

Stichprobendaten für die Entwicklungsprognose und die Nutzungsplanung

Von Hans Pretzsch, Markus Kahn und Ján Ďurský, Weihenstephan

Das Informationspotential kostspieliger Rasterstichproben wird bisher nicht annähernd für die Planung und Kontrolle im Forstbetrieb ausgeschöpft. Das ist in erster Linie auf einen mangelnden Methodentransfer zwischen Wissenschaft und Praxis, Forsteinrichtung und Waldwachstumsforschung zurückzuführen. Denn die Ausstattung mit Daten, Hardware, EDV-Programmen zur Datenorganisation, Prognose und Visualisierung und die EDV-Akzeptanz bieten bestmögliche Ausgangsbedingungen. Es mangelt lediglich an einer zweckmäßigen Kombination vorhandener Elemente und Technologien. Die im folgenden entwickelte Kombination aus Forsteinrichtungs-Datenbank, Wachstumsmodell und Visualisierungs-Software gewährleistet eine bestmögliche Nutzung der Inventurinformationen für die Waldbauplanung.

Das Konzept zur Erschließung von Inventurdaten für die Planung sieht die in Abb. 1 bezeichneten Schritte vor: Ausgangspunkt sind Inventurdaten aus Rasterstichproben, Bestandesvollerhebungen, Weiserflächen oder Bestandesschätzungen, die für Entscheidungen auf Bestandesbasis, Betriebsebene oder übergeordneten regionalen Ebenen nutzbar gemacht werden sollen (1). Solche Daten werden in einer Datenbank (2) abgelegt, die vor allem für Zwecke der Visualisierung und Informationsverschneidung mit einem Geographischen Informationssystem gekoppelt sein sollte. Eine solche Datenbank umfaßt naturale Zustandsgrößen, Geländeinformationen und Standortdaten, wie sie für die Einsteuerung von Wachstumsmodellen erforderlich sind.

Das hiesige Konzept stützt sich auf das positionsabhängige Einzelbaummodell SILVA 2.2, das für die Fortschreibung auf Bestandes- und Betriebsebene entwickelt wurde. Durch Stratifizierung der Inventurdaten nach Bestandes- und Standortstypen und Übergabe geeigneter Start- und Steuergrößen (3) für solche ausgeschiedenen Straten an das Wachstumsmodell kann SILVA 2.2 für die Prognose der Waldentwicklung innerhalb der Straten eingesetzt werden. Mit dem Prognosemodell (4) lassen sich unterschiedlichste Behandlungsvarianten ausprobieren und Eingriffsstrategien optimieren.

Die Ergebnisse solcher Simulationläufe können wiederum in der Datenbank abgelegt werden (5), so daß aus dieser Datenbank Leistungstafeln (6) und thematische Karten (7) abgerufen werden können. Standort-Leistungstafeln für die ausgeschiedenen Bestandes- und Standortstypen und entsprechende thematische Karten, welche den Zustand,

geplante Maßnahmen und prognostizierte Entwicklungen visualisieren, bilden eine wichtige Basis für die Planung (8), indem sie praktische Entscheidungshilfen liefern.

Je nach Informationsbedarf kann der Zustand einzelner Inventurpunkte, die Bestandesentwicklung innerhalb spezifischer Bestandes/Standort-Straten oder die Entwicklung ganzer Bestände sowie des Betriebes mit dem Modell (4) fortgeschrieben werden. In jedem Fall läuft das Konzept darauf hinaus, verfügbare Inventurdaten für forstwirtschaftliche Entschei-

dungsträger nutzbar zu machen, indem sie mit einem Wachstumsmodell weiterverarbeitet und einer Entwicklungsprognose und Szenarioanalyse zugeführt werden.

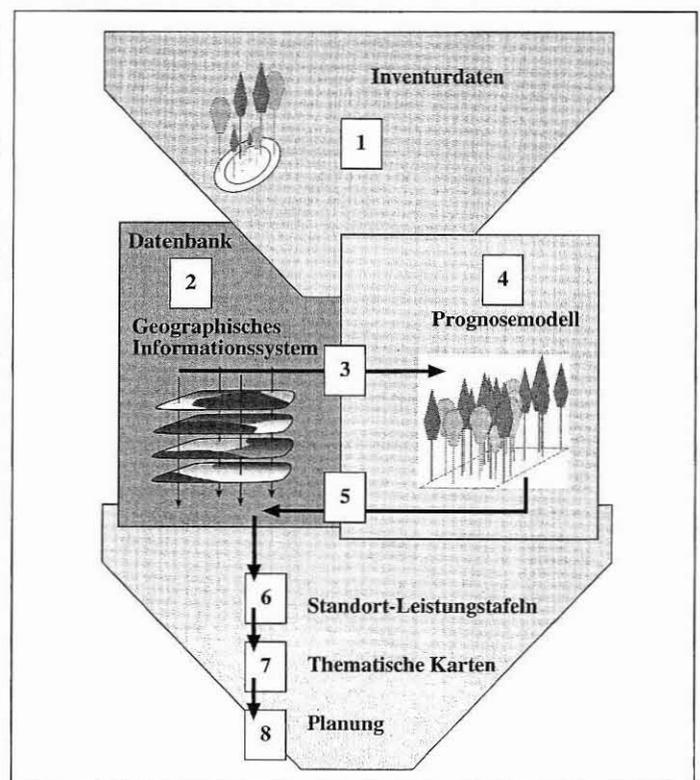
Mit diesem integrativen Methodeneinsatz einher geht eine wirkungsvolle Daten- und Komplexitätsreduktion, die den Informationsgehalt von Stichprobenpunkten über Datenbanken, Wachstumsmodelle und Visualisierungs-Software analysiert und verdichtet, so daß eine effektive Ableitung wirtschaftlich relevanter Entscheidungen bestmöglich unterstützt wird. Die kostenintensiv erhobenen Daten aus Rasterstichproben können in Verbindung mit heute verfügbaren treffgenaueren und aussagekräftigeren Einzelbaummodellen solide Planungshilfen für die forstwirtschaftliche Praxis erbringen.

Im Mittelpunkt des folgenden Beitrags steht die längst überfällige Verknüpfung von Methoden und Modellen, wie Forsteinrichtungsdatenbanken, Geographischen Informationssystemen, Kontrollstichproben bzw. Betriebsinventuren und computergestützten Wachstumsmodellen. Damit soll der Kommunikationsstau zwischen Wissenschaft und Praxis, der das Ausschöpfen vorhandener Informationspotentiale verhindert, behoben werden.

