

Georg-August-Universität Göttingen

Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde

Waldinventur & Fernerkundung, Waldwachstum, Forstplanung



Eingriffsinventuren in der Holzernte- und Logistikkette

Projektbericht
für die Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz

K. Staupendahl

Projektleitung: Prof. Dr. K. v. Gadow

Göttingen, Mai 2002

Inhaltsverzeichnis

1 Problemstellung	1
2 Das Prinzip der Eingriffsinventur.....	5
3 Die Inventur des verbleibenden Bestandes	8
3.1 Auswahl des Inventurverfahrens	8
3.2 Inventurintervall.....	9
3.3 Inventurvorbereitung	11
3.4 Die modifizierte 6-Baum-Stichprobe.....	12
4 Inventursoftware.....	17
5 Resumee	20
6 Literatur.....	22

1 Problemstellung

Grundlage einer auf Nachhaltigkeit bedachten Forstplanung sind verlässliche Informationen über Holzvorräte, Wert und Struktur des bewirtschafteten Waldes. In den bisher vorherrschenden Altersklassenwäldern wurden diese Daten mit Hilfe periodischer Bestandesinventuren ermittelt, wobei der sogenannte Waldbegang mit Ertragstafelschätzung das überwiegend angewandte Verfahren war (KRAMER und AKÇA 1995, S. 163 f.). Die Bevorzugung von Dauerwaldsystemen hat im Zusammenwirken mit veränderten Wachstumsbedingungen dazu geführt, daß das Ertragstafelkonzept auf großer Fläche nicht mehr sinnvoll anwendbar ist. Bedingt durch höhere Artenvielfalt und Ungleichaltrigkeit entstehen immer komplexere Waldstrukturen. Dadurch hat die Betriebsinventur (*Kontrollstichprobe*) als alternatives Inventurkonzept zunehmend an Bedeutung gewonnen (SCHMID-HAAS 1969a, 1989, WEIDENBACH und KARIUS 1993, AKÇA 1993).

Als Beispiele für Betriebsinventuren sind die Verfahren der Landesforstverwaltungen Niedersachsen (BÖCKMANN et al. 1998a, 1998b), Bayern (FUCHS und KENNEL 1994) und Baden-Württemberg (HINRICHS et al. 1993) zu nennen. Sie ermöglichen die Erhebung von metrischen Bestandesparametern für sogenannte Befundeinheiten bzw. Straten, und ihre Vorteile liegen insbesondere in der Objektivierung der Erfassung des Waldzustandes, einer statistisch abgesicherten Beschreibung der mittel- bis langfristigen Waldentwicklung und relativ flexiblen Auswertungsmöglichkeiten durch Poststratifizierung nach beliebigen Klassifizierungsmerkmalen. Diesen Vorteilen stehen jedoch einige Nachteile gegenüber (GADOW und SCHMIDT 1998).

So ist z. B. der Nutzen für die kurz- und mittelfristige Steuerung des Betriebes sehr begrenzt. Dies liegt u. a. daran, daß die erhobenen Strateninformationen nur unvollständig und/oder ungenau auf die Bestände übertragen werden können¹. Dadurch besitzt man zwar genaue Informationen über die Holzvorräte, aber nur ungenaue Informationen über deren Örtlichkeit. Dieser Raumbezug, der für die Optimierung, Planung und Durchführung der Maßnahmen entscheidend ist, kann nur über den Bestand als topologisch eindeutig definierte Buchungs- und Kontrolleinheit gewährleistet werden. Dies gilt insbesondere bei Anwendung geographischer Informationssysteme, ohne die eine Optimierung der Holzernte und Transportprozesse kaum möglich ist (vgl. GADOW und CHEN 2002, WALTER und CARLSSON 1998)². Zudem kann die biologische Vielfalt eines Waldes nur beurteilt werden, wenn auch die Variabilität seiner Flächen-Kompartimente in Bezug auf Ausformung und Größe bekannt ist (OTTO 1994, S. 183 ff.).

Da eine ausreichend genaue Zustandsbeschreibung auf Bestandesebene nur selten möglich ist, werden natürlich auch die Durchforstungen nur für die einzelnen Straten geplant, wobei man sich bei der Festlegung von Eingriffsart, -stärke und -zeitpunkt an einem idealtypischen Durchforstungsschema sowie den durchschnittlichen Verhältnissen orientiert (vgl. SPELLMANN et al. 1999). Für das waldbauliche Vorgehen in einem konkreten Bestand liefert eine solche Planung kaum Entschei-

¹ Die hierbei angewandten Techniken reichen von der einfachen gutachtlichen Schätzung (s. BÖCKMANN et al. 1998b) bis zu Methoden der räumlichen Statistik (vgl. GÜSSEFELDT 1997).

² Vgl. a. TZSCHUPKE (1991) und SAGL (1995).

dingshilfen. Und dies, obwohl vor dem Hintergrund anspruchsvoller Waldbaukonzepte die Unsicherheiten hinsichtlich der „richtigen“ Pflege- und Nutzungsentscheidungen offenkundig sind und auch geäußert werden. Zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen ist die Zielvereinbarung anhand von Weiserflächen allein nicht ausreichend, da diese immer nur Bestandestypen repräsentieren, von denen konkrete Einzelbestände in ihrem Aufbau und Zustand mehr oder weniger abweichen. Durch die Entkoppelung der Bewirtschaftungseinheit *Waldbestand* von den Planungsprozessen *Vorratschätzung*, *Nutzungsplanung* und *Fortschreibung* nimmt der Wert der bereits zu Anfang der Planungsperiode ungenauen Bestandesdaten mit der Länge des Fortschreibungszeitraumes immer mehr ab, und zwar um so stärker, je öfter durchforstet wird und je stärker die tatsächlichen von den simulierten Durchforstungen abweichen. Zudem wird die Prognose der weiteren Bestandesentwicklung verfälscht sein, wenn durch die geschätzten Durchforstungen deutlich abweichende Wuchskonstellationen erzeugt werden (Abb. 1). Neben der abnehmenden Aktualität der Bestandesdaten läßt sich überdies die Zielkonformität der realisierten Eingriffe erst im Nachhinein beurteilen. Für die zeitnahe Kontrolle der Produktion ist ein solches System daher kaum geeignet³.

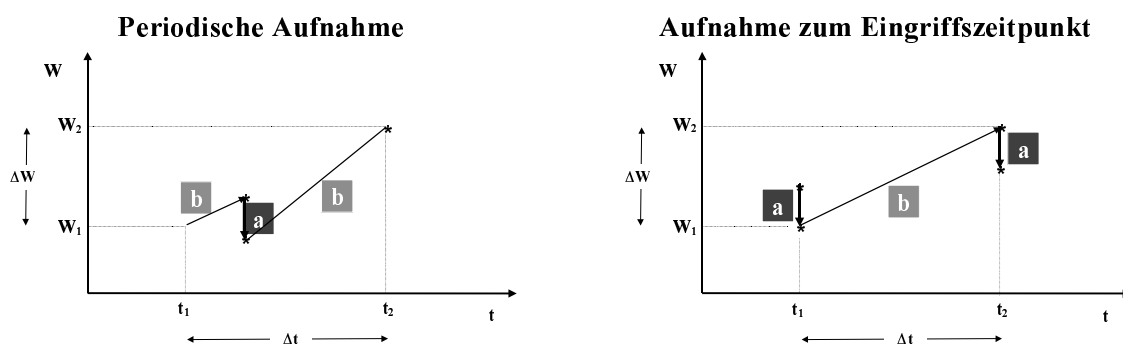


Abbildung 1: Zwei aufeinanderfolgende Aufnahmen zur Erfassung der Veränderung der Wachstumsgröße W im Zeitintervall Δt (GADOW und SCHMIDT 1998). Links: Bei periodischen Inventuren (Kontrollstichproben) muß die Reaktion auf den Eingriff (a) i.d.R. geschätzt werden. Rechts: Wenn die Inventur im engen zeitlichen Zusammenhang mit dem Eingriff stattfindet, können eingriffsbedingte (a) und zuwuchsbedingte (b) Zustandsveränderungen getrennt erfaßt werden.

Als Alternative zu den periodischen Inventurverfahren ist am Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde das Konzept der **bestandesbezogenen Eingriffsinventur** weiterentwickelt worden. Wie der Name bereits sagt, werden solche Inventuren nicht in fest definierten Zeitabständen durchgeführt, sondern immer dann, wenn ein Eingriff bevorsteht (GADOW und STÜBER 1994). Die Aufnahme des Bestandes basiert auf einer temporären, systematischen Stichprobe und erfolgt nach dem

³ Es soll an dieser Stelle daran erinnert werden, daß die Kontrollstichprobe für die speziellen Verhältnisse der „homogen inhomogenen“ Schweizer Plenterwälder entwickelt wurde, also für Forstbetriebe, die praktisch nur durch einen einzigen Bestand gebildet werden. Hier liefert sie selbstverständlich operationale Informationen und verbessert die Kontrolle der waldbaulichen Maßnahmen. Anders in Betrieben, die sich aus einer Vielzahl von Beständen mit unterschiedlichsten Strukturen zusammensetzen, wie es in Deutschland in der ganz überwiegenden Zahl der Fälle ist (GADOW und SCHMIDT 1998). Und daran dürfte sich aufgrund der kleinstandörtlichen Verhältnisse in absehbarer Zukunft wohl kaum etwas ändern.

