

# Zur Verwendung von Rasterstichproben für die Fortschreibung, Nutzungsplanung und Behandlungsverbesserung in einem Forstbetrieb

## Application of sample inventory data for prognosis, harvest planning and silvicultural improvement in a forest district

Von J. DURSÝ

### Zusammenfassung

Die Arbeit befaßt sich mit der Nutzung von Betriebsinventurdaten für die Fortschreibung, Nutzungsplanung und Szenarioanalyse von Behandlungsprogrammen in einem Forstbetrieb mit einem Einzelbaumsimulator. Weiter wurde die Methodik der Generierung von repräsentativen Beständen auf der Basis von Betriebsinventurdaten des Stadtwaldes Traunstein gezeigt. Die repräsentativen Waldbestände werden hier als ideelle Einheit betrachtet, die über eine standörtliche Stratifizierung im Zusammenhang mit den Bestandestypen im Forstbetrieb ermittelt wurden. Die repräsentativen Bestände wurden mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 fortgeschrieben und die Prognoseergebnisse analysiert. Auf Grund ausgewählter Produktionskriterien wurde die optimale und kritische Umtriebszeit abgeleitet und die beste Bestandesbehandlungsvariante ausgesucht.

**Schlüsselwörter:** Waldwachstumssimulation, Forsteinrichtung, Szenarioanalyse der Bestandesbehandlung, Mischbestände, Waldreinertrag

### Summary

This paper focuses on the silvicultural improvement of wood production in forest districts. A method is shown to construct representative stands based on inventory data taken from the municipal forest district Traunstein, located in Upper Bavaria. A representative stand in this context is considered a virtual unit, which is constructed by grouping data by site conditions as well as by stand types. The representative stands constructed for the Traunstein district were analysed using the growth simulator SILVA. Taking into account some selected criteria for production, optima were found for harvesting age and the silvicultural treatment concept.

**Key words:** growth simulation, forest management, scenario analysis of stand treatment, mixed stands, net financial yield of a forest

### 1 Einleitung

In vielen Ländern Deutschlands ist eine große waldwachstumskundliche Datenbasis in den letzten 10 Jahren bei der Betriebsinventur entstanden. Durch diese Methode erhofft man sich einen großen Gewinn an Informationen über Zustandsveränderungen im Wald, die für die Forstplanung eine entscheidende Rolle spielen. Um die Investition der Inventur am besten auszunutzen, versucht man auch andere Fragestellungen mit diesen Daten zu beantworten. Solche zusätzlichen Fragestellungen ergeben sich oft z. B. im Bereich der summarischen Nutzungsplanung (SPELLMANN et al.1999), oder bei Variantenstudien zur Bestandesbehandlung im Betrieb (PRETZSCH et al.1998).

Durch Stratifizierung der Inventurdaten nach Bestandes- und Standortstypen und Übergabe geeigneter Start- und Steuergrößen für solche ausgeschiedenen Straten an den Wachstumssimulator ist es möglich, die Waldentwicklung innerhalb der Straten zu pro-

agnostizieren. Mit dem Prognosemodell lassen sich unterschiedlichste Behandlungsvarianten ausprobieren und Eingriffsstärken optimieren. Bei der Prognose für die Betriebsklasse ist es möglich, die Auflösungsebene zu erhöhen und auch die Entscheidungen der Rahmenplanung zu unterstützen.

Die vorliegende Arbeit zeigt, wie man mit Hilfe des Einzellbaummodells SILVA 2.2 (KAHN und PRETZSCH 1998) die Daten der Betriebsinventur für Zwecke der Szenarioanalyse der Bestandesbehandlung und für die Ableitung der Umtriebszeit nutzen kann. Dabei handelt es sich mehr um Ausarbeitung von methodischen Ansätze und weniger um konkreten Forsteinrichtungsplanung. Aus methodischen Gründen wurde als Einheit der Rahmenplanung die Umtriebszeit und als Kriterium der durchschnittliche Gesamtwertzuwachs gewählt. Es wäre aber möglich, auch andere ökonomische und ökologische Kriterien für die Auswertung der Szenarioanalyse zu benutzen und nicht nur die Umtriebszeit als Rahmeneinheit des klassischen schlagweisen Hochwaldes, sondern beispielsweise auch die Zielstärke als Rahmeneinheit bei der Applikation der Zielstärkenutzung auszuwählen.

Am Beispiel des Stadtwaldes Traunstein wird eine Konzeption für die Verbesserung der Nutzungsplanung zur Diskussion gestellt.

## 2 Stadtwald Traunstein

Der Stadtwald Traunstein liegt im Wuchsbezirk 14.4 „Oberbayerische Jungmoräne- und Molassevorberge“ und ist durch Moränen- und Schotter der Eiszeiten überprägt. In der Würmeiszeit haben die aus Südosten und Südwesten kommenden Gletscher das Landschaftsbild geformt, wobei beide durch die Trauntal-Furche voneinander getrennt waren. So blieb Traunstein eisfrei und weist deshalb wesentlich ältere Ablagerungen auf. Die Gletscher transportierten Ablagerungen der alpinen Kreidezeit, dem alpinen Jura und dem alpinen Trias in das Gebiet. Aus diesem Material bildeten sich Karbonatgesteinböden, die sich bis heute überwiegend zu Parabraunerden entwickelt haben.

Die mittlere Jahrestemperatur beläuft sich auf 7,8 °C. Seinen klimatischen Charakter verdankt der Stadtwald der nahegelegenen Alpenkette und der vorherrschenden westlichen Windrichtung. Im langjährigen Jahresdurchschnitt belaufen sich die Niederschläge auf 1340 mm, wobei mehr als die Hälfte des Niederschlages in der Vegetationsperiode (durchschnittlich 135 Tage) fällt.

Die Waldfläche beträgt 553,3 ha, davon entfallen auf die Nichtholzbodenfläche 18,0 Hektar. Die wichtigste Baumart ist die Fichte (68,7 %), gefolgt von Buche (10,6 %), Edelaubhölzer (10,2 %) und Tanne (7,8 %). Der Gesamtvorrat des Betriebes liegt bei 216 475 Efm.o.R., was 404 Efm.o.R. pro Hektar entspricht. Im Zentrum des Waldbaukonzeptes steht die Bewältigung der Rückstände bei der Jungwuchspflege, Stammzahlreduktion und Auslesedurchforstung im Stadium der Jungdurchforstung und der Übergang zur Zielstärkenutzung in der Altdurchforstung.

Im Jahre 1989 wurde im Stadtwald Traunstein eine Betriebsinventur durchgeführt, bei der insgesamt 512 (bzw. 504 auf Holzboden) permanente konzentrische Probekreise angelegt wurden (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982). Die Daten wurden von der Forstdirektion München ausgewertet und in Form einer Forsteinrichtungs-Datenbank zur Verfügung gestellt. Im Jahre 1997 wurde vom Verein für forstliche Standortserkundung eine Standortskartierung durchgeführt und die Ergebnisse in digitaler Form verfügbar gemacht.

## 3 Szenarioanalyse der Naturalproduktion

Die Bewertung der Naturalproduktion des Waldbestandes ist nur mit der Kenntnis der während der Produktionsdauer erbrachten Leistung möglich. Weil dazu entsprechend lang beobachtete Versuchsflächen fehlen, bleibt allein der Weg über eine Modellierung des gesamten Wachstumsgangs und dessen anschließender waldbaulicher und ökonomischer

Bewertung (WEISE und KUBLIN 1997). Das Wachstums- und Managementmodell SILVA bietet wegen seiner Einsteuerungsflexibilität einen breiten Anwendungsbereich im Hinblick auf verschiedene Standorte und Bestandesstrukturen. Eine direkte Schnittstelle des Simulators zur Betriebsökonomie ermöglicht, daß die Kriterien für die Szenarioanalyse nicht nur aus dem Bereich der Naturalproduktion benutzt werden können.

Die Fortschreibung jedes Bestandes auf der Betriebsebene für die Zwecke der Szenarioanalyse der Naturalproduktion ist zwar theoretisch möglich, aber aus verschiedenen Gründen nicht realisierbar. Eine bessere Lösung stellt die Auswahl eines „Modellbestandes“, der bestimmte Straten repräsentiert, und dessen alternative Fortschreibung dar. Entweder werden reale Bestände (Weiserflächen) oder für diese Zwecke erzeugte repräsentative Waldbestände verwendet.

Die nächsten Kapitel zeigen, wie man repräsentative Bestände aus den Daten der Betriebsinventur reproduzieren und bei der Variantenstudium der Behandlung von Waldbeständen nutzen kann.

### 3.1 Stratifizierung der Waldbestände

Unter Stratifizierung der Waldbestände versteht man hier eine zweidimensionale Gruppierung auf Grund von Bestandestyp und Standortstyp. Der Bestandestyp umfaßt die Bestände mit gleichen oder ähnlichen Bestockungsverhältnissen bei gleichartiger waldbaulicher Behandlung. Er wird durch die Hauptwirtschaftsbaumart und die wirtschaftlich wichtigsten Mischbaumarten bestimmt. Im Stadtwald Traunstein wurden 15 Bestandestypen ausgeschieden, aber als relevante Typen aus der Sicht der Repräsentation haben sich Fichte-rein, Fichte-Tanne, Fichte-Buche, Fichte-Tanne-Buche, Buche und Buche-Fichte gezeigt.

In einem Standortstyp wurden jeweils ökologisch gleichwertige und wachstumsähnliche Standortseinheiten gutachtlich zusammengefaßt. Dabei wurden die Ergebnisse von POTT (1997) berücksichtigt. Die Gruppierungsschlüssel für die in Traunstein vertretenen Standortseinheiten beinhaltet Tabelle 1.

*Tabelle 1.* Stratifizierungsschlüssel für einzelne Standorte des Stadtwaldes Traunstein (ST = Standortstyp (Kod); Standorte = Kodierung der Bayerischer Staatsforstverwaltung).

*Table 1.* Key variables for data grouping shown for selected site types in the Traunstein forest district (ST = site type; Standorte = 'site' using Bavarian State Forest Service's classification system.).

ST	Standorte	Beschreibung
0	SF	Sonstige Fläche
11	103, 202, 203, 302, 303	mäßig frischer sandiger Lehm, mässig frischer Lehm
12	204, 304	frischer Lehm und kiesig (toniger) Schlufflehm
13	234	frischer, humusreicher Lehm
14	142,143, 242, 243	mäßig frischer sandiger kalkreicher Lehm, mässig frischer kalkreicher Lehm
17	373	mäßig frisch bis frischer Feinlehm mit Verdichtung im Unterboden
20		(Hang-)wechselfeuchte Standorte
30		Standorte mit Grundwassereinfluß
50	80, 484	Sonderstandorte (erosions- und rutschgefährdeter Einhang)
60		Standorte mit Grundwasseranschluß
91	guter	Statistische dichotome Trennung auf
92	schlechter	der Basis der Höhenbonität

Das Ergebnis der Stratifizierung ist eine sogenannte Kreuzstratifizierungseinheit (Abb. 1), z. B. der Bestandestyp Fichte/Buche auf dem Standortstyp 13, welcher der Standorteinheit 234, frischer humusreicher Lehm, entspricht. Im Stadtwald Traunstein ist beispielsweise das Stratum „Fichte/Buche auf Standortstyp 13“ mit insgesamt 7 Stichprobenpunkten

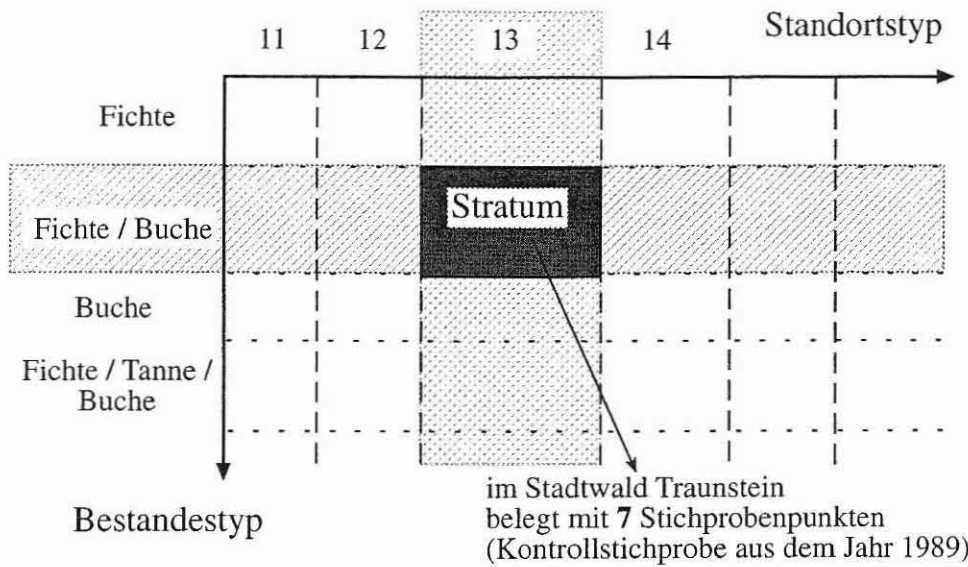


Abb. 1. Schematische Darstellung der Stratifizierung der Waldbestände nach Standorts- und Bestandestypen.

Fig. 1. Grouping forest stands by site conditions and stand types.

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 (PRETZSCH et. al. 1998).

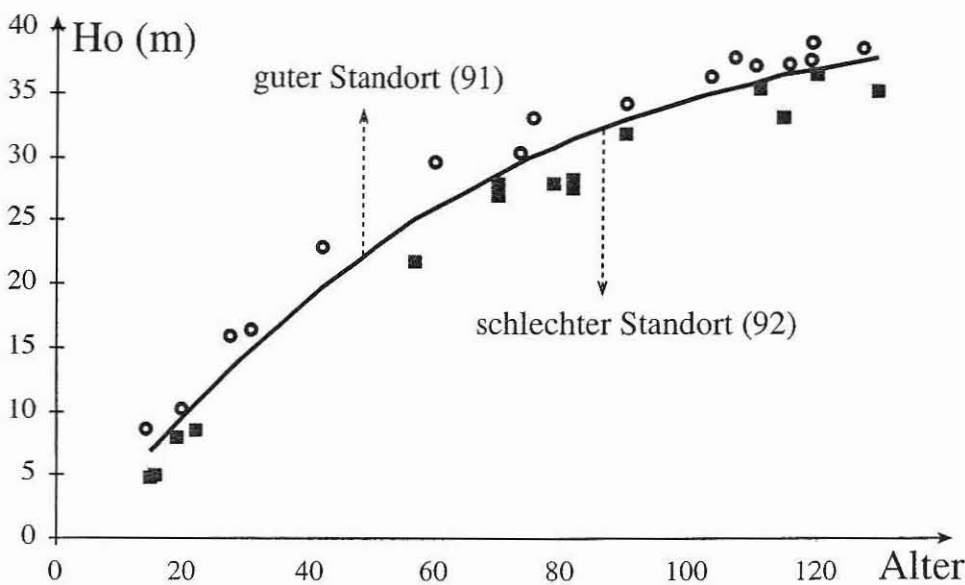


Abb. 2. Schematische Darstellung der dichotomen Trennung des Standorts auf der Basis der Höhenbonität.

Fig. 2. Dichotomous separation of site conditions based on site index classes.

Insgesamt wurden die Inventurbestände des Stadtwaldes Traunstein in 72 Kreuzstratifizierungseinheiten zusammengefaßt (ĎURSKÝ 1998). Viele davon erfüllen nicht das Kriterium der Altersreihe, deswegen wurden einige Standortstypen im Rahmen der wichtigsten Bestandestypen gruppiert. Die Gruppierung des Standortstyps wurde auf der Basis der Oberhöhenbonität der Hauptbaumart des Bestandestyp statistisch durchgeführt. Zuerst wurde ein Zusammenhang zwischen Oberhöhe und Alter mit dem Regressionsmodell beschrieben (1) und eine mittlere Kurve bestimmt (Abb. 2).

$$h_o = A \cdot (1 - e^{(-k \cdot t)})^p \quad (1)$$

$h_o$  Oberhöhe (m)  
 $t$  Alter (Jahre)  
 $A, k, p$  Koeffizienten der Regressionsgleichung

Anschließend wurde jede Bestandesoberhöhe mit dem entsprechenden Wert der mittleren Kurve verglichen. Wenn die reale Bestandesoberhöhe größer ist, wurde der Standort als guter (91), wenn sie kleiner ist, wurde der Standort als schlechter (92) gekennzeichnet. Mit diesem Verfahren kann man prinzipiell auch mehrere Klassen bilden. Wenn der Standort relativ homogen ist und im Untersuchungsgebiet die Schadereignisse eine große Rolle spielen, kann man die Gruppierung der Standorte auf der Basis der Stabilität durchführen. Die Zusammenfassung der Standortseinheiten kann man aber auch aufgrund der pflanzensoziologischen Systematik realisieren (KELLER et al. 1986).

Die Untersuchungen in der Schweiz (KELLER et al. 1986) haben gezeigt, daß etwa 100 Stichproben der permanenten Inventur optimal (aus der Sicht der Stichprobentheorie) ein Standortsstratum bilden. Die Anzahl der Straten sollte aber auch in einem ausgewogenen Verhältnis zur Waldflächengröße stehen. Nach dieser Arbeit können die Straten auch die Träger für die mittel- und langfristige Prognose sein.

Insgesamt wurden dann mit Berücksichtigung der Gruppierung des Standortstypen im Stadtwald Traunstein 17 Kreuzstratifizierungseinheiten gebildet (ĎURSKÝ 1998), die 92 % der Inventurprobekreise abdecken.

### 3.2 Reproduktion von repräsentativen Waldbeständen

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 nicht immer in ausreichendem Umfang vorhanden, deswegen wurde für die Erzeugung der Ausgangsstruktur ein statistisches Verfahren entwickelt.

Für jede Kreuzstratifizierungseinheit wurden aus den gebildeten Altersreihen die Hauptentwicklungsbeziehungen für jede Baumart bestimmt, die für die Bestandesgenerierung notwendig sind:

$$h_L = A_1 \cdot (1 - e^{(-k_1 \cdot t)})^{p_1} \quad (2)$$

$$d_g = A_2 \cdot (1 - e^{(-k_2 \cdot t)})^{p_2} \quad (3)$$

$$G = A_3 \cdot (1 - e^{(-k_3 \cdot t)})^{p_3} \quad (4)$$

$h_L$  Loreysche Mittelhöhe (m)  
 $d_g$  Mitteldurchmesser (cm)  
 $G$  Grundfläche pro Hektar (m<sup>2</sup>)  
 $A_{1-3}, k_{1-3}, p_{1-3}$  Koeffizienten der Regressionsgleichung

Aus den Ergebnissen der Parameterschätzung geht hervor, daß innerhalb den Kreuzstratifizierungseinheiten der stärkste Zusammenhang zwischen dem Alter und der Mittelhöhe ( $R^2 = 0.72 - 0.99$ ) und der schwächste zwischen dem Alter und der Grundfläche ( $R^2$



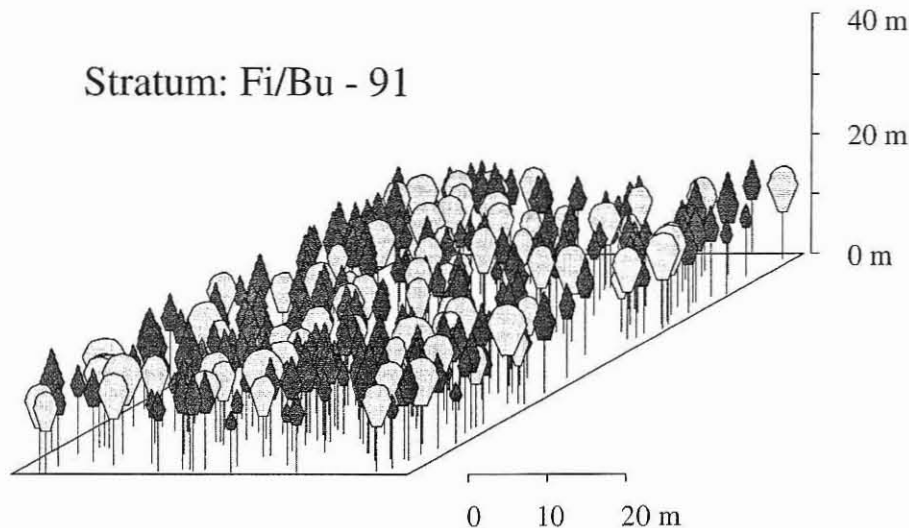


Abb. 3. Repräsentativer Waldbestand für das Stratum Fi/Bu - 91. Reproduziert mit dem Standardverfahren von SILVA 2.2.

Fig. 3. Representative forest stand for stratum Fi/Bu - 91. The stand was constructed using a standard method implemented in SILVA 2.2.

= 0.24–0.90) besteht. Bei dem Vergleich der Parameter der unechten Wachstumsverläufe kann man feststellen, daß sie sehr stark vom Standortstyp abhängen.

Für die Optimierung der Bestandesbehandlung wurden aus der Beziehungen (2–4) rückwärts (für das ausgewählte Alter  $t=30$  Jahre, II. Akl.) die Taxationscharakteristika  $h_L(30)$ ,  $d_g(30)$  und  $G/ha(30)$  berechnet. Es handelt sich um ausgeglichene und auf bestimmte Alter bezogene Bestandeswerte, die man bei der Reproduktion des „Modellbestandes“ nach der Methode von NAGEL und BIGING (1995) in Verbindung mit STRUGEN (PRETZSCH 1993) verwendet hat. Die reproduzierten Bestände wurden „repräsentative Waldbestände“ genannt und als Startsituation bei der Szenarioanalyse benutzt. Abbildung 3 zeigt einen von 17 aus den Daten des Stadtwaldes Traunstein reproduzierten repräsentativen Waldbestand.

Für die Reproduktion kann man bei einer ausreichenden Anzahl von Stichproben direkt die Einzelbaumdaten der Kontrollstichproben benutzen (POMMERENING 1998) und so die Struktur des Stratums auf der Einzelbaumebene realitätsnäher zu rekonstruieren.

### 3.3 Anpassung der Parameter der Höhenentwicklung

Der so generierte Ausgangszustand der Bestandesstruktur muß für die Entwicklungsprognose mit Informationen zum Standort verbunden werden. Die Altershöhenentwicklung, aber auch das Durchmesserwachstum der Bestände wird in SILVA mit dem Standort-Leistungsmodell von KAHN (1994) gesteuert. Das Standort-Leistungsmodell ermöglicht einerseits die Schätzung potentieller Altershöhenkurven für beliebige Standorteinheiten aus den Standortvariablen Nährstoffversorgung des Bodens,  $NO_x$ -Gehalt der Luft,  $CO_2$ -Gehalt der Luft, Länge der Vegetationszeit, Jahrestemperaturamplitude, mittlere Temperatur in der Vegetationsperiode, Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode, Bodenfrische und einem Ariditätsindex. Andererseits wird das Durchmesserwachstum von Einzelbäumen abhängig von Standort modifiziert. Das System ist sehr flexibel und ermöglicht nicht nur eine statische Betrachtung von Standortsparametern, sondern auch veränderter Standortsbedingungen. Zudem entfällt auch das Problem der Bonitierung in Mischbestän-

den. So erfüllt das klassische Bonitierungssystem im Rahmen von SILVA nur eine Ergänzungsfunktion.

Eine zusätzliche Möglichkeit, die Altershöhenentwicklung zu steuern, ist die direkte Übergabe von Parametern der Altershöhenfunktion, die die Höhenentwicklung beschreiben. Der Vorteil dabei ist die direkte Anpassung, die auch die Standortsspezifika einbezieht. Die Anwendung dieses Verfahrens hängt aber von der Existenz der Daten für die Parametrisierung der Altershöhenfunktion ab. Bei der Fortschreibung der repräsentativen Waldbestände wurde genau dieses Verfahren benutzt, weil die Inventurdaten im Rahmen der Kreuzstratifizierungseinheiten die Möglichkeit bieten, über eine Altersreihenbildung eine unechte Altershöhenentwicklung zu bestimmen.

Die Altershöhenentwicklung wurde einheitlich für jede Baumart und Kreuzstratifizierungseinheit mit der Chapman-Richards-Funktion (1) beschrieben und die Koeffizienten  $A$ ,  $k$  und  $p$  an SILVA übergeben. Die Regressionsmodelle weisen sehr gute statistische Qualität mit plausiblen Parametern auf. Die durchschnittliche Stratum-Höhenbonität schwankt bei der Fichte zwischen 30 und 38, die Kurven mit Ausnahme der Kreuzstratifizierungseinheit Fi-14 (Standort mit kalkreichem Lehm) haben anamorphen Charakter. Bei der Buche erreicht die Stratum-Oberhöhenbonität die Werte von 29 bis 33, bei der Tanne zwischen 30 und 36.

### 3.4 Auswahl der Durchforstungsstrategien

Für die Szenarioanalyse der Naturalproduktion wurden Hoch- und Auslesedurchforstung jeweils mit den Varianten starke und schwache Durchforstung gewählt. Die Auslesedurchforstung ist mit einer festen Auswahl von Ausleseebäumen und die Hochdurchforstung ohne feste Auswahl von Ausleseebäumen aber mit fester Durchforstungsregel definiert. Die Durchforstungsstärke wurde mit betriebstypischen Leitkurven gesteuert, die aus den Daten der Betriebsinventur für jede Baumart und Kreuzstratifizierungseinheit bestimmt wurden. Damit ist die Stratifizierungseinheit nicht nur der Strukturinformationsträger, sondern auch ein Träger des Bestandesbehandlungskonzeptes (PRETZSCH et al. 1998). Durchforstungsstrategien, die sich auf die vom Standort beeinflusste Bestandesdichte stützen, sind nach PETRI (1978) für die Haltung der Dichte außerhalb der „kritischen Bereiche“ sehr wichtig und im Vergleich zu der Ertragstafel erwartungstreu.

Die starke Durchforstung wird mit der Leitkurve der durchschnittlichen Grundflächenhaltung und die schwache Durchforstung mit der oberen Grundflächenhaltung in der Kreuzstratifizierungseinheit gesteuert (ĎURSKÝ, 1998). Bei der Auslesedurchforstung kommt noch die Einsteuerung mit dem A-Wert (JOHANN, 1982): starke Durchforstung  $-5$ , schwache Durchforstung  $-7$  hinzu. Die oben genannte durchschnittliche und obere Grundflächenhaltung wurde statistisch bestimmt.

Für die Szenarioanalyse der Bestandesbehandlung kann man jedes beliebige Behandlungskonzept ausprobieren (z. B. Behandlung der Fichte nach ABETZ 1975, KLÄDTKE 1992 usw.). Die Anzahl der zu untersuchenden Konzepte ist nicht beschränkt. Vorteilhaft dabei ist, daß man mit den Durchforstungsstrategien experimentieren und auf diese Art und Weise standortspezifische Behandlungskonzeptionen entwickeln kann. Deswegen ist die hier benutzte Durchforstungsstrategie als methodische Variante zu betrachten.

## 4 Fortschreibung und Bewertung der Prognose der repräsentativen Waldbestände

Die Bewertung der ausgewählten Bestandesbehandlungsstrategien ist nur mit der Kenntnis der im gesamten Produktionszeitraum erbrachten Leistungen möglich. Um nicht nur waldbauliche Maßnahmen zu bewerten, sondern auch die Regelung der Nachhaltigkeit aus der Sicht der Betriebsökonomie auf der Betriebsklassenebene zu untersuchen, wurde hier

die langfristige Fortschreibung der repräsentativen Waldbestände als Existenz räumlich und zeitlich nebeneinanderliegender Bestände betrachtet.

Die Fortschreibung der repräsentativen Bestände mit SILVA startet in der II. Altersklasse (immer auf die Hauptbaumart bezogen). Die Simulation wird als langfristige Prognose über 150 Jahre ohne Wiederholung durchgeführt. Der Standort wurde mit den Variablen des Standortsleistungsmodells charakterisiert und zusätzlich die Altershöhenentwicklung mit den abgeleiteten Koeffizienten des „unechten“ Altershöhenentwicklungsmodell gesteuert. Die Prognose wurde für vier ausgewählte Durchforstungsstrategien (Kap. 3.4) durchgeführt.

Im Mittelpunkt unserer Bewertung der Fortschreibung steht die betriebsökonomische Sicht. Deswegen wurde als Kriterium für die Bewertung der Simulationsergebnisse der durchschnittliche Gesamtwertzuwachs ( $dGWZ$ ) gewählt. Die Berechnung wurde im Waldwachstumssimulator SILVA mit der Einstellung der Durchschnittspreise der Bayerischen Staatsforstverwaltung der Forstwirtschaftsjahre 1987–1997 für gerücktes und unent-rindetes Holz durchgeführt. Die Holzerntekosten werden entsprechend dem Erweiterten Sortentarif EST ermittelt.

$$dGWZ = \frac{A_t + \sum_0^t D}{t} \quad (5)$$

$dGWZ$  durchschnittlicher Gesamtwertzuwachs  
 $A_t$  erntekostenfreier Abtriebsertrag  
 $D$  erntekostenfreier Ertrag der jährlichen Durchforstungen  
 $t$  Zeit

Für die Bewertung ist nicht nur die Entwicklungsdynamik, sondern sind auch Zeitpunkt und Höhe der Kulmination entscheidend. Der Zeitpunkt der Wertzuwachskulmination wurde als optimale Umtriebszeit ( $OUZ$ ) des höchsten Waldreinertrages betrachtet (JÖBSTL

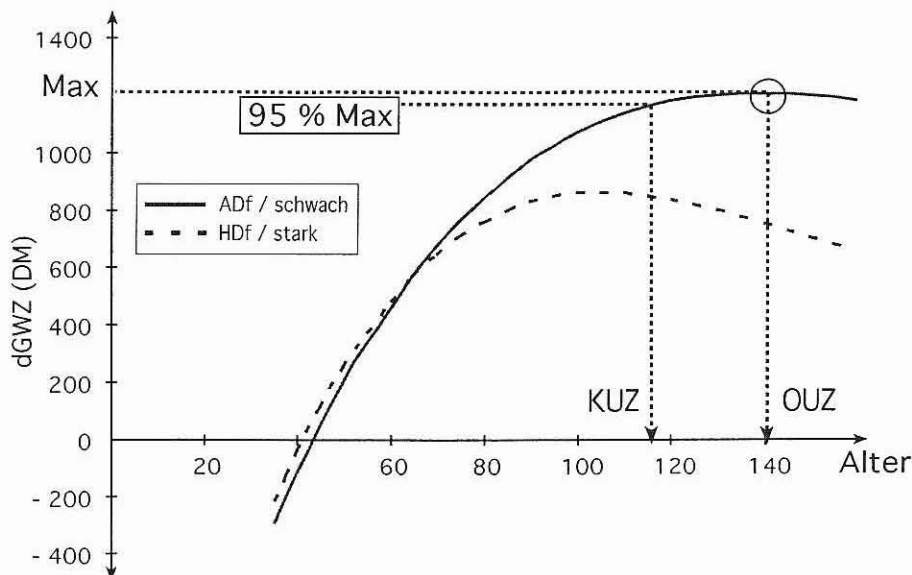


Abb. 4. Ableitung der optimalen ( $OUZ$ ) und kritischen Umtriebszeit ( $KUZ$ ) – schematische Darstellung für das Stratum Fi - 30.

Fig. 4. Determining optimal ( $OUZ$ ) and critical ( $KUZ$ ) harvesting age, shown for stratum Fi - 30.



1997). Der berechnete durchschnittliche Gesamtwertzuwachs (5) entspricht aber nicht dem Waldreinertrag, weil die Kultur- und Verwaltungskosten nicht berücksichtigt sind. Weil viele Kurven des durchschnittlichen Gesamtwertzuwachses bei der Kulmination einen flachen Verlauf aufweisen (Kulminationszeitpunkt ist dann sehr sensitiv), wurde auch analog zur Assmann'schen Theorie der Grundflächenhaltung die kritische Umtriebszeit (*KUZ*) definiert, die 95 % der maximalen Produktion gewährleistet (Abb. 4).

Tab. 2. Optimale und kritische Umtriebszeit für einzelne Stratifizierungseinheiten im Stadtwald Traunstein (BT = Bestandestyp; ST = Standortstyp; Fi = Fichte; Ta = Tanne; Bu = Buche).

Tab. 2. Optimal and critical harvesting age for selected strata in the Traunstein forest district (BT = stand type, ST = site type, Fi = spruce, Ta = silver fir, Bu = beech).

BT	ST	Umtriebszeit	Durchforstungskonzept			
			Auslese-Df		Hoch-Df	
			stark	schwach	stark	schwach
Fi	11	Krit	105	115	95	100
		Opt	125	170	115	115
Fi	12	Krit	105	105	95	100
		Opt	125	120	110	115
Fi	13	Krit	110	100	95	90
		Opt	160	120	110	105
Fi	14	Krit	100	145	85	85
		Opt	120	165	100	100
Fi	17	Krit	95	105	95	95
		Opt	110	125	115	110
Fi	20	Krit	100	110	100	100
		Opt	120	130	120	120
Fi	30	Krit	115	115	90	90
		Opt	140	140	105	110
Fi/Ta	91	Krit	100	110	70	95
		Opt	120	128	75	115
Fi/Ta	92	Krit	110	105	95	100
		Opt	160	123	115	125
Fi/Bu	91	Krit	105	95	100	100
		Opt	125	110	120	115
Fi/Bu	92	Krit	105	115	90	95
		Opt	125	143	105	115
Fi/Ta/Bu	91	Krit	110	100	100	100
		Opt	130	115	120	120
Fi/Ta/Bu	92	Krit	130	125	100	110
		Opt	150	140	115	125
Bu	91	Krit	140	140	135	145
		Opt	150	155	150	165
Bu	92	Krit	135	145	135	135
		Opt	145	155	145	150
Bu/Fi	91	Krit	115	125	105	100
		Opt	130	140	130	115
Bu/Fi	92	Krit	125	130	105	115
		Opt	140	145	125	138

Die Ergebnisse der Bestimmung der Umtriebszeit für jede Stratifizierungseinheit sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Aus dem Vergleich geht hervor, daß:

- die Umtriebszeit sehr stark von Bestandes- und Standortstyp beeinflusst ist. Dabei spielt die Baumartenzusammensetzung eine große Rolle.
- die Auslesedurchforstung im Vergleich zur Hochdurchforstung die Umtriebszeit ver-

längert. Im Stadtwald Traunstein beträgt diese Verlängerung durchschnittlich 14.0 Jahre. Die Differenz ist sehr hoch signifikant ( $t = 5.02$ ; Symbol: \*\*\*).

- stärkere Eingriffe die Umtriebszeit verkürzen. In Traunstein beträgt diese Verkürzung etwa 5 Jahre. Auch diese Differenz ist signifikant ( $t = -2.05$ ; Symbol: \*).

Aus diesen Untersuchungen kann man also feststellen, daß die Berücksichtigung des Standortes in der Betriebsplanung sehr wichtig ist. Dies ermöglicht eine bessere Ausnutzung des natürlichen Potentials und dabei die Gewährleistung der nachhaltigen Nutzung.

Tab. 3. Durchschnittliche Gesamtwertleistung (DM/ha/J) bei optimaler Umtriebszeit für einzelne Stratifizierungseinheiten im Stadtwald Traunstein (BT = Bestandestyp; ST = Standortstyp; Fi = Fichte; Ta = Tanne; Bu = Buche).

Tab. 3. Average net value production (DM/ha/yr) achieved at optimal harvesting age for selected strata in the Traunstein forest district (BT = stand type, ST = site type, Fi = spruce, Ta = silver fir, Bu = beech).

BT	ST	Durchforstungskonzept			
		Auslese-DF		Hoch-DF	
		stark	schwach	stark	schwach
Fi	11	903	1128	861	981
Fi	12	964	1148	847	996
Fi	13	1054	1105	880	1033
Fi	14	824	1275	832	979
Fi	17	909	1084	796	919
Fi	20	922	1220	851	923
Fi	30	891	1206	861	1005
Fi/Ta	91	981	1155	851	1020
Fi/Ta	92	962	1301	753	874
Fi/Bu	91	966	1127	806	1035
Fi/Bu	92	826	1088	731	920
Fi/Ta/Bu	91	1075	1209	914	1034
Fi/Ta/Bu	92	902	1071	833	992
Bu	91	783	786	731	842
Bu	92	659	910	597	744
Bu/Fi	91	868	1011	660	712
Bu/Fi	92	769	1067	586	680

Der durchschnittliche Gesamtwertzuwachs zum Kulminationszeitpunkt der Wertleistung für einzelne Kreuzstratifizierungseinheiten und bei ausgewählten Durchforstungsstrategien wird in Tabelle 3 gezeigt. Das Maximum der Naturalproduktion für jede Kreuzstratifizierungseinheit ist dann ein Schlüssel für die Auswahl eines optimalen Behandlungsprogramms. Mit einer Ausnahme (Stratum: Buche-91; schwache Hochdurchforstung) erweist sich als die beste der untersuchten Varianten die schwache Auslesedurchforstung. Aus den Ergebnissen kann man weiter schließen, daß:

- stärkere Eingriffe die Wertleistung der Betriebsklasse vermindern. Bei unseren repräsentativen Waldbeständen liegt diese Verminderung durchschnittlich bei 175 DM pro Jahr und Hektar ( $t = -11.2$ ; Symbol: \*\*\*).
- die Auslesedurchforstung im Vergleich zur Hochdurchforstung die Wertleistung deutlich erhöht. Bei der Auslesedurchforstung ist diese durchschnittlich um 149 DM pro Jahr und Hektar höher ( $t = 8.38$ ; Symbol: \*\*\*).

Als ein zentrales Ergebnis der Szenarioanalyse der Naturalproduktion mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 ergeben sich betriebstypische Standort-Leistungs-Tafeln, die für die beste Behandlungsvariante erzeugt sind. Eine Standort-Leistungs-Tafel ist dann eine ideale Planungs- und Informationsgrundlage über ein Inventurstratum für Forsteinrichter und Betriebsleiter. Sie liefert mehr als eine rein beschreibende Auswertung der Stratifizierungseinheit, denn die Straten aus Bestandes- und Standortstyp allein bieten keine Infor-

mationen über den ausscheidenden Bestand, ebensowenig über laufende oder durchschnittliche Höhen-, Durchmesser- und Volumenzuwächse.

Für die Szenarioanalyse kann man als Kriterium nicht nur naturale und ökonomische Parameter benutzen, sondern auch ökologische Kennziffern, die SILVA liefert. Die Szenarioanalyse kann auch auf andere Betriebsformen übertragen werden (HANEWINKEL 1998).

## 5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, daß die Daten der Betriebsinventur zusammen mit den Informationen der Standortskartierung eine gute Möglichkeit zur Stratifizierung von Beständen zum Zweck der Fortschreibung der Naturalproduktion, Nutzungsplanung und Szenarioanalyse der Behandlungen bieten. Die Ergebnisse der Stratifizierung – die Kreuzstratifizierungseinheiten – bieten bei der Fortschreibung der Inventurdaten eine gute Möglichkeit die Einstuerungsinformationen über den Standort (indirekte Bonitierung) und der Durchforstungsstrategie dem Wachstumssimulator SILVA 2.2 zu übergeben.

Ein Vergleich der Simulationsergebnisse ausgewählter Durchforstungsstrategien bei den repräsentativen Waldbeständen zeigt, daß:

- stärkere Eingriffe die Umtriebszeit verkürzen,
- die Ausleasedurchforstung im Vergleich zur Hochdurchforstung die Umtriebszeit verlängert,
- stärkere Eingriffe die Wertleistung vermindern,
- die Ausleasedurchforstung im Vergleich zur Hochdurchforstung die Wertleistung deutlich erhöht.

Bei der Interpretation dieser Schlußfolgerungen muß man beachten, daß das Kriterium der „Optimierung“ nur die Wertleistung ist und die Simulationsergebnisse nicht den Einfluß der Durchforstungseingriffe auf die Holzqualität, das Bestandesrisiko und die waldbaulichen Aspekte der Vorausverjüngung berücksichtigen. Bei der Verwendung der optimalen bzw. kritischen Umtriebszeit im konkreten Betrieb muß auch der Aspekt der ökonomischen Liquidität des Betriebes berücksichtigt werden.

## 6 Literatur

- ABETZ, P., 1975: Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. AFZ, 30. Jg., S. 72–75.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1982: Richtlinien für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung in der Bayerischen Staatsforstverwaltung – Anleitung zur Waldinventur und Bestandesbeschreibung, 27 S.
- ĎURSKÝ, J., 1998: Optimierung und Fortschreibung der Naturalproduktion von Waldbeständen für einen Forstbetrieb auf der Basis von Inventurdaten. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des DVFFA, Kevelaer, 25.–28. 5. 1998, S. 52–67.
- HANEWINKEL, M., 1998: Plenterwald und Plenterwaldüberführung. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 9, 256 S.
- JÖBSTL, H. A., 1997: Umtriebszeit der Fichte unter geänderten Marktverhältnissen für verschiedene Produktionsgebiete Österreichs. Schriften aus dem Institut für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft – Universität für Bodenkultur in Wien, Heft 14, 128 S.
- JOHANN, K., 1982: Der „A-Wert“ – Ein objektiver Parameter zur Bestimmung der Freistellungsstärke von Zentralbäumen. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des DVFFA, Weibersbrunn, 24.–27.5. 1982, S. 146–158.
- KAHN, M., 1994: Modellierung der Höhenentwicklung ausgewählter Baumarten in Abhängigkeit vom Standort. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 141, 221 S.
- 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. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des DVFFA, Kevelaer, 25.–28.5. 1998, im Druck.

- KELLER, W., GADOLA, C. und CEREGHETTI, E., 1986: Standortskarten als Grundlagen der Planung. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen in Birmensdorf, Berichte 286, 102 S.
- KLÄDTKE, J., 1992: Konstruktion einer Z-Baum-Ertragstafel am Beispiel der Fichte. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Dissertation, 110 S.
- NAGEL, J. und BIGING, G. S., 1995: Schätzung der Parameter der Weibullfunktion zur Generierung von Durchmesserverteilungen. AFJZ, 166 Jg., 9/10, S.185–189.
- PETRI, H., 1978: Weiserflächen der Forsteinrichtung, standortbezogene ertragskundliche Auswertung von Fichtenflächen für die Praxis. AFJZ, 149. Jg., 5, S. 77–87.
- POMMERENING, A., 1998: Fortschreibung von Stichprobendaten mit positionsabhängigen Wachstmodellen. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des DVFFA, Kevelaer, 25–28.5. 1998, S. 35–51.
- POTT, M., 1997: Wachstum der Fichte in Bayern – Auswertung von Daten der Forsteinrichtungsdatenbank. Diplomarbeit der Forstwissenschaftlichen Fakultät der LMU München, 95 S.
- PRETZSCH, H., 1993: Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, Band 114, J. D. Sauerländer's Verlag, 87 Seiten.
- PRETZSCH, H., KAHN, M. und ĎURSKÝ, J., 1998: Stichprobendaten für die Entwicklungsprognose und die Nutzungsplanung. AFZ/Der Wald, Nr. 25, S. 1552–1558.
- SPELLMANN, H., NAGEL, J. und BÖCKMANN, T., 1999: Summarische Nutzungsplanung auf der Basis von Betriebsinventurdaten. (im Druck).
- WEISE, U. und KUBLIN, E. 1997: Distanzunabhängiges Wachstumsmodell zur Optimierung der Behandlung von Fichtenbeständen. Tagungsbericht der Sektion Ertragskunde des DVFFA, Grünberg, 12–14.5. 1997, S. 259–278.

*Anschrift des Verfassers:* Dr. JÁN ĎURSKÝ, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der LMU München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising, E-Mail: J.Dursky@lrz.uni-muenchen.de