Prof. Dr. H. Pretzsch ist Leiter des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde an der Universität München. Dr. M. Kahn und Dr. J. Ďurský sind wissenschaftliche Mitarbeiter an diesem Lehrstuhl.

Die Entwicklungsarbeiten werden von der DFG, vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert.

Abb. 1: Konzept für die Nutzarmachung von Inventurdaten für die Entwicklungsprognose und Nutzungsplanung im Forstbetrieb



Anwendungsbeispiel:

Stadtwald Traunstein

Von Hans Pretzsch, Markus Kahn und Ján Ďurský

Am Beispiel des Stadtwaldes Traunstein (s. Kasten) wird eine Konzeption für den verbesserten Einsatz von Betriebsinventuren für die Nutzungsplanung und Erfolgskontrolle auf Betriebsebene zur Diskussion gestellt. Sie läuft auf eine Stratifizierung der Inventurdaten nach Bestandesstrukturen und Standorten hinaus, auf die Entwicklung von Standort-Leistungs- und Sortentafeln für diese Straten mit Hilfe von Einzelbaummodellen und auf den Einsatz von Wachstumsmodellen für die Entwicklungsprognose und Nutzungsplanung [1].

Stratifizierung der Inventurdaten

In den letzten 10 bis 15 Jahren ist in vielen Landesforstverwaltungen Deutschlands, aber auch in zahlreichen privaten Forstbetrieben, auf Basis von permanenten Stichprobeninventuren eine ganz hervorragende waldwachstumskundliche Datenbasis entstanden.

Zwar werden die meisten Stichprobenkonzepte als Betriebsinventuren geplant, doch erfolgt die Auswertung meist im Nachhinein auf Stratenebene. So bezieht sich auch hier die weitere Untersuchung ebenfalls auf Stratifizierungseinheiten, die genutzt werden, um erstens Standort-Leistungs-Tafeln zu erstellen, zweitens die im Jahr 1989 durchgeführte Inventur des Stadtwaldes Traunstein hinsichtlich der

Naturalproduktion fortzuschreiben und drittens die Entwicklung der Wertleistung und Sortimentstruktur nachzubilden.

Unter einer Stratifizierung der Waldbestände zum Zwecke der Entwicklungsprognose auf Betriebsebene verstehen wir hier eine zweidimensionale Gruppierung aufgrund von Bestandestyp und Standortstyp [2].

- Ein **Bestandestyp** umfaßt Bestände mit gleichen oder ähnlichen Bestockungsverhältnissen bei gleichartiger waldbaulicher Behandlung. Er wird durch die Hauptwirtschaftsbaumart und die wirtschaftlich wichtigsten Mischbaumarten bestimmt.
- In dem **Standortstyp** werden ökologisch gleichwertige und wachstumsähnliche Standorteinheiten zusammengefaßt.

Das Ergebnis der Stratifizierung ist eine sogenannte Kreuzstratifizierungseinheit (Abb. 2), z. B. der Bestandestyp Fichte/Buche auf dem Standortstyp 13, welcher der Standorteinheit 234, frischer humusreicher Lehm, entspricht.

Andere Standortstypen setzen sich aus mehreren Standorteinheiten zusammen. Im Stadtwald Traunstein ist beispielsweise das Stratum „Fichte/Buche auf Standortstyp 13“ mit insgesamt 22 Stichprobenpunkten belegt.

Im Idealfall weisen die Stichprobenpunkte der Kreuzstratifizierungseinheit eine Altersreihenstruktur auf und decken den gesamten Altersrahmen mehr oder weniger gleichmäßig ab. Vor diesem Hintergrund sollten die Bestandes- und Standortstypen auch mit Blick auf den Stichprobenfehler der für die Betriebsebene konzipierten Inventur nicht zu eng definiert werden. Andererseits darf die Abgrenzung der Straten auch nicht zu breit werden, weil die Kreuzstratifizierungseinheit sonst ihre wachstumstypischen Merkmale verliert.

Prof. Dr. H. Pretzsch ist Leiter des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde an der Universität München. Dr. M. Kahn und Dr. J. Ďurský sind wissenschaftliche Mitarbeiter am selben Lehrstuhl.

Start- und Steuergrößen

Waldwachstumskundliche Kennwerte

Die aus Bestandes- und Standortstypen gebildeten Straten werden waldwachstumskundlich ausgewertet, mit dem Ziel, die ermittelten Kennwerte zur Erzeugung von Start- und Steuergrößen für das Wachstumsmodell SILVA 2.2 zu verwenden. Beispielhaft zeigt Abb. 3 (auf S.1556; in der Mitte rechts) die Bestandesgrundfläche über der Oberhöhe der Fichte für das Stratum „Fichte/Buche auf Standortstyp 13“. Das Datenfeld ist vor allem in den jüngeren Altersklassen, d.h. bei geringeren Oberhöhen der Fichte, nur relativ schwach besetzt. Die Punktwolken werden nun getrennt für die Baumarten Fich-

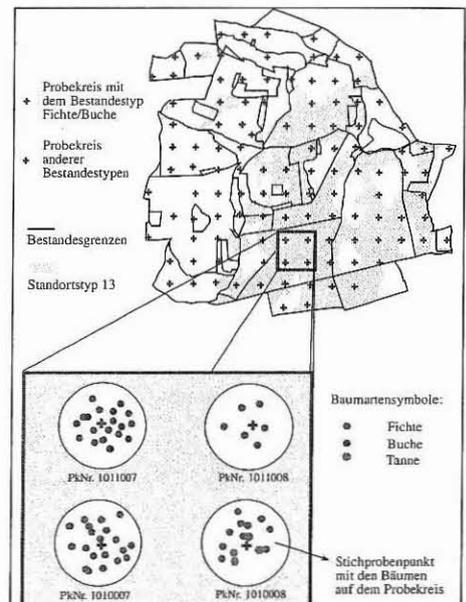


Abb. 1: Rasterstichprobe im Stadtwald Traunstein, Distrikt VIII, Froschham

Farbig hervorgehoben ist das Stratum „Bestandestyp Fichte/Buche auf dem Standortstyp 13, frischer humusreicher Lehm“ (oben). Auf jedem Probekreis sind Baumart, Baumdurchmesser, Baumhöhe und Koordinaten aller Bäume bekannt (unten).

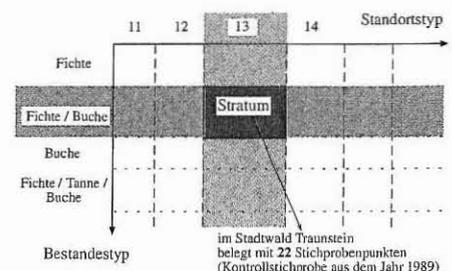


Abb. 2: Stratifizierung der Waldbestände nach Standorts- und Bestandestypen. Die Ausweisung von Straten unterstützt die Aufstellung von betriebstypischen Standort-Leistungs-Tafeln.

Stadtwald Traunstein

Die im bayerischen Wuchsbezirk 14.4 „Oberbayerische Jungmoräne und Molassevorberge“ gelegene Waldfläche des Stadtwaldes Traunstein umfaßt 553 ha, davon 18 ha Nicht-holzbodenfläche. Die wichtigste Baumart ist die Fichte auf 69 % der Waldfläche, von Buche werden 11 %, von Tanne 8 % und von Edel-laubhölzern 10 % der Waldfläche bedeckt. Der durchschnittliche Bestandesvorrat lag im Jahr 1989 bei 414 EfmD o.R. je ha.

Im Jahr 1989 wurde eine Betriebsinventur durchgeführt, die sich auf 512 (bzw. 504 auf Holzboden gelegene) permanente konzentrische Probekreise stützt, welche im Raster von 100 m x 100 m angelegt wurden (Abb. 1). Die Daten wurden an der FD München ausgewertet und stehen dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde in Form einer Forsteinrichtungsdatenbank zur Verfügung. Außerdem wurde im Jahr 1997 vom Verein für Forstliche Standortserkundung eine Standortkartierung vorgenommen, deren Resultate digitalisiert vorliegen. Gegenwärtig wird eine Wiederholungsinventur über die permanenten Probekreise durchgeführt, um das Forsteinrichtungswerk des Stadtwaldes Traunstein zu aktualisieren und Informationen zur Entscheidungsunterstützung zu beschaffen.

te und Buche durch Grundflächenkurven funktional ausgeglichen.

Diese Kurven können als betriebstypische Grundflächenhaltungen von Fichten-Buchen-Mischbeständen auf Standortstyp 13 im Stadtwald Traunstein angesehen werden. Sie dienen bei der Prognoserechnung mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 als Stützstellen [2]. Die Grundflächenhaltung in dem betrachteten Bestandestyp ist nicht nur standortbedingt, sondern vor allem eine Folge der wirtschaftlichen Behandlung. Die Prognose gründet auf dieser Auswertung der Inventurpunkte, um das verfügbare Informationspotential möglichst weitgehend auszuschöpfen. Für die Einsteuerung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 wird außerdem die alterstypische Oberhöhenentwicklung der am Bestandestyp beteiligten Baumarten aus den Inventurdaten abgegriffen.

Aus waldwachstumkundlicher Sicht sind diese beschreibenden Auswertungen der Straten äußerst lückenhaft. Man kennt zwar nun aus einer statistischen Analyse für die gut besetzten Altersklassen nach Baumarten getrennt vor allem Stammzahlen, Grundflächen und Vorräte, es fehlen aber Informationen etwa über laufende und durchschnittliche Volumenzuwächse oder auch die für die Altersklassen typischen Entnahmemengen. Diese fehlenden Kenngrößen werden mit dem Ziel, vollständige Standort-Leistungs-Tafeln zu erzeugen, unter Zuhilfenahme des Wachstumsmodells SILVA 2.2 geschätzt.

Reproduktion von Bestandesstrukturen

Das Wachstumsmodell SILVA 2.2 benötigt als positionsabhängiges Einzelbaummodell detaillierte Informationen über Baumzahl-Durchmesser-Verteilungen, Baumhöhen und Baumpositionen. Diese Informationen sind nach Stichprobeninventuren mit konzentrischen Probekreisen in völlig ausreichendem Umfang vorhanden. Allein ein positionsabhängiges Einzelbaummodell vermag die im Rahmen der Inventuren erhobenen Detailinformationen in vollem Umfang auszuschöpfen.

Zur Reproduktion der Bestandesstrukturen wird für jede Kreuzstratifizierungseinheit ein repräsentativer Waldbestand in der II. Altersklasse erzeugt (Abb. 3). Dabei werden die aus den Stichprobenpunkten bekannten Baummerkmale (Baumart, Durchmesser, Höhe, Position) unmittelbar zur Reproduktion genutzt [3, 4].

In zwei Phasen der Reproduktion, die vom Stichprobenkonzept abhängig sind, werden zunächst die auf den Probekreisen erfaßten Bestandesstrukturen im Originalzustand wiederhergestellt. Anschließend wird die Bestandesstruktur zwischen den Probekreisen so mit Bäumen ergänzt, daß der in SILVA eingesteuerte Bestand einen typischen Waldbestand der

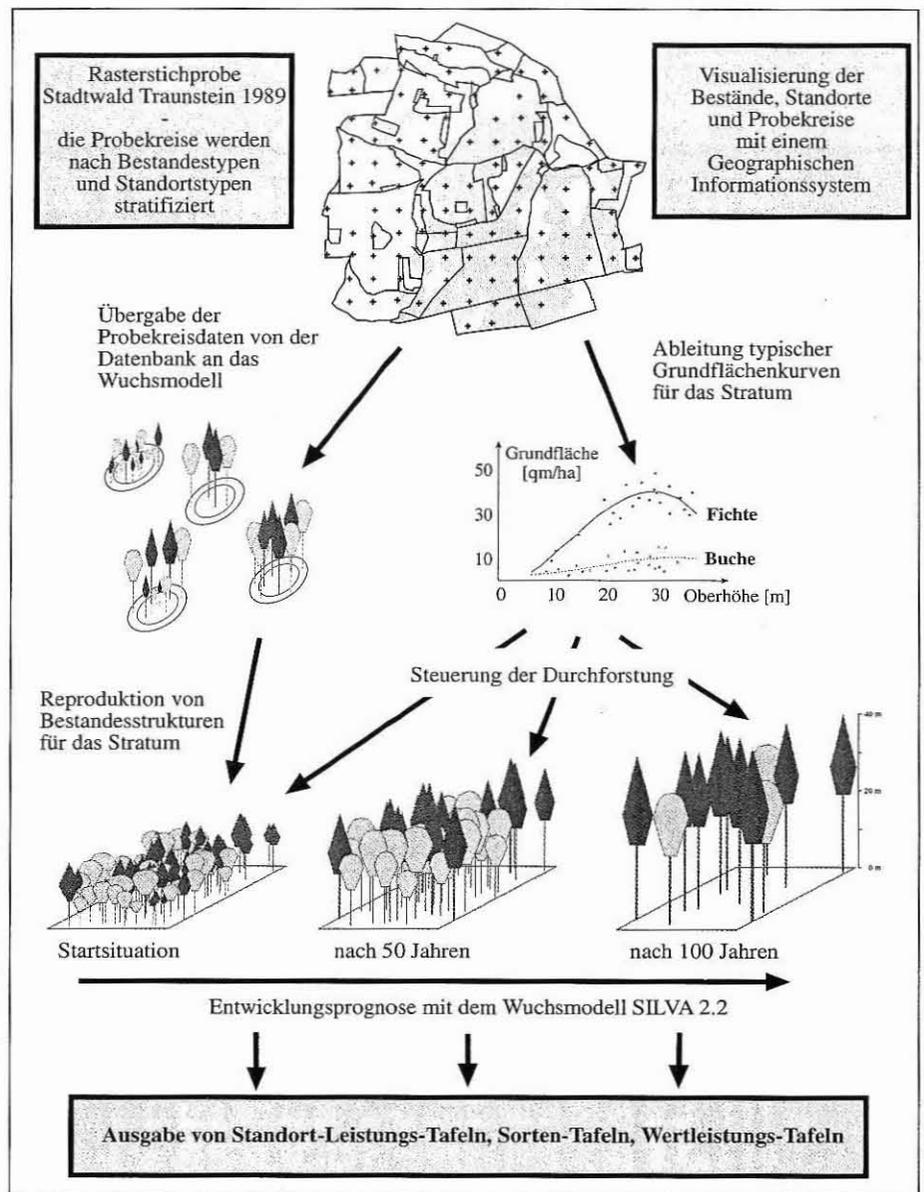


Abb. 3: Die Berechnung von Standort-Leistungs-Tafeln mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 beruht unmittelbar auf der Reproduktion von Bestandesstrukturen, die aus den Daten der permanenten Probekreise übernommen werden.

II. Altersklasse des betrachteten Stratum repräsentiert. Dieser Bestand definiert den Ausgangszustand für eine Entwicklungsprognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 (Abb. 3).

Steuergrößen, Standort und Bestandesbehandlung

Der so generierte Ausgangszustand der Bestandesstruktur muß für die Entwicklungsprognose mit Informationen zum Standort und zur Bestandesbehandlung ergänzt werden. Das Wachstumsmodell SILVA 2.2 ist standortsensitiv und kann die für den Standortstyp des betrachteten Stratum charakteristischen Standortmerkmale zu Boden und Klima direkt verarbeiten.

Die vom Wachstumsmodell durchgeführte Schätzung des Standort-Leistung-Potentials wird durch die aus den Inventurdaten abgeleitete Beziehung zwischen Oberhöhe und Bestandesalter weiter unterstützt. Die aus den Inventurbefunden abgeleitete typische Grundflächenhaltung des betrachteten Bestandestyps (Abb. 3)

wird der Prognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 zugrundegelegt.

Wachstumsmodell SILVA 2.2

Die auf dem generierten Bestand aufbauende Prognoserechnung wird mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 durchgeführt. Indem das computergestützte Waldwachstumsmodell SILVA 2.2 standortreagibel aufgebaut ist, ein breites Spektrum von Mischungsformen und Bestandesstrukturen nachbilden kann und alle praxisrelevanten Behandlungsregime vorsieht, bietet es bestmöglichen Ersatz für die Ertragstafel [1]. Eine Erweiterung der auf den Holztertrag ausgerichteten Ergebnisse um Informationen zur Sortiments- und Holzerlösentwicklung, Bestandesstruktur, Bestandesstabilität und Diversität eröffnet Möglichkeiten zur Abwägung und Optimierung zwischen Produktions- und Schutzaspekten bei der Wirtschaftsplanung auf Einzelbaum-, Bestandes- und Betriebsebene [5].¹⁾

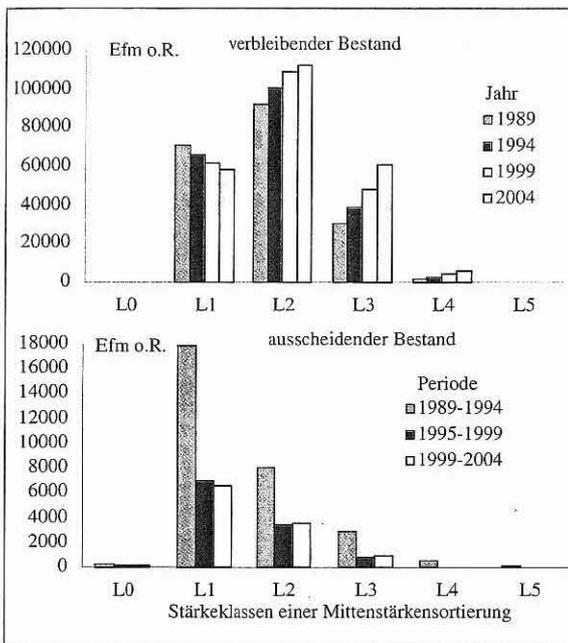


Abb. 4: Sortimentstruktur für den Stadtwald Traunstein, Baumart Fichte

Verbleibender (oben) und ausscheidender Bestand (unten) als Ergebnis einer Entwicklungsprognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2.

Das Wachstumsmodell SILVA 2.2 wird im folgenden für zwei verschiedene Prognosezwecke eingesetzt:

1. Für die **Entwicklungsprognose** der repräsentativen Waldbestände, die aus den beschreibenden Analysen der Inventurstraten abgeleitet wurden. Die Prognose beginnt mit der typischen Ausgangsstruktur eines Bestandes der II. Altersklasse und überdeckt einen Zeitraum von 100 Jahren. Das Ziel ist hierbei die Erstellung betriebstypischer Standort-Leistungs-Tafeln für alle Inventurstraten aus Bestandes- und Standortstypen des Stadtwaldes Traunstein (Abb. 3).
2. Für eine **Fortschreibung** der Inventurbefunde aus dem Jahre 1989, die über einen Forsteinrichtungszeitraum von 15 Jahren angestrebt wird. Dabei wird erkennbar, wie sich unter betriebstypischen Bewirtschaftungsmaßnahmen Bestandesvorräte, Sortimentstrukturen und monetäre Bestandeswerte innerhalb dieses Prognosezeitraumes verändern.

Die Informationen über betriebstypische Bewirtschaftungsmaßnahmen beruhen auf den Inventurdaten und bilden die im Be-

trieb gängige Durchforstungsstärke ab. Die Durchforstungsart kann nur eingeschränkt aus den Daten entnommen werden. Für die folgenden Prognosen wird daher eine Auslese-durchforstung unterstellt.

Betriebstypische Standort-Leistungs-Tafeln für Straten

Als ein zentrales Ergebnis der Simulationsanalysen mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 ergeben sich betriebstypische Standort-Leistungs-Tafeln. Beispielhaft wird wiederum der Bestandestyp Fichte/Buche auf dem Standortstyp 13 herausgegriffen, für den nun eine detaillierte Standort-Leistungs-Tafel vorliegt (Tab. 1).

Eine Standort-Leistungs-Tafel ist die ideale naturale Planungs- und Informationsgrundlage über ein Inventurstratum für Forsteinrichter und Betriebsleiter. Sie liefert mehr als eine rein beschreibende Auswertung der Stratifizierungseinheiten, denn die Straten aus Bestandestypen und Standortstypen bieten allein keine Informationen über den ausscheidenden Bestand, ebenso wenig über laufende oder durchschnittliche Höhen-, Durchmesser- und Volumenzuwächse.

Die Standort-Leistungs-Tafel spiegelt gut die wirklichen Ertragskomponenten des Stratum „Bestandestyp Fichte/Buche auf dem Standortstyp 13, frischer humusreicher Lehm“ wider. So wurde die Durchforstung in dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 auf Grundlage der Grundflächenkurvenverläufe gemäß Abb. 3 entwickelt. Entsprechend diesem aus den Inventurdaten abgeleiteten Kurvenverlauf erreicht die Fichte in der Simulationsperiode 8 (Bestandesalter Fichte 67, Buche 70 Jahre) eine Oberhöhe von 30,5 m, und die

Grundfläche liegt bei 39,5 m²/ha. Die Buche hingegen hat zum gleichen Zeitpunkt eine Bestandesgrundfläche von 8,5 m²/ha (Tab. 1, farbig unterlegter Bereich; Abb. 3). Was aus den Inventurdaten nicht abzuleiten war, sind z.B. die Informationen über den ausscheidenden Bestand, der in Prognoseperiode 8 mit 40 Fichten je ha bei einem Durchmesser von 32 cm und mit 15 Buchen je ha bei einem Durchmesser von 26 cm ein Volumen von 54 Vfmd/ha erreicht. Der laufende Volumenzuwachs beträgt in dieser Periode 19,3 Vfmd/ha und Jahr, davon leistet die Fichte 15,8 und die Buche 3,5 Vfmd/ha und Jahr.

Die Standort-Leistungs-Tafel gibt auch die standortstypische Dynamik der Höhenentwicklung wieder. Indem die Fichte im Alter 32 eine Oberhöhenbonität von 43,5 nach ASSMANN und FRANZ (1963) aufweist, im Alter 67 bei einer Bonität von 37,5 und im Alter 102 bei 36,9 liegt, wird der Bonitätsverlauf direkt erkennbar. Die Buche läßt ebenfalls über dem Alter fallende Bonitäten erkennen. Bonitiert nach SCHOBER (1967, maß. Durchforstg.) sinkt die Ertragsklasse in den Perioden 1 (Alter 35 Jahre), 8 (Alter 67 Jahre) und 15 (Alter 105 Jahre) von -0.2 über I.1 bis auf I.6 ab. Die Bestockungsgrade des Mischbestandes betragen 0,93 in Periode 1 (Alter 32 bis 35), 1,14 in Periode 8 (Alter 67 bis 70) und 1,03 in Periode 15 (Alter 102 bis 105).

Fortschreibung der Inventur

Die Erzeugung der Standort-Leistungs-Tafeln basiert auf der Fortschreibung eines repräsentativen Waldbestandes der II. Altersklasse für jedes Stratum. Der Prognosezeitraum betrug 100 Jahre. Davon zu trennen ist die jetzt folgende direkte Fortschreibung der aus dem Jahr 1989 stammenden Inventurbefunde über einen Zeitraum von 15 Jahren. Genauer gesagt wird jeder Probekreis fortgeschrieben, indem aus seinen waldwachstumskundlichen Charakteristika ein repräsentativer

1) SILVA 2.2 wurde in den vergangenen Jahren am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München entwickelt und kann sich wie kaum ein anderes Modell auf eine solide Basis von langfristigen Versuchsflächen und Wuchsreihen stützen, die ein denkbar breites Spektrum von Standortseinheiten, Behandlungsvarianten, Mischungsformen und Altersstrukturen aufweisen. Parametrisiert ist es für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Buche und Eiche [6].

Das Wachstumsmodell SILVA 2.2 liegt als benutzerfreundliches Computerprogramm für das Betriebssystem Windows 95/NT vor. Alle nötigen Schritte zur Programmbedienung werden über leicht verständliche Dialogkomponenten gesteuert. Bei Bedarf können diese Dialogkomponenten ausgeblendet werden, so daß sich SILVA 2.2 auch in Forsteinrichtungsprogramme integrieren läßt, die eine Nutzung des Wachstumsmodells über Dateischnittstellen erlauben. Als eigenständiges Programm mit Benutzeroberfläche hat es bereits Eingang in Lehre, Forschung und Praxis gefunden.

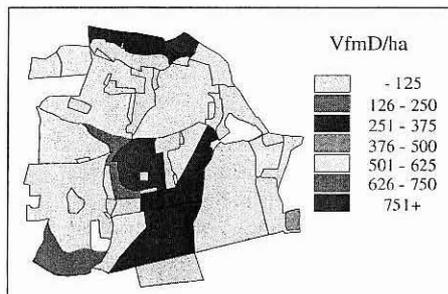


Abb. 5: Vorratsverteilung im Stadtwald Traunstein, Distrikt VIII, Froschham

Nach einer Auswertung der Stichprobeninventur des Jahres 1989 mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2, Visualisierung der Ergebnisse mit einem Geographischen Informationssystem

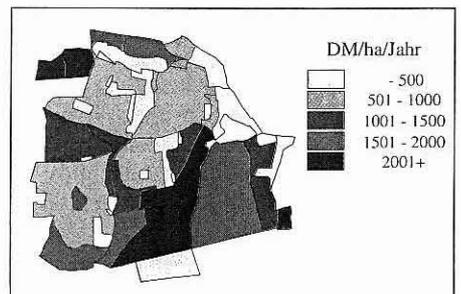


Abb. 6: Laufender jährlicher Wertzuwachs im Stadtwald Traunstein, Distrikt VIII

Nach einer Entwicklungsprognose der Stichprobeninventur für den Zeitraum 1989 bis 2004 mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2, Visualisierung der Ergebnisse mit einem Geographischen Informationssystem

Tab. 1: Standort-Leistungs-Tafel für das Stratum „Bestandestyp Fichte/Buche auf dem Standortstyp 13, frischer humusreicher Lehm“, als Ergebnis einer Entwicklungsprognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2.

Per	Art	Alter	N _v	h _{100v}	d _{100v}	h _{gv}	d _{gv}	G _v	Vol _v	N _a	h _{100a}	d _{100a}	h _{ga}	d _{ga}	G _a	Vol _a	iG	iV	dGz	GWL
1	Fichte	32	863	19,0	28,0	17,2	18,5	23,3	190	225	15,0	13,5	13,9	11,1	2,2	14			6,4	204
1	Buche	35	318	16,3	19,5	15,6	14,5	5,2	37	10	14,4	12,5	14,4	12,5	0,1	1			1,1	38
1	Alle		1181					28,5	228	235					2,3	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	1,08	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	773
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	49	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

Per = Simulationsperiode; Alter = Bestandesalter der Baumart; N = Stammzahl je ha; h₁₀₀ = Oberhöhe in m; d₁₀₀ = Durchmesser des Oberhöhenbaumes in cm; h_g = Grundflächenmittelhöhe in m; d_g = Grundflächenmitteldurchmesser in cm; G = Bestandesgrundfläche in qm/ha; Vol = Bestandesvolumen in VfmD/ha; v = verbleibender Bestand, a = ausscheidender Bestand; iG = Grundflächenzuwachs in qm/ha/Jahr; iV = laufender Volumenzuwachs in VfmD/ha/Jahr; dGz = durchschnittlicher Gesamtzuwachs in VfmD/ha/Jahr; GWL = Gesamtwachstumsleistung in VfmD/ha.

Waldbestand aufgebaut wird, der zur Prognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 weiterverarbeitet wird.

Dies ist wiederum eine denkbar tiefe Ausschöpfung der auf den konzentrischen Probekreisen erhobenen Bauminformationen. Die Resultate können anschließend wieder auf Straten- oder Betriebsebene ausgewertet werden. Bei der Prognose ist für jeden Probekreis die Zuordnung zu einem Stratum aus Bestandes- und Standortstyp erforderlich, um die entsprechenden Steuergrößen zu gewinnen.

Für den Gesamtbetrieb des Stadtwaldes Traunstein folgt aus der Entwicklungsprognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 eine Vorratsänderung von durchschnittlich 414 EfmD/ha im Jahr 1989 auf 388 EfmD/ha im Jahr 2004, der Volumenzuwachs erreicht 10 EfmD/ha und Jahr. Unter der betriebstypischen Grundflächenhaltung in den Bestandes- und Standortstypen findet also ein Vorratsabbau statt, der bei der zugrunde gelegten Auslesedurchforstung zu einer potentiellen Verminderung von 11,5 EfmD/ha und Jahr führt. SILVA 2.2 ermöglicht weiter eine Sortierung und Wertermittlung.

Beispielhaft zeigt Abb. 4 die Sortimententwicklung der Baumart Fichte für die Gesamtfläche des Stadtwaldes Traunstein. Dargestellt ist das Resultat der Entwicklungsprognose mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 über einen Zeitraum von 15 Jahren, wobei die Sortierung mit dem in SILVA integrierten Modul BDAT [7] erfolgte. Es wird eine Mittenstärkensortierung zugrunde gelegt, die hier beispielhaft nur das Stammholzaufkommen der Fichte betrachtet.

Deutlich ist zu sehen, daß sich die Sortimentstruktur der Fichtenbestände in den nächsten Jahren von den schwächeren zu den stärkeren Sortimenten verlagern wird (Abb. 4, oben). Es sinkt das Volumen in der Stärkeklasse L1 von ca. 70.000 EfmD o.R. bezogen auf die gesamte Waldfläche nach 15 Jahren auf ca. 60.000 EfmD o.R., die Volumen in den Stärkeklassen L3 bzw.

L4 steigen von 92.000 auf 112.000 (L3) bzw. von 30.000 auf 60.000 (L4) EfmD o.R. Die Sortimentvolumen in den Stärkeklassen L0 und L5 sind mengenmäßig eher unbedeutend. Die Konsequenzen der geplanten Bestandesbehandlungsmaßnahmen werden somit auch auf der Sortimentebene des verbleibenden Bestandes unmittelbar sichtbar.

Die bei den Durchforstungen anfallenden Sortimentvolumen spiegeln das Bild der Sortimentverschiebungen wider. In der ersten Prognoseperiode fallen bei der Fichte auf der gesamten Waldfläche ca. 18.000 EfmD o.R. des Sortiments L1 an, das sind bei einer Periodenlänge von 5 Jahren also 3.600 EfmD o.R. pro Wirtschaftsjahr. Auch die Durchforstungsaufkommen der Sortimente L2 und L3 sind in der ersten Periode am höchsten, in den folgenden Perioden liegen sie auf eher gleichbleibendem Niveau. Die Änderungen des Holzvorrats lassen sich demnach nicht nur natural und volumenbezogen in Erntefestmetern abschätzen, sondern ebenso in bezug auf das Aufkommen marktfähiger Produkte bewerten, und zwar sowohl für Straten als auch für den Gesamtbetrieb. Die sortierungsgebundene Bewertung kann zusätzlich durch Einbeziehung von Holzerntekosten und Umsatzerlösen auf die Ebene einer Wertleistungsanalyse gehoben werden (s. Abb 5 und 6) [5].

Visualisierung

Die Visualisierung von Zustands- und Entwicklungsgrößen für Straten und Betriebe unterstützt Planung, Vollzug und Kontrolle. Für eine thematisch ausgerichtete Visualisierung umfangreicher flächenbezogener Datenmengen bieten Geographische Informationssysteme zahlreiche geeignete Grafik- und Abfrageroutinen [8]. Beispielhaft zeigt Abb. 5 den Istzustand der Bestandesvorräte des Stadtwaldes Traunstein zum Inventurzeitpunkt 1989. Man kann vorratsreiche und vorratsarme

Bestandespartien voneinander unterscheiden und räumlich leicht zuordnen.

Eine besondere Qualität erlangt eine solche rein zeitpunktbezogene Visualisierung nach Verknüpfung der Daten mit einem Wachstumsmodell. Wachstumsmodell und GIS werden dabei über eine Datenbank-schnittstelle miteinander verknüpft. In der Datenbank sind die Inventur- und Standortdaten abgelegt, Informationen zur Stratifizierung und Parameter zur Einsteuerung des Wachstumsmodells. Die Resultate der Prognoseläufe mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 werden ebenfalls in die Datenbank übertragen. Das Geographische Informationssystem greift auf diese Datenbank zu.

Der Wertzuwachs des Stadtwaldes Traunstein, der nach Entwicklungsprognosen mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 zwischen den Jahren 1989 und 2004 durchschnittlich 1.500 DM/ha und Jahr erreicht, kann in seiner flächenmäßigen Ausprägung sichtbar gemacht werden. Abb. 6 läßt erkennen, in welchen Beständen laufende jährliche Wertzuwächse, bezogen auf die holzerntekostenfreien Erlöse, von mehr als 2.000 DM/ha und Jahr auftreten, aber auch, wo die Wertzuwächse unter 500 DM/ha und Jahr liegen.

Diskussion der Ergebnisse

Vom Bestand zur Betriebsebene

Die Verwendung von Stichprobendaten für die Entwicklungsprognose und Nutzungsplanung im Forstbetrieb entspricht, bezogen auf den Einsatz von Wachstumsmodellen, zwangsläufig dem Übergang vom Bestand zur Betriebsebene. Ausgehend von einer Rasterstichprobe löst sich die Anwendung des Wachstumsmodells vom Bestandesbezug. Die Abgrenzung von Beständen ist zu keinem Zeitpunkt aus methodischen Gründen erforderlich. Der zur Einsteuerung eines Wachstumsmodells wie SILVA 2.2 benötigte „Bestand“ hat inhaltlich mit dem räumlich ausgerichteten Bestandesbegriff nichts gemein. Um das

Wuchsmodell einzusetzen, benötigt man lediglich entweder Informationen aus konzentrischen Probekreisen, die bis zum letzten gemessenen Baum auch genutzt werden. Oder man verwendet zur Modelleinstellung bereits verdichtete Bestandesmittelwerte (Mitteldurchmesser, Mittelhöhe, Grundfläche), die aus unterschiedlichsten Quellen stammen können (z.B. Stichprobeninventuren, Begang). Oder man greift schließlich auf Inventurstraten zurück, die sowohl direkt Probekreisinformationen als auch aggregierte Bestandesmittelwerte zur Verfügung stellen.

Die Nutzung des Wachstumsmodells ist also mit dem Anspruch verbunden, das jeweils verfügbare Informationspotential bestmöglich auszuschöpfen. Vor allem die auf den permanenten Probekreisen erfaßten Strukturinformationen sind unter Verwendung positionsabhängiger Einzelbaummodelle ein entscheidender Gewinn, prägt doch, abgesehen vom Standort, die Ausgangsstruktur des Bestandes seine Entwicklung wie keine andere Variable.

Bei der Entwicklungsprognose des Stadtwaldes Traunstein konnten noch keine Überlappungsphasen berücksichtigt werden. An der Integration eines Programmbausteins zur Nachbildung des Verjüngungswachstums im Wachstumsmodell SILVA 2.2 wird zur Zeit gearbeitet.

Sortentafeln und Wertleistungstafeln

Unter Nutzung eines leistungsfähigen Wachstumsmodells entstehen Rein- und Mischbestandsertragstafeln, die nicht nur standortspezifisch, sondern auch durch betriebstypische Durchforstungsstärken geprägt sind. Durch die Integration des Sortierungsprogramms BDAT in das Wachstumsmodell SILVA 2.2 läßt sich zusätzlich für jede dieser spezifischen Standort-Leistungs-Tafeln eine dazugehörige Sortentafel aufbauen, die für jedes Bestandesalter eine Aufgliederung der Sortimentsvolumen in Stärkeklassen ebenso anbietet wie eine Trennung nach verbleibendem und ausscheidendem Bestand. Bezüglich der Sortimente wird x-Holz, Stammholz und Industrieholz ausgehalten, zudem kann nach Fixlängen sortiert und auch eine Heilbronner Sortierung gewählt werden.

Darüber hinaus verfügt das Wachstumsmodell SILVA 2.2 über monetäre Bewertungsroutinen, die über verschiedene Pfade der Holzerntekostenermittlung (zum Beispiel Erweiterter Sortentarif EST oder maschinelle Aufarbeitung mit dem Harvester) sowie Einbeziehung möglicher Umsatzerlöse zur Ableitung von Kosten- und Wertleistungstafeln führen.

Die Standort-Leistungs-Tafeln und Sorten- sowie Wertleistungstafeln sind dem technologischen Stand der Informationsverarbeitung entsprechend keine endgültigen Buchwerke. Bei Aktualisierung der In-

venturbefunde, etwa nach einer Wiederholungsinventur, oder veränderten Marktbedingungen der Holzaufarbeitung, Holzaushaltung oder des Holzabsatzes, können sie bei Bedarf auf den aktuellsten Stand gebracht werden. Damit sollte die Gefahr ausgeschlossen werden, sich bei der Waldbewirtschaftung an Tafeln zu orientieren, bei deren Entstehung andere Rahmenbedingungen herrschten als bei ihrer Anwendung.

Optimierung und strategische Planung

Das Konzept zum Bau der Standort-Leistungs-Tafeln eröffnet nahezu unbegrenzte Möglichkeiten zum Variantenstudium. Mit kaum nennenswertem Zusatzaufwand lassen sich analog der bereits beschriebenen Vorgehensweise zur Steuerung der Grundflächenhaltung höhere oder niedrigere Bezugskurven einsteuern, ebenso lassen sich bei gleichen oder verschiedenen Grundflächenkurven alternative Behandlungskonzepte (Durchforstungsarten, Durchforstungshäufigkeiten) analysieren.

Diese Szenarioanalysen führen wiederum zu nun durchforstungsvariablen Standort-Leistungs-Tafeln, die dem Forsteinrichter ebenso wie dem Betriebs- und Revierleiter als Entscheidungshilfe dienen können. Szenarioanalysen ermöglichen es, waldbauliche Strategien zur Bestandesbehandlung zu optimieren.

Welche Kriterien und Indikatoren zur Optimierung herangezogen werden, hängt zwangsläufig von der gewählten Zielhierarchie ab. Traditionell wurde oftmals der durchschnittliche Gesamtzuwachs des Holzvolumens unter Festlegung der Umtriebszeit maximiert. Mit einem multifunktional ausgerichteten Wachstumsmodell wie SILVA 2.2 läßt sich ebenso die mehrkriterielle Optimierung der monetären Wertleistung, der Bestandesstabilität oder auch ökologischer Kriterien erfolgreich anvisieren.

Bestandesübergreifende ökologische Bewertung

In dem Kontext einer natural und ökonomisch ausgerichteten Optimierung waldbaulicher Maßnahmen muß die ökologische Dimension berücksichtigt werden. Das Wachstumsmodell SILVA 2.2 bietet hierfür eine Auswahl an quantitativ basierten Diversitäts-Indikatoren zur Arten- und Habitatvielfalt, die standardmäßig zum Ausgabespektrum des Wachstumsmodells gehören [5]. Waren diese Indikatoren in ihrem Aussagebezug bisher auf die Bestandesebene beschränkt, so erlaubt die Verknüpfung mit flächenbezogenen Geographischen Informationssystemen jetzt einen Übergang zu bestandesübergreifenden und damit betriebsweiten ökologischen Bewertungen. Eine kleinflächige Mischung verschiedenaltiger und verschiedenartiger Reinbestände, z.B. diagnostiziert aus

dem dicht vernetzten Nebeneinander von Inventurprobekreisen, führt bei bestandesübergreifender Betrachtung zu einer völlig anderen, auf jeden Fall höheren ökologischen Wertigkeit des Betriebes als bei Verhaftung im Bestandesdenken. Und ebenso wie etwa für den Volumen- und Wertzuwachs macht die Entwicklungsprognose mit einem Wachstumsmodell auch eine ökologische Dynamik auf Betriebsebene sichtbar und faßbar.

Regionale Anpassung des Wachstumsmodells SILVA 2.2

Die Entwicklungsprognosen des Stadtwaldes Traunstein wurden mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 durchgeführt. Obwohl dieses Wachstumsmodell auf einem außergewöhnlich breiten Datenfundament steht, ist eine Adjustierung der Modellparameter vorgesehen [6]. Darunter kann man eine regionale bzw. standortstypische Anpassung des Wachstumsmodells verstehen, die auf den lokal erhobenen Daten der Stichprobeninventur beruht. Diese Anpassung verfolgt unter dem Gesichtspunkt der Ausschöpfung vorhandener Informationspotentiale zwei Ziele.

- Erstens soll dadurch die Genauigkeit der Wachstumsprognosen für den betrachteten Forstbetrieb erhöht werden.
- Zweitens erlaubt eine zyklische Adjustierung und Rekalibrierung des Wachstumsmodells eine stets zeitnahe Aktualisierung des prognostizierten Zuwachsniveaus.

Verzichtet man auf die Adjustierung, liefert das Wachstumsmodell SILVA 2.2 konservative Zuwachsschätzungen, die das Zuwachsniveau der letzten 30 bis 50 Jahre, also des Kalibrierungszeitraumes, widerspiegeln. Wird das Modell hingegen rekalibriert, kommt man noch näher an das aktuelle und vor allem lokale Zuwachsniveau heran, ohne gleichzeitig kurzfristigen Zuwachsschwankungen aufzusitzen.

Literaturhinweise:

- [1] PRETZSCH, H., 1995: Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung, Forstw. Cbl., 114. Jg., S. 188-209.
- [2] DURSKY, J., 1998: Optimierung und Fortschreibung der Naturalproduktion von Waldbeständen für einen Forstbetrieb auf der Basis von Inventurdaten. Vortrag anlässlich der Jahrestagung 1998 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Tagungsbericht, S. 52-67.
- [3] PRETZSCH, H., 1997: Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony, Forest Ecology and Management, Vol. 97, p. 237-253.
- [4] POMMERENING, A., 1998: Fortschreibung von Stichproben- und positionsabhängigen Wachstumsmodellen. Vortrag anlässlich der Jahrestagung 1998 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Tagungsbericht, S. 35-51.
- [5] PRETZSCH, H. und KAHN, M., 1996: Wachstumsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb, Anwendungsbeispiel: Variantenstudie Fichtenreinbestand versus Fichten/Buchen-Mischbestand, AFZ/DerWald, 51. Jg., H. 25, S. 1414-1419.
- [6] KAHN, M. und PRETZSCH, H., 1998: Parametrisierung und Validierung des Wachstumsmodells SILVA 2.2 für Rein- und Mischbestände aus Fichte, Tanne, Kiefer, Buche, Eiche und Erle. Vortrag anlässlich der Jahrestagung 1998 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Tagungsbericht, S. 18-34.
- [7] KUBLIN, E. und SCHARNAGL, G., 1988: Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT, Forstliche Forschungs- und Versuchsanstalt Baden-Württemberg, 87 S.
- [8] POTT, M., 1998: Verbindung Wachstumsmodell - Geographisches Informationssystem als Beitrag für ein Betriebsinformationssystem. Vortrag anlässlich der Jahrestagung 1998 der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Tagungsbericht, S. 68-77.