbH gemeinsamen Herausgebern.

*Bitte fordern Sie unsere kostenlosen Lese-Exemplare an!*

ISSN 0323-4673 B 12329. Erscheinungsweise: vierteljährlich. Einzelheft DM 27,50, Jahresabonnement DM 108,00 (Preise inkl. Versand und MwSt.). Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, 10247 Berlin, Gürtelstraße 29a/30, Tel. (0 30) 29 39 74-45, Fax -59