Auszeichnen, aber vor der Entnahme der markierten Bäume. Die Vorteile dieses Vorgehens wurden von GADOW und SCHMIDT (1998) ausführlich beschrieben. Drei Punkte sollen hier aber noch einmal besonders hervorgehoben werden⁴:

- Durch die gleichzeitige Erfassung des Bestandeszustandes *und* dessen Veränderung kann die waldbauliche Maßnahme analysiert und gegebenenfalls korrigiert werden (präventive Nachhaltigkeitskontrolle).
- Die Zustandsgrößen des verbleibenden Bestandes verändern sich bis zur nächsten Inventur nur durch das natürliche Wachstum der Bäume, das inzwischen selbst für ungleichaltrige Mischbestände ziemlich genau vorhergesagt werden kann (NAGEL 1999, 2000, PRETZSCH und KAHN 1996, PRETZSCH und DURSKEY 2001, HASENAUER et al. 1995, STERBA 1990, vgl. a. Abb. 1).
- Die Aktualität der Daten bleibt über den gesamten Fortschreibungszeitraum erhalten.

Aus dem oben Gesagten wird deutlich, daß der *Erfassung des ausscheidenden Bestandes* eine zentrale Bedeutung für die Pflege der Forsteinrichtungsdaten zukommt. Zugleich ist sie ein Instrument der betrieblichen Steuerung und dient der Optimierung der Holzernte und des Holzabsatzes. Das RHEINLAND-PFÄLZISCHES FORSTAMT DAUN (2000) nennt insbesondere folgende Anwendungsgebiete:

- Optimierung der Sortenaushaltung und der Arbeitsverfahren
- Optimierung der Zuordnung von Lieferaufträgen zu Hieben und Optimierung der Blockbildung bei der Maßnahmenplanung
- Aufstellung von zuverlässigen Hiebs-, Verkaufs- und Finanzplänen
- Möglichkeit des Stockverkaufs mit differenzierter Preisbildung und Rechnungsausstellung vor Aufarbeitungsbeginn
- Verbesserte Ausschreibung und Vergabe von Lohnunternehmeraufträgen

Die Erfassung des ausscheidenden Bestandes, die Weiterverarbeitung dieser Daten und ihre Integration in den vorhandenen Datenbestand ist damit ein wichtiger Bestandteil der (forstbetrieblichen) Logistik, die nach SCHÖNSLEBEN (2000) die „Organisation, Planung, Realisierung und Steuerung des gesamten Informations- und Materialflusses entlang der ganzen Wertschöpfungskette“ bezeichnet. Innerhalb dieses Systems werden die drei Komponenten physische, administrative und dispositive Logistik unterschieden. Die Inventur der Holznutzungen ist sowohl der administrativen, als auch der dispositiven Logistik zuzuordnen, da sie einerseits dem „Erfassen, Aufbereiten, Verarbeiten, Transportieren und Speichern der für einen geordneten Produktionsablauf erforderlichen Informationen“

⁴ Eingriffsinventuren werden außerhalb Mitteleuropas mit Erfolg eingesetzt (z. B. KASSIER 1980). Bereits das im Schweizer Kanton Neuchâtel verwendete Forsteinrichtungsverfahren der *Kontrollmethode* weist Elemente einer Eingriffsinventur auf, da neben der periodischen Erfassung des Gesamtbestandes auch der ausscheidende Bestand bei jedem Eingriff mit Hilfe der Stehend-Kluppierung erfaßt wird (GURNAUD 1886).

dient, zugleich aber auch die Datengrundlage für die „Entscheidungssituationen“ liefert, „die für eine effektive und effiziente Steuerung des Gesamtablaufes benötigt werden“ (SCHÖNSLEBEN 2000).

HEINIMANN (1999) weist darauf hin, daß die Wandlung des Holzmarktes von einem Verkäufer- zu einem Käufermarkt Produktionsprozesse erfordert, welche sich viel stärker als bisher an den Bedürfnissen des Marktes orientieren. Herzstück einer kundenorientierten Rohholzbereitstellung sollte daher die Auftragsliste sein. Zur Optimierung eines solchen Produktionsprozesses sind jedoch genauere Informationen über die Sortenzusammensetzung innerhalb der Bestände erforderlich, da das Kernproblem der dispositiven Logistik darin besteht, die aufzuarbeitende Auftragsliste mit der in den Holzschlägen vorhandenen Rohstoffbasis abzugleichen (BERGMANN 1997). Interessante Ansätze zur Lösung dieses Problems wurden z. B. von UUSITALO (1995, 2000) und NIEUWENHUIS et al. (2001) vorgestellt. Ziel dieser Arbeit ist es, ein Verfahren der „rollenden“ Inventur zu entwickeln, das in die betrieblichen Abläufe und Informationsflüsse vollständig integriert ist, eine flexible Anpassung an den tatsächlichen Informationsbedarf erlaubt und über die Mehrfachnutzung der erhobenen Daten sowohl der Datenerfassung für die Forsteinrichtung, als auch dem forstbetrieblichen Controlling und der Optimierung von Produktion und Absatz dient.

2 Das Prinzip der Eingriffsinventur

In dem von GADOW und STÜBER (1994) und GADOW und SCHMIDT (1998) vorgestellten Verfahren ist die gleichzeitige Erfassung des ausscheidenden und verbleibenden Bestandes durch eine Stichprobeninventur nach dem Auszeichnen und vor der Ausführung des Eingriffs vorgesehen. Die Vorteile, die sich aus diesem Vorgehen ergeben, wurden bereits erläutert. Ein besonders wichtiger Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Beurteilung der eingriffsbedingten Veränderung von Vorrat, Struktur und Wert. Durch die Wahl des Inventurzeitpunktes verhält sich eine solche Inventur bezüglich der Zustandsveränderung wie eine *permanente* Stichprobe, deren Vorteil darin besteht, daß sie die Änderungsrate mit einem geringeren Fehler schätzt als *temporäre* Stichproben (AKÇA 2001, S. 131). Gleichzeitig ergeben sich aber auch nicht unwesentliche Nachteile:

- 1.) Da in der Vornutzung nur sehr selten mehr als 15 % des Vorrats entnommen werden, wird der ausscheidende Bestand i. d. R. mit einem nur kleinen Anteil in die Stichprobe eingehen. Dadurch ist der Stichprobenfehler für dieses Kollektiv relativ hoch, was den Nutzen dieser Art der Datenerhebung in Frage stellt.
- 2.) Der betriebliche Organisations- und Abstimmungsaufwand ist durch das enge Zeitfenster, innerhalb dessen die Inventur der Bestände erfolgen muß, recht hoch. Unter der Annahme, daß der Umfang der „Just-in-time“-Holzernte in Zukunft weiter zunehmen wird, ist es wahrscheinlich, daß die Durchführung der Inventur in vielen Fällen nicht rechtzeitig möglich sein wird.

Aus diesen Gründen wird das in Abb. 2 illustrierte Vorgehen vorgeschlagen. Demnach sollte während des Auszeichnens jeder zu entnehmende Baum auch gekluppt werden. Diese **vollständige Erfassung des ausscheidenden Bestandes** erfordert kaum zusätzlichen Aufwand, wenn hierfür eine elektronische Kluppe eingesetzt wird, mit der jeder Durchmesser getrennt nach Baumart gespeichert und später über eine geeignete Schnittstelle auf den PC übertragen werden kann. Die baumartenspezifischen Durchmesserverteilungen des ausscheidenden Bestandes werden auf diese Weise – solange keine Meßfehler auftreten – absolut zuverlässig und ohne jeden Stichprobenfehler erfaßt. Je nach Informationsbedarf und Genauigkeitsansprüchen kann diese Grunddatenerfassung erweitert werden. Ein in der Praxis bereits bewährtes Arbeitsverfahren wurde durch das RHEINLAND-PFÄLZISCHE FORSTAMT DAUN (2000) vorgestellt. Die bei diesem Verfahren angestrebte genaue Schätzung der anfallenden Sortimente mit Hilfe des Programms *Holzernte* (SCHÖPFER 1998) macht die zusätzliche Messung von ca. 20 – 40 Baumhöhen zur Erstellung einer bestandesindividuellen Höhenkurve erforderlich. Allerdings sollte geprüft werden, ob die Verwendung einer Einheitshöhenkurve nicht eine ausreichende Genauigkeit liefert. Hierdurch ließe sich die Anzahl der arbeitsintensiven Höhenmessungen deutlich reduzieren, da zur Ermittlung der dann benötigten Bestandesmittelhöhe nur 5 – 10 Baumhöhen gemessen werden müßten.

Nach dem Einschlag erfolgt die **Inventur des verbleibenden Bestandes**. Wenn diese auf einem Stichprobenverfahren basiert, wird im Vergleich mit der Methode von GADOW und STÜBER (1994) für jeden nicht aufgenommenen ausscheidenden Baum ein zusätzlicher Baum des verblei-

benden Bestandes in die Stichprobe eingehen, so daß dieser genauer erfaßt wird bzw. der geforderte Stichprobenfehler mit einem geringeren Inventuraufwand eingehalten werden kann. Dies ist von einiger Bedeutung für die Fortschreibung der Bestandesdaten, da die Qualität der *Prognose der Entwicklung* selbstverständlich nicht nur von der Validität der verwendeten Wachstumsmodelle, sondern mindestens ebenso von der Genauigkeit der *Zustandserfassung* abhängt. Aus Gründen der besseren Behagbarkeit des Bestandes ist die Durchführung der Inventuren vor dem Einschlag natürlich wünschenswert. Allerdings muß dann auch hier der ausscheidende Bestand bereits ausgezeichnet und gekluppt sein, damit die alleinige Erfassung des verbleibenden Bestandes möglich ist.

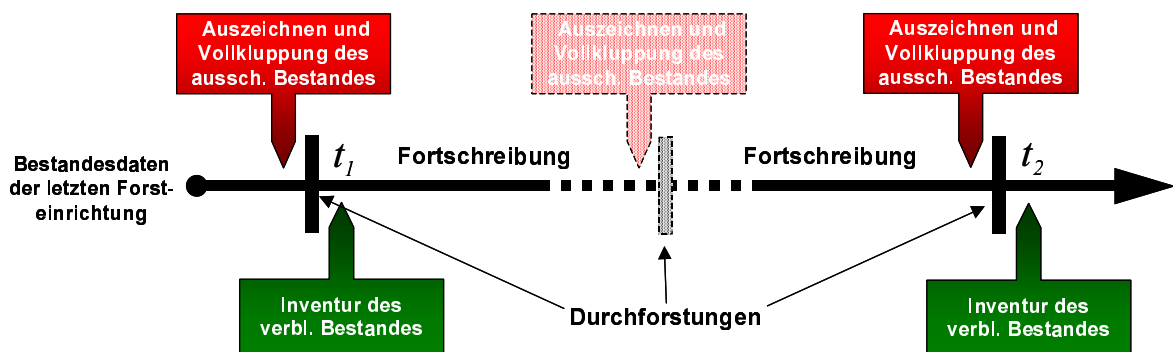


Abbildung 2: Ablaufschema der Eingriffsinventuren entlang der Zeitachse. Die vertikalen Balken markieren den Zeitpunkt der Hiebsmaßnahmen. Das Intervall zwischen den Inventuren des *verbleibenden* Bestandes ist bestandesindividuell und sollte in Abhängigkeit von der Wachsdynamik und Durchforstungshäufigkeit zwischen 15 und 25 Jahren liegen (s. Kap. 3.2). Die Fortschreibung zwischen den Inventuren erfolgt mit Hilfe eines Wachstumsmodells (vgl. NAGEL 1998).

Ist die Vollkluppung des ausscheidenden Bestandes (z. B. in sehr jungen und stammzahlreichen Beständen) nicht möglich, stehen zur Schätzung der Durchmesserverteilung drei alternative Methoden zur Verfügung: Wurde der Bestand mit dem Harvester aufgearbeitet, kann aus den im Bordcomputer gespeicherten Daten ohne großen Aufwand die entnommene Durchmesserverteilung generiert werden. Bei motor-manueller Aufarbeitung kann sie entweder unter Verwendung von Schafffunktionen aus den Holzlisten rekonstruiert (SCHMIDT 2002) oder mit Hilfe der Methode von STAUPENDAHL (1999) und STAUPENDAHL und PUUMALAINEN (1999) geschätzt werden. In diesen Fällen ist eine vorherige Kontrolle des Eingriffs natürlich nicht mehr möglich.

Die Daten des verbleibenden Bestandes werden nun jedes Jahr bis zur nächsten Inventur mit Hilfe eines Wachstumsmodells fortgeschrieben. Zwischenzeitlich stattfindende Eingriffe werden wie beschrieben durch Vollkluppung während des Auszeichnens erfaßt und in die Datenbank importiert. Die Durchmesserverteilungen des ausscheidenden Bestandes werden nach Darstellung am Bildschirm von den fortgeschriebenen Durchmesserverteilungen subtrahiert und die Datenbank dadurch aktualisiert. Die hieraus resultierenden Daten werden anschließend weiter fortgeschrieben. Auf diese Weise werden mehrere Zwecke erfüllt:

- 1.) Jeder Eingriff kann ziemlich genau analysiert und – da noch nicht ausgeführt – evtl. korrigiert werden. Der auszeichnende Förster erhält objektive Informationen über die Auswirkungen seines waldbaulichen Vorgehens.
- 2.) Zu jedem Zeitpunkt kann der aktuelle Zustand eines Bestandes abgefragt werden.
- 3.) Die Erfassung des ausscheidenden Bestandes dient nicht nur der Optimierung von Holzernte und Absatz, sondern zugleich der Aktualisierung und Fortschreibung der Bestandesdaten. Umgekehrt können die Daten aus der Inventur des verbleibenden Bestandes für die Kalkulation der anfallenden Sortimente genutzt werden: So entfällt z. B. die zusätzliche Messung von Baumhöhen, da diese über die Bestandeshöhenkurve des verbleibenden Bestandes berechnet werden können⁵ (s. Kap. 3.4).
- 4.) Durch die langfristige Aufzeichnung der Bestandesentwicklung entsteht ein wertvoller Datendfundus, der für vielfältige Zwecke (z. B. die lokale Kalibrierung der verwendeten Wachstumsmodelle) genutzt werden kann.

Durch diese Mehrfachnutzung der Daten wird die Wirtschaftlichkeit der Inventuren erheblich gesteigert.

⁵ Des gilt unter der Voraussetzung, daß das durchschnittliche H/D-Verhältnis der zu entnehmenden Stämme nicht wesentlich von den verbleibenden Bäumen abweicht.

3 Die Inventur des verbleibenden Bestandes

3.1 Auswahl des Inventurverfahrens

Will man das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Waldinventur optimieren (Abb. 3), sollte nicht nur das Inventurintervall, sondern auch die *Art* der Bestandeserfassung an den tatsächlichen Informationsbedarf angepaßt werden. So erscheint z. B. der Aufwand einer Stichprobenerhebung in jungen, gleichaltrigen Reinbeständen - gemessen am Wert der zusätzlich gewonnenen Informationen - nicht gerechtfertigt. Unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten steigt der Informationsbedarf normalerweise mit steigendem Stammholzanteil. Neben Beständen, die aus anderen Gründen von besonderer Bedeutung sind (Sonderbiotope, Erholungswald, etc.), sollten deshalb nur Bestände mit einem mittleren Durchmesser von mind. 25 cm mit einer Stichprobeninventur erfaßt werden (s. Kap. 3.3). In allen anderen Fällen ist der Waldbegang mit Ertragstafelschätzung oder sogar nur eine summarische Erfassung und Planung auf der Basis von Bestandestypen⁶ eine angemessene Alternative (vgl. SPELLMANN und AKÇA 1983, SPELLMAN et al. 1999). Die auch in diesen Wirtschaftseinheiten interessierende Durchmesserverteilung könnte dann mit dem Ansatz von GAFFREY et al. (1998) geschätzt werden.

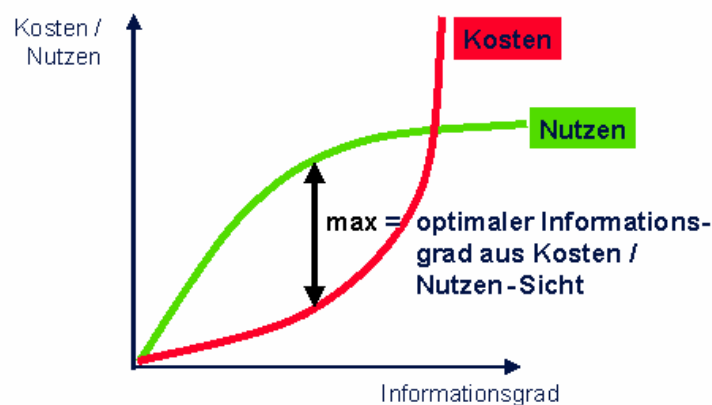


Abbildung 3: Bestimmung des optimalen Informationsgrades mit Hilfe der Nutzen- und Kostenfunktion (nach SPEIDEL 1972, S. 31).

Die Entscheidung, welches Verfahren gewählt wird, liegt jedoch vollkommen im Ermessen des Forstbetriebes und sollte sich allein an dessen Zielen sowie am Verhältnis von Kosten und Nutzen der Informationen orientieren. Abb. 3 stellt hierfür ein Kalkül zur Verfügung. Demnach ist derjenige Informationsgrad optimal, der den größten Nutzen(Ertrags)-Überschuß aus den vorhandenen Informationen über deren Beschaffungskosten gewährleistet. Die besondere Schwierigkeit besteht allerdings darin, den Nutzen zu quantifizieren. Hierfür müßten die Auswirkungen zusätzlicher Informationen auf das Betriebsergebnis abgeschätzt werden, was angesichts der Komplexität der Zu-

⁶ Als Bestandestypen werden hier nach Bestandesstruktur, Baumartenzusammensetzung, Bestandesqualität und natürlicher Altersstufe zusammengefaßte Straten bezeichnet.

sammenhänge nur sehr ungenau gelingen kann. Zur Klärung dieser Fragen wären daher weitere Untersuchungen dringend notwendig. Unabhängig vom gewählten Inventurverfahren muß jedoch immer das „Eingriffsprinzip“ gewahrt bleiben, d. h. das in Kap. 2 vorgestellte Verfahren der getrennten und vollständigen Erfassung des ausscheidenden Bestandes, die zeitliche Orientierung der Inventur am Eingriff und die Fortschreibung der Bestandesdaten.

3.2 Inventurintervall

Entsprechend dem in Abb. 2 dargestellten Schema könnte die Inventur des verbleibenden Bestandes bereits nach jedem nächsten Eingriff wiederholt werden. Dies würde jedoch bei den üblichen Durchforstungsintervallen zu nicht vertretbaren Inventurkosten führen. Darüber hinaus sollte bei der Wahl des Inventurintervalls auch darauf geachtet werden, daß die Veränderung der hauptsächlich interessierenden Variable mit einem angemessenen relativen Fehler geschätzt wird. Als wichtigste Variable wird hier die Bestandesgrundfläche betrachtet, da sie in linearem Zusammenhang zum Bestandeswert steht und – im Gegensatz zur abgeleiteten Variable Holzvorrat – direkt meßbar ist. Nach den Regeln der Fehlerfortpflanzung ist bei temporären Stichproben der *absolute* Fehler der Veränderung eines Merkmals zwischen zwei Inventuren gleich der Quadratwurzel aus der Summe der Varianzen der Zustandsschätzungen (AKÇA 2001, S. 30 f.). Der *relative* Fehler ergibt sich dann aus der Division durch die wahre Veränderungsrate.

Anschaulich ausgedrückt bedeutet dies, daß eine Folgeinventur nicht stattfinden sollte, wenn sich eine bereits hohe Bestandesgrundfläche aufgrund geringen Zuwachses und/oder starker Nutzungen kaum verändert hat, da bei vertretbarem Stichprobenumfang die Schätzung des Zuwachses im Stichprobenfehler „untergeht“ und damit vollkommen unklar ist, ob die festgestellte Veränderung realen Ursprungs ist oder nur durch Zufallseffekte der Stichprobenziehung verursacht, d. h. suggeriert wird. Wenn der angestrebte Fehler der Grundflächenerfassung aus wirtschaftlichen Gründen auf einen bestimmten Wert festgelegt ist, wird der Fehler der Grundflächen*veränderung* also erst dann ein vertretbares Maß erreichen, wenn die Änderungsrate ausreichend groß ist. Von Schadereignissen abgesehen wird dies je nach Wuchsdynamik eines Bestandes nach unterschiedlichen Zeiträumen der Fall sein. Die Formel zur Berechnung des relativen Fehlers des Grundflächenzuwachses lautet:

$$S_{\Delta G} \% = \frac{\sqrt{S_{\bar{G}_1}^2 + S_{\bar{G}_2}^2}}{\Delta G} = \frac{\sqrt{(S_{\bar{G}} \% \cdot G_1)^2 + (S_{\bar{G}} \% \cdot G_2)^2}}{\Delta G} \quad [1]$$

- mit G_1, G_2 = wahre Grundfläche zu den Zeitpunkten 1 (Erstinventur) und 2 (Folgeinventur)
 $S_{\bar{G}_1}, S_{\bar{G}_2}$ = absoluter Fehler der Grundflächenschätzung zu den Zeitpunkten 1 und 2
 $S_{\bar{G}} \%$ = konstanter relativer Fehler der Grundflächenschätzung
 ΔG = wahrer Grundflächenzuwachs – Grundflächenentnahme im Intervall [1,2]

Aus [1] folgt, daß die nächste Inventur um so später erfolgen sollte, je höher die Grundfläche und ihr Stichprobenfehler und je geringer der Grundflächenzuwachs ist. Abb. 4 verdeutlicht diese Zusammenhänge anhand von exemplarischen Daten aus der Schober'schen Ertragstafel für Buche, I. Ertragsklasse, mäßige Durchforstung (SCHOBBER 1995). Sie zeigt den mit Formel [1] berechneten Stichprobenfehler des Grundflächenzuwachses für Folgeinventuren in unterschiedlichen Zeitabständen zu zwei Erstinventuren im Bestandesalter 40 und 65. Bei der Kalkulation wurde ein Fehler der Grundflächenschätzung von 10 % angenommen. Stichprobensimulationen mit dem in Kap. 3.3 beschriebenen Verfahren haben ergeben, daß dieser Fehlerwert auch in strukturreichen Beständen mit ca. 20 – 40 Probekreisen je Bestand eingehalten werden kann, so daß es sich hierbei um eine realistische Vorgabe handelt. Weiterhin basiert die Fehlerberechnung allein auf den Grundflächenwerten des *verbleibenden* Bestandes, was der tatsächlichen Situation bei der Inventur von Wirtschaftswäldern entspricht.

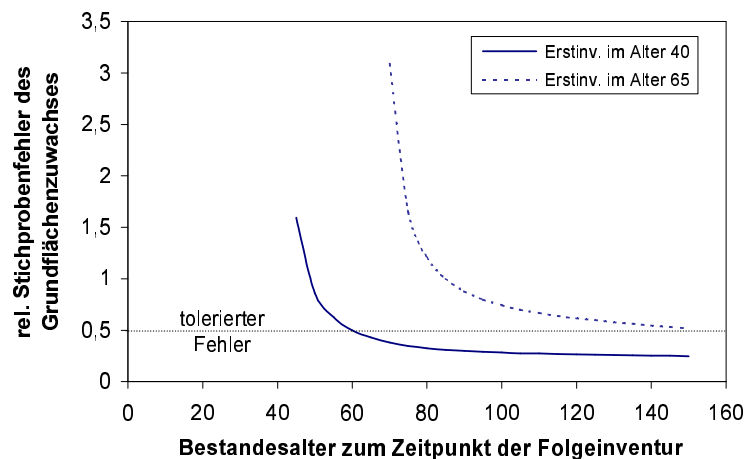


Abbildung 4: Theoretische Standardfehler der Grundflächenzuwachsschätzung in Abhängigkeit vom Inventurintervall, dargestellt für zwei Erstinventuren im Bestandesalter 40 und 65. Die Berechnungen beruhen auf den Grundflächenwerten des verbleibenden Bestandes der SCHOBBER'schen Buchenertragstafel (I. Ertragsklasse, mäßige Durchforstung) und einem angenommenen Standardfehler der Grundflächenschätzung von 10 %.

Wird ein Zuwachsfehler von max. 50 % als tolerabel betrachtet, so wird dieser Wert für die Folgeinventur der Erstaufnahme im Alter 40 erst nach 20 Jahren unterschritten. Für die Folgeinventur der Erstaufnahme im Alter 65 ist dies sogar erst nach 85(!) Jahren der Fall⁷. Diese Intervalle ließen sich drastisch verkürzen, wenn der Stichprobenfehler der Grundflächenschätzung verringert würde. Allerdings würde damit der erforderliche Stichprobenumfang überproportional ansteigen, was aus wirtschaftlichen Gründen nicht akzeptabel ist. Diese Zusammenhänge, die in ähnlicher Größenordnung auch für die anderen Hauptbaumarten gelten, zeigen, daß bei temporären Stichproben und

⁷ Man bedenke, daß beim klassischen Waldbegang **jeder** Bestand alle 10 Jahre aufgenommen wird und dies mit weitaus weniger als 30 Stichprobenpunkten!

unter den in Deutschland üblichen Durchforstungsintensitäten und Wuchsbedingungen eine Wiederholungsinventur nach weniger als 20 Jahren nutzlos ist. Mit Rücksicht auf die Fortschreibung sollte das Inventurintervall aber auch nicht wesentlich länger sein, da sich ansonsten die Zuverlässigkeit der Wachstumsprognose deutlich verschlechtert. Zusammenfassend kann also ein **Inventurintervall zwischen 15 und 25 Jahren** empfohlen werden. **Diese langen Inventurintervalle und das damit verbundene Einsparpotential im Bereich der Datenerhebung werden jedoch erst durch die genaue Erfassung der Nutzungen und deren Einarbeitung in die mit Wachstumsmodellen fortgeschriebenen Bestandesdaten möglich.** Die Lösung von starren Inventurintervallen erlaubt es, den Inventuraufwand an die individuellen Gegebenheiten anzupassen, wodurch überflüssige Inventurarbeiten vermieden werden, die keinen oder nur einen sehr geringen Informationsgewinn bringen. Auf der anderen Seite kann genau dort eine größere Genauigkeit erzielt werden, wo sie notwendig und erwünscht ist.

Natürlich stellt sich in diesem Zusammenhang auch die Frage nach permanenten Stichproben, deren Zuwachsschätzung bei gleichem Stichprobenumfang i. d. R. erheblich genauer ist, wenngleich die Kosten je Probefläche um einiges höher sind, da jede von ihnen genau eingemessen und dauerhaft markiert werden muß. Diese zusätzlichen Kosten können jedoch durch einen geringeren notwendigen Stichprobenumfang mehr als kompensiert werden. Ob dies der Fall ist, hängt entscheidend davon ab, wie stark die Probekreiswerte der Erst- und Folgeinventur korreliert sind (vgl. AKÇA 2001, S. 132). Bei Wachstumsgrößen wird diese Korrelation um so deutlicher sein, je kleiner das Inventurintervall ist und je weniger die Bestandesstruktur innerhalb dieses Zeitraumes durch Nutzungen verändert wurde. Aus Kostengründen verbietet sich allerdings ein kurzes Inventurintervall und in intensiv bewirtschafteten Wäldern, also gerade dort, wo Eingriffsinventuren interessant sind, werden auch die nutzungsbedingten Veränderungen nicht unerheblich sein. Aus diesen Gründen wird im Rahmen von Eingriffsinventuren, von wenigen Ausnahmen abgesehen, vermutlich die temporäre Stichprobe effizienter sein.

3.3 Inventurvorbereitung

Praktische Tests ergaben, daß auch bei den hier vorgeschlagenen temporären Stichproben eine Arbeitskarte mit den eingezeichneten Stichprobenpunkten die Orientierung im Gelände erheblich erleichtert und damit den gesamten Ablauf der Außenaufnahmen beschleunigt. Liegen kartographische Daten in Form eines geographischen Informationssystems vor, so sind diese Unterlagen mit Hilfe des in Kap. 4 beschriebenen Inventurprogramms einfach und schnell erstellt. Abb. 5 zeigt die Benutzeroberfläche des entsprechenden Programmmoduls nach Generierung der Stichprobenpunkte für die Abt. 12A des Forstamtes Daun.

Die Verteilung der Stichprobenpunkte auf der Inventurfläche erfolgt bei diesem Verfahren mit Hilfe eines Algorithmus, der ein quadratisches Gitternetz erzeugt. Dieses Gitternetz kann durch Angabe der Gitterweite (und damit des Stichprobenumfangs) und optional eines festen Ausrichtungswinkels frei definiert werden. Der Startpunkt des Gitters wird entweder zufällig erzeugt oder

vom Anwender per Mausklick auf der Karte ausgewählt. Wurde kein Ausrichtungswinkel angegeben, wird dieser durch einen zweiten Mausklick festgelegt. Die Lage der Stichprobenpunkte wird anschließend angezeigt und kann im Inventurdatensatz gespeichert werden. Dies ist dadurch möglich, daß nur die Parameter gespeichert werden müssen, die der Algorithmus zur Gitternetzgenerierung benötigt. Durch Abrufen dieser Parameter kann ein einmal gewähltes Gitternetz jederzeit rekonstruiert und z. B. bei späteren Inventuren wiederverwendet werden. Sollte in Einzelfällen die Durchführung permanenter Stichproben gewünscht sein, ist deren Vorbereitung auf diese Weise sehr erleichtert. Mit Hilfe einer Karte, wie sie in Abb. 5 dargestellt ist, kann sich das Inventurpersonal hervorragend orientieren und die Laufwege optimieren. Neben der Beschleunigung der Inventurarbeiten wird so auch gewährleistet, daß der Bestand tatsächlich repräsentativ erfaßt wird.

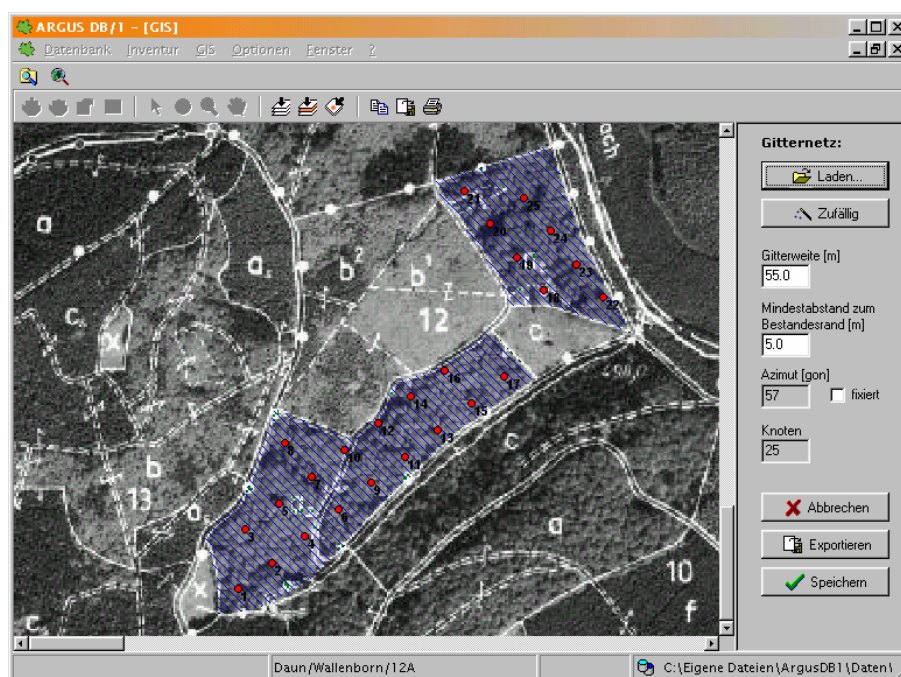


Abbildung 5: Verteilung der Stichprobenpunkte mit Hilfe des Programms ARGUS DB/1, dargestellt am Beispiel der Abt. 12A des Forstamtes Daun. Das Gitternetz kann gespeichert und später bei der Vorbereitung weiterer Inventuren wiederverwendet werden. Ebenso können die Koordinaten der Stichprobenpunkte in eine Textdatei exportiert und die Karte in einer Grafikdatei gespeichert oder auf einem Drucker ausgegeben werden.

3.4 Die modifizierte 6-Baum-Stichprobe

Das bisher für Eingriffsinventuren favorisierte Stichprobenverfahren basiert auf einer Kombination aus modifiziertem Stammabstandsverfahren und Winkelzählprobe. Hierbei werden u. a. zur Schätzung des Mitteldurchmessers an jedem Stichprobenpunkt der nächstgelegene Baum (Nullbaum) und seine drei nächsten Nachbarn erfaßt, während die Grundfläche pro ha mit einer bestimmten Anzahl Winkelzählproben geschätzt wird (POMMERENING und SCHMIDT 1998). In den meisten der bisher untersuchten Bestände liefert dieses Verfahren gute Schätzungen. Eine genaue Analyse mit Hilfe

von Stichprobensimulationen zeigte jedoch, daß immer dann mit einem z. T. erheblichen systematischen Fehler zu rechnen ist, wenn innerhalb eines Bestandes räumlich voneinander getrennte Subpopulationen mit unterschiedlicher Dichte und Durchmesserverteilung auftreten. Da jedoch gerade diese Strukturen in den angestrebten ungleichaltrigen, femelartig aufgebauten Mischwäldern zu erwarten sind, wurde als alternatives Verfahren die auf der Messung von Punkt-Baum-Abständen beruhende 6-Baum-Stichprobe (PRODAN 1968) untersucht. Die 6-Baum-Stichprobe ist als einfach anzuwendendes und kostengünstiges Inventurverfahren bekannt, das - im Gegensatz zu Inventuren mit festen bzw. konzentrischen Probekreisen - nicht den Spezialisten, sondern nur den eingeübten Mitarbeiter der Forsteinrichtung erfordert (HIRNER 1978, S. 2). Insbesondere kann es als **Ein-Personen-Verfahren** angewandt werden, was eine erhebliche Kosteneinsparung bringt. Für die Anwendung im Rahmen von Eingriffsinventuren ist es daher besonders geeignet.

Auch von der 6-Baum-Stichprobe ist jedoch bekannt, daß der Stammzahlschätzer bei nicht-zufälligen Baumverteilungsmustern verzerrte Ergebnisse liefert. JONSSON et al. (1992) haben gezeigt, daß das Vorzeichen des systematischen Fehlers (Bias) bei regelmäßiger Verteilung negativ und bei geklumpfter Verteilung positiv ist, und daß der Fehlerbetrag mit zunehmender Abweichung von der Zufallsverteilung zunimmt. Aus diesem Grund wurde ein Aggregationsindex entwickelt, der in Kombination mit der 6-Baum-Stichprobe schnell und einfach zu bestimmen ist (STAUPENDAHL 2001a) und eine enge Korrelation zur Richtung und zum Ausmaß der Verzerrung zeigt. Basierend auf diesem Index kann der Bias der Stammzahlschätzung über einen regressionsanalytischen Ansatz zuverlässig korrigiert werden (STAUPENDAHL 2000). Vermeidet man durch Anwendung einer ausreichend hohen Kluppschwelle, daß durch die 6-Baumstichprobe mehrere Bestandesschichten gleichzeitig erfaßt werden, ist auch der Schätzer für den Mitteldurchmesser⁸ und die Grundfläche (als resultierende Größe aus Stammzahl und Mitteldurchmesser) erwartungstreu (HIRNER 1978, S. 77 f., STAUPENDAHL 2001b)⁹.

Die sich aus diesem Vorgehen ergebende Stratifizierung nach Bestandesschichten bzw. Durchmesserklassen empfiehlt sich auch aus anderen Gründen: In den häufig anzutreffenden zweischichtigen Buchenbeständen mit stammzahlreichem Unterstand würden z. B. ohne Stratifizierung sehr viele unterständige Buchen erfaßt, während die wertvollen Stämme des Oberstandes nur mit geringer Stammzahl in die Stichprobe eingingen. Damit würde der Unterstand zu genau und der Oberstand zu ungenau geschätzt. Auf der Ebene von permanenten Probekreisinventuren führten diese Überlegungen zur Einführung konzentrischer Probekreise (vgl. AKÇA 2001, S. 39). Die Konsequenzen für die 6-Baum-Stichprobe sind in Abb. 6 dargestellt. Demnach werden bei der Auswahl der sechs nächsten Bäume im Rahmen der modifizierten 6-Baum-Stichprobe nur die Bäume des **Oberstandes** berücksichtigt (im Beispiel sind dies alle Bäume mit einem BHD oberhalb von 20 cm). Diese Kluppschwelle ist jedoch nicht fixiert, sondern sollte an die bestandesindividuellen Verhältnisse

⁸ Durchmesser des Grundflächenmittelstamms

⁹ Die von STAUPENDAHL (2000, 2001a und 2001b) publizierten Methoden beziehen sich zwar auf die 4-Baum-Stichprobe, sind jedoch mit angepaßten Parametern ebenfalls auf die 6-Baum-Stichprobe anwendbar.

angepaßt werden, und zwar so, daß sie den Oberstand möglichst gut von den unteren Bestandeschichten trennt. Auf diese Weise minimiert man die Zahl der Grenzstämmen, bei denen unklar ist, zu welchem Kollektiv sie gehören, und erleichtert damit die Zuordnung der Probebäume.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Begrenzung des Probekreisradius, der bei der 6-Baum-Stichprobe normalerweise durch den Abstand des sechsnächsten Baumes zum Probekreismitelpunkt definiert ist. HIRNER (1978, S. 70) wies bereits darauf hin, daß in schwach bestockten Bestandespartien und auf Blößen die Durchführung der 6-Baum-Stichprobe sehr erschwert wird, da aufgrund der dort großen Meßdistanzen die Ermittlung des 6. Baumes sehr zeitaufwendig ist, wodurch die Vorteile des Verfahrens, nämlich die einfache und rasche Merkmalerhebung, wieder hinfällig wird. Deshalb werden in der modifizierten 6-Baum-Stichprobe nur diejenigen Bäume des Oberstandes berücksichtigt, die maximal 15 m vom Stichprobenpunkt entfernt sind. In Bereichen mit geringer Bestandesdichte findet also ein Wechsel von Probekreisen mit variablem Radius und fester Stammzahl zu Probekreisen mit festem Radius und variabler Stammzahl statt (mit $0 \leq n \leq 5$). In beiden Fällen werden die flächenbezogenen Schätzgrößen zunächst für jeden Probekreis auf ha-Werte hochgerechnet und anschließend über alle Probekreise arithmetisch gemittelt. Ein systematischer Fehler der Stammzahlschätzung ist nur für die Probekreise mit variablem Radius zu erwarten, so daß das oben beschriebene Korrekturverfahren auch nur auf diesen Teil der Stichprobe angewandt wird (STAUPENDAHL 2000).

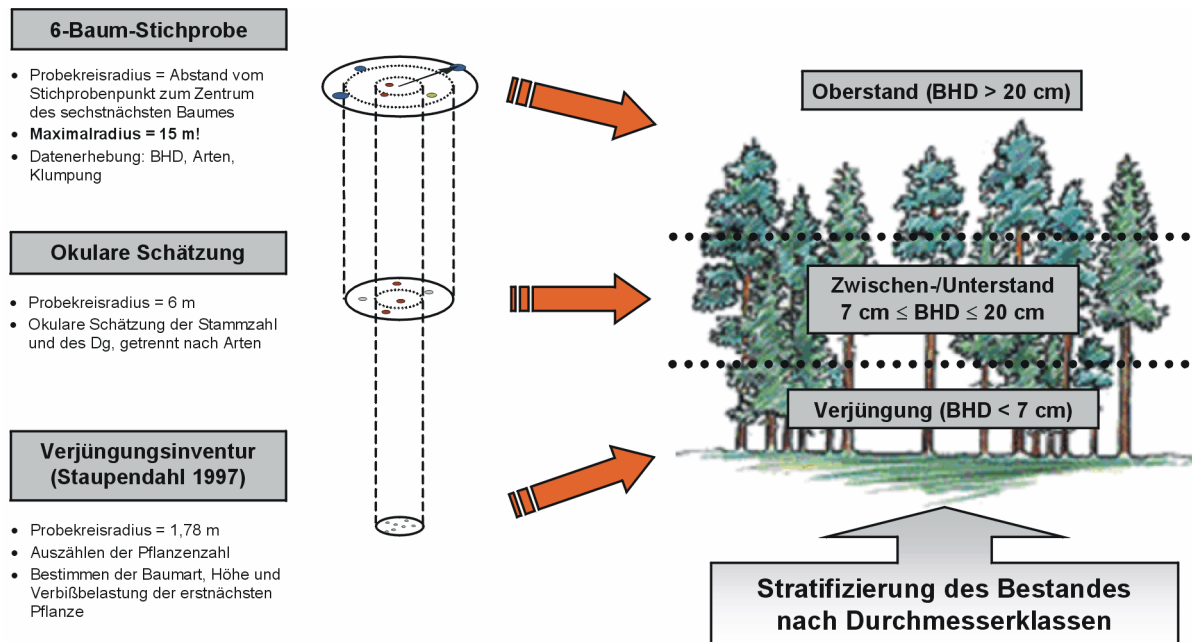


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Stratifizierung des Bestandes und der sich daraus ergebenden Inventurarbeiten am Stichprobenpunkt. Abgrenzungskriterium für die Straten ist der Brusthöhendurchmesser (BHD), wobei der Grenzwert zum Oberstand variabel ist und - zur Minimierung der Zahl der Grenzstämmen - an die jeweiligen Bestandesverhältnisse angepaßt werden sollte.

Der **Zwischen- und Unterstand**, der definitionsgemäß durch alle Bäume mit einem BHD unterhalb der Kluppschwelle zum Oberstand und größer 7 cm gebildet wird, wird durch eine baumarten-

spezifische, okulare Schätzung des Mitteldurchmessers und der Stammzahl aller Bäume innerhalb eines festen Radius von 6 m erfaßt¹⁰. Der durch die okulare Schätzung zusätzlich entstehende Fehler (sowohl zufälliger als auch systematischer Art) dürfte nach einiger Übung für praktische Zwecke kaum von Bedeutung sein, vor allem nicht für die Schätzung der Gesamtgrundfläche, an der dieses Kollektiv normalerweise nur einen geringen Anteil hat (weniger als 10 %). Dafür wird der Oberstand, der den Hauptanteil des Bestandesvorrates bildet, um so genauer geschätzt, so daß der Fehler der Vorratsschätzung des Gesamtbestandes je nach Bestandesstruktur z. T. erheblich geringer ist als bei der Variante ohne Stratifizierung.

Des weiteren sollte eine Bestandesinventur auch den Verjüngungszustand erfassen, zumal ein großer Anteil der Arbeitszeit allein auf das Aufsuchen der Stichprobenpunkte entfällt und zuverlässige Informationen über die **Verjüngung** im naturnahen Waldbau von besonderer Bedeutung sind. Es erscheint also sinnvoll, an jedem Stichprobenpunkt möglichst vielfältige Informationen zu erheben. Da das Arbeitsvolumen aber in einem vertretbaren Rahmen bleiben muß, wird für die Erfassung der Verjüngungssituation das Verfahren nach STAUPENDAHL (1997) vorgeschlagen, das besonders einfach und schnell anzuwenden ist. Bei all diesen Überlegungen sollte bedacht werden, daß der Arbeitsaufwand je Stichprobenpunkt, der bei permanenten Betriebsinventuren gerechtfertigt scheint, auf Bestandesebene nicht zu vertreten ist. Die geringere Genauigkeit der Erfassung am Stichprobenpunkt ist nach Einschätzung des Autors aber dadurch gerechtfertigt, daß der Wald - im Gegensatz zur Betriebsinventur - *bestandesweise* erfaßt wird, was im Prinzip einer sehr feinen Stratifizierung entspricht und somit eine geringere Größe und Heterogenität der Stichprobeneinheiten zur Folge hat.

Tab. 1 zeigt die an einem Stichprobenpunkt erhobenen Parameter. Als sehr hilfreich für die Datenerfassung hat sich die Verwendung einer elektronischen Kluppe erwiesen. Ist eine geeignete Datenerfassungssoftware installiert, wird der Arbeitsablauf merklich beschleunigt, vor allem dann, wenn die Inventur von nur einer Person durchgeführt wird. Das Tragen eines sperrigen Schreibbrettes erübrigt sich und auch bei schlechtem Wetter funktioniert die Datenerfassung problemlos. Da die Daten über die serielle Schnittstelle vom PC eingelesen werden können, entfällt deren manuelle Eingabe, wodurch sich natürlich auch die Gefahr von Übertragungsfehlern verringert. Werden im Datenerfassungsprogramm Plausibilitätsroutinen integriert, können zudem Fehler bei der Datenerfassung frühzeitig erkannt und korrigiert werden. Die Erfahrungen mit der in dieser Untersuchung getesteten Kluppe Datafox der Firma PAV zeigen jedoch, daß vor allem bezüglich der flexiblen Datenerfassung und -speicherung noch erheblicher Entwicklungsbedarf besteht. Die in diesem Jahr für die Interforst angekündigte neue Version der Kluppe Mantrax der Firma Haglöf könnte auf diesem Gebiet mit neuer Funktionalität einen spürbaren Fortschritt bringen.

Der Fehler, der durch Probekreise entsteht, die den Bestandesrand schneiden, wird mit Hilfe der Methode von BEERS (zit. nach SCHMID-HAAS 1969b) korrigiert. Hierbei werden nur diejenigen

¹⁰ Zur Kalibrierung und Kontrolle der Schätzung sollten allerdings in regelmäßigen Abständen einige Bäume gekluppt werden.

Probekreise aufgenommen, deren Zentrum innerhalb der Bestandesfläche liegt. Der Radius der Rand-Probekreise bleibt unverändert, zusätzlich wird jedoch der kürzeste Abstand a des Probekreismittelpunkts zum Bestandesrand gemessen (s. Tab. 1). Über diesen Abstand und den Probekreisradius r läßt sich der Korrekturfaktor k berechnen, mit $0 \leq k \leq 2$ und $k = 0$ für $a \geq r$ und $k = 2$ für $a = 0$. Bei der Auswertung wird den Rand-Probekreisen mit diesem Faktor ein erhöhtes Gewicht zugewiesen, wodurch die geringere Auswahlwahrscheinlichkeit der Randbäume kompensiert wird. Da dieses Verfahren besonders einfach ist, wenig zusätzlichen Meßaufwand erfordert und den systematischen Randfehler fast vollständig eliminiert, wird es auch von SCHMID-HAAS (1969b) empfohlen.

Oberstand (SEBAST)						
Probebäume	Baumart	BHD	Höhe	Kronenansatz	<i>Güteklasse</i>	<i>Z-Baum</i>
Probekreisparameter	Probekreisradius	Abstand vom Bestandesrand	Aggregationsindex			
Zwischen-/Unterstand	Baumart	Mitteldurchmesser	Stammzahl			
Verjüngung	Baumart	Höhe	Stammzahl	Verbißklasse		

Tabelle 1: Übersicht über die an jedem Stichprobenpunkt - getrennt nach Bestandesschichten - zu erhebenden Parameter. Die Höhe und der Kronenansatz wird nur an einem Baum je SEBAST-Probekreis gemessen, wobei die Probebaumauswahl so erfolgen sollte, daß für jede vorkommende Baumart mind. 10 Höhenwerte vorliegen und diese über den gesamten Höhenbereich gleichmäßig verteilt sind. Die kursiv gedruckten Parameter sind optional, alle anderen obligat.

4 Inventursoftware

Eine Datenbank erlaubt im Gegensatz zu einem traditionellen Betriebswerk, flexibel auf unterschiedliche Informationsbedürfnisse des Forstbetriebes zu reagieren. FÄHSER (1983) weist auf die Notwendigkeit einer dynamischen Informationsbereitstellung hin, wenn eine qualitativ hochwertige Forsteinrichtung bzw. Informationserfassung auch zu einer Leistungssteigerung im Betriebsablauf führen soll¹¹. Parallel zur Konzeption eines schlüssigen Inventurdesigns wurde daher der Entwicklung einer anwenderfreundlichen und leistungsfähigen Datenbank besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Abb. 7 illustriert den grundsätzlichen Aufbau der relationalen Desktop-Datenbank ARGUS DB/1, die den besonderen Anforderungen von Eingriffsinventuren Rechnung trägt. Langfristig ist die Entwicklung einer Client/Server-Lösung geplant, um die gemeinsame Nutzung der Daten, z. B. innerhalb eines Forstamtes, zu ermöglichen.

Zentrales Element dieses Programms ist ein **Datensteuerungs- und Auswertungsmodul**, das den Datenimport regelt, benutzerdefinierte Abfragen an die Datenbank weiterleitet und auswertet und mit Hilfe der Methoden-DLL (Dynamik Link Library) des Programms KSP (NAGEL 1998) die Fortschreibung der Bestandesdaten steuert. Über die graphische Benutzeroberfläche wird zugleich die Schnittstelle zum Benutzer hergestellt. Die Forsteinrichtungsdaten werden in den Tabellen einer Microsoft Access Datenbank gespeichert, auf die das Datensteuerungsmodul über die Datenbankschnittstelle ODBC zugreift. Die (bisher) eingerichteten Tabellen und ihre Beziehungen sind ebenfalls in Abb. 7 dargestellt. Die Tabelle *Bestände* ist das zentrale Element dieser Struktur. In ihr sind alle Bestände mit einer fortlaufenden Nummer, über die die Verbindung zu allen anderen bestandesbezogene Sach- und Geometriedaten hergestellt wird, eindeutig identifiziert. Auf diese Weise ist eine Umbenennung der Bestände, wie sie z. B. bei Organisationsreformen nötig wird, möglich, ohne die referentielle Integrität der Datenbank zu gefährden.

Da zu jedem Bestand mehrere Inventuren existieren können, wurden diese in einer eigenen Tabelle organisiert, mit der wiederum die Tabellen *Rohdaten*, *Bestandesparameter* und *Durchmesser*(verteilungen) verknüpft sind. Erstere enthält die Daten aus der modifizierten 6-Baum-Stichprobe, während in letzteren die Ergebnisse der Auswertungen abgelegt werden. Daten aus diesen Tabellen können mit einem speziellen Abfrage-Dialog selektiert werden, der neben der visuellen und komfortablen Erzeugung komplexer SQL-Abfragen auch deren Speicherung und Wiederverwendung, sowie den Export der selektierten Datensätze für die Verwendung in externen Programmen erlaubt. Die Inventurdaten werden entweder über die serielle Schnittstelle direkt aus dem Speicher der elektronischen Kluppe oder – wenn die Dateneingabe manuell erfolgte – aus einer ASCII-Datei eingelesen.

¹¹ Vgl. a. BITTER (1990) und KÄTSCH (1998)

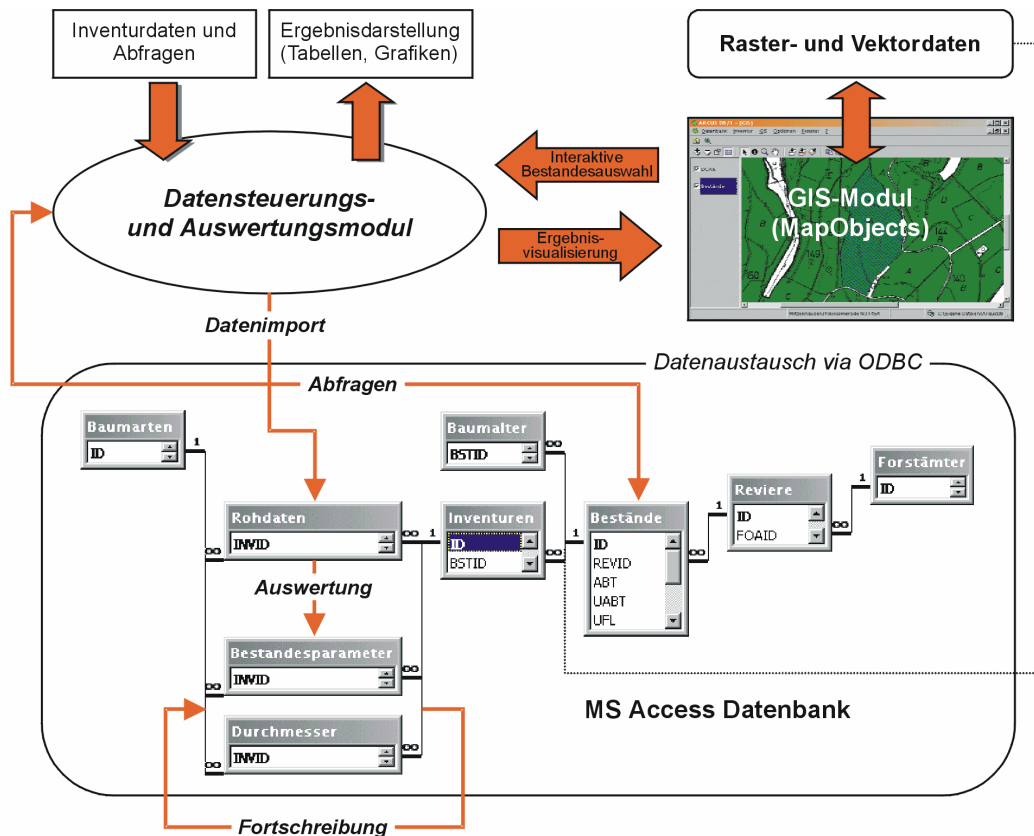


Abbildung 7: Struktur des Programms ARGUS DB/1 zur Verarbeitung von Daten aus Eingriffsinventuren. Zentrales Element ist das Modul zur Datensteuerung und –auswertung, das durch ein Modul zur Darstellung und Verarbeitung raumbezogener Daten (GIS-Modul) ergänzt wird. Letzteres verwaltet Vektor- und Rasterdaten im ArcView Shape- und diversen Image-Formaten, während das Steuermodul via ODBC¹² auf die Tabellen einer Access Datenbank zugreift und die Kommunikation zwischen beiden Datenquellen regelt. Die Access-Tabellen sind über 1:N(∞)-Beziehungen miteinander verbunden (dünne, durchgezogene Linien), die Verbindung zwischen den Sachdaten der Access-Datenbank und den GIS-Daten wird über eine 1:1-Beziehung zwischen der Access-Tabelle „Bestände“ und der Attributtabelle des Shapefiles mit den Bestandespolygonen sichergestellt (gestrichelte Linie). Die Pfeile kennzeichnen Art und Bezug der durch das Auswertungsmodul gesteuerten Prozesse.

Ein zweites Programmmodul erlaubt die kartographische Darstellung der interessierenden Bestände und die Visualisierung der Datenbankabfragen. Vor dem Hintergrund des räumlichen Bezugs der meisten Planungsprozesse und betrieblichen Maßnahmen ist der Nutzen geographischer Informationssysteme (GIS) in der Forstwirtschaft unbestritten (z. B. BITTER 1990, SPORS et al. 1992, TEUFFEL und KREBS 1996). Aufgrund des räumlichen Charakters von Beständen und ihrer Bedeutung als Planungs-, Kontroll- und Buchungseinheit drängt sich die Verwendung eines GIS – natürlich besonders bei einem bestandesbezogenen Planungsansatz – geradezu auf. Das in ARGUS DB/1 realisierte **GIS-Modul** wurde mit Hilfe der MapObjects-Komponenten von ESRI programmiert und ermöglicht den Zugriff auf diverse Rasterdatenformate bzw. ARC/INFO-Coverages oder Daten im ArcView Shape-Format. Durch die Integration dieser GIS-Funktionalität ist für den Anwender die

¹² Abkürzung für Microsofts Datenbankschnittstelle „Open DataBase Connectivity“.

zusätzliche Installation einer eigenen (und i. d. R. teuren) GIS-Software nicht erforderlich. Zudem kann das System flexibel an individuelle Anforderungen angepaßt werden. Lediglich für die Pflege der raumbezogenen Daten auf einem zentralen Rechner wird - je nach Anforderungen - eine ArcView- oder ARC/INFO-Lizenz benötigt.

Das GIS-Modul dient als „Daten-Viewer“ v. a. der interaktiven und raumbezogenen Selektion von Beständen und Bestandesklassen und der Visualisierung von Abfragen und Auswertungen mit dem Hauptmodul. Selbstverständlich können die erzeugten Kartenansichten auch ausgedruckt oder als Grafikdatei gespeichert und in anderen Programmen weiterverwendet werden. Ein Beispiel wäre die Erzeugung einer Karte mit allen Beständen, deren Bestockungsgrad einen bestimmten kritischen Wert überschritten hat, um einen Überblick über Anzahl, Gesamtfläche und Verteilung der besonders pflegebedürftigen Waldteile zu bekommen. Auf der Grundlage dieser Funktionalität kann ARGUS DB/1 zu einem Werkzeug zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen (*Decision Support System*) ausgebaut werden. Gleichzeitig steht durch die Kompatibilität der verwendeten Datenformate die gesamte Funktionalität von Microsoft Access und ESRI's GIS-Programmen ARC/INFO und ArcView zur Verfügung, so daß die Daten auf vielfältigste Art und Weise bearbeitet und analysiert werden können.

5 Resumee

Das hier vorgestellte Inventurkonzept zielt vor allem darauf ab, dem Forstbetrieb genau *die* Daten zur Verfügung zu stellen, die die Entscheidungsfindung bestmöglich unterstützen, um auf diese Weise zur Optimierung des Betriebsergebnisses beizutragen. Da bei einer stratenorientierten Planung Informationen verlorengehen, die bezüglich dieser Entscheidungsprozesse für essentiell gehalten werden, wird im Gegensatz zum momentanen Trend in der Forsteinrichtung am Bestand als Bezugsebene für Inventur und Planung festgehalten. Die dadurch entstehenden Kosten müssen durch eine Reihe von Maßnahmen reduziert werden. Hierzu zählen insbesondere

- Die Anpassung der Aufnahmeintensität (des Inventurverfahrens) an den tatsächlichen Informationsbedarf und an die vorhandenen Bestandesstrukturen,
- die Vergrößerung der durchschnittlichen Bestandesgröße auf mindestens 5-10 ha,
- die Erfassung der Nutzungen durch Vollklappung während des Auszeichnens (oder gleichwertige Verfahren),
- die Fortschreibung des Datenbestandes mit Hilfe eines Wachstumsmodells und der erfaßten Nutzungsdaten und
- die dadurch ermöglichte Verlängerung des Inventurintervalls und Reduzierung der Kosten der mittelfristigen Betriebsplanung (Forsteinrichtung).

Durch diese Maßnahmen können die Kosten in einem vertretbaren Rahmen gehalten werden, wobei der Rationalisierungseffekt durch den in der weiteren Verfahrensentwicklung zu integrierenden Einsatz von Luftbildern und Fernerkundungstechniken noch gar nicht berücksichtigt ist. Gleichzeitig wird durch die Aktualität und den Ortsbezug der Daten deren Nutzwert deutlich erhöht. Dies betrifft insbesondere die Planung des Holzeinschlages und die Vermarktung des Rohholzes, die durch die Erfassung des ausscheidenden Bestandes erheblich effizienter und damit - sofern dies ein Betriebsziel ist - profitabler gestaltet werden können. Da diese Datenerhebung fast keinen zusätzlichen Aufwand erfordert und gleichzeitig die Häufigkeit der Inventur des verbleibenden Bestandes reduziert, stellt sie eine besonders effiziente und damit unverzichtbare Komponente des Gesamtsystems dar. Um den Nutzen aus diesem Inventursystem weiter zu steigern, sollten die Bestandesdaten in jedem Fall in Form eines geographischen Informationssystems (GIS) bereitgestellt werden.

Ein weiteres Prinzip der Eingriffsinventur ist die Übertragung der Verantwortung für die Erfassung der holzvorratsbezogenen Naturaldaten an die Forstbetriebsleitung bzw. Revierleitung. BULLINGER (2000) weist darauf hin, daß die Gesellschaft zur Zeit eine Umbruchphase der gesamten Arbeitswelt erlebt und diese Entwicklung besondere Anforderungen an die Arbeitsorganisation der Unternehmen stellt (vgl. a. KLOTZ 2000). Innovative Unternehmen werden sich demnach in Zukunft nicht nur durch innovative Produkte, sondern ebenso durch innovative Organisationsstrukturen auszeichnen. Als wesentliche Merkmale einer innovativen Organisation nennt er flache Hierarchien, dezentrale Entscheidungsstrukturen und eine ausgeprägte Ergebnisverantwortung der einzelnen Mitarbeiter und Arbeitsgruppen.

Wenn also die einzelne Wirtschaftseinheit, sei dies ein Forstamt oder Revier, die Verantwortung für das Ergebnis seines Wirtschaftens tragen soll, sollte sie zur Vermeidung von Frustrationen auch die Instrumente und Mittel in die Hand bekommen, um diesen Erfolg steuern und messen zu können. Bezogen auf das Produktionsmittel und Warenlager „Wald“ bedeutet dies, daß dessen Zustand und Veränderung von denjenigen gemessen werden sollte, die auf diese Größen durch ihr Wirtschaften und ihre Entscheidungen direkten Einfluß nehmen, also von denjenigen, die das operative Geschäft betreiben. In diesem Sinne ist das Konzept der Eingriffsinventur als Instrument zur Selbstkontrolle zu verstehen, das insofern eine Alternative zur nachträglichen, externen Datenerfassung und Kontrolle durch die klassische Forsteinrichtung darstellt. Die Entscheidung, ob die Inventuren durch eigenes Personal oder durch forstliche Dienstleister durchzuführen sind, sollte ebenfalls dem einzelnen Forstbetrieb überlassen werden. Auch hier könnten mit der Einrichtung von evtl. auch forstamtsübergreifenden Cost-Centern neue Wege der Arbeitsorganisation besprochen werden (vgl. BULLINGER 2000).

Die kritische Würdigung der Betriebsergebnisse und die mittelfristige Planung im Rahmen einer 10-jährigen Forsteinrichtung sollte jedoch weiterhin wesentlicher Bestandteil der gesamtbetrieblichen Planung und Kontrolle bleiben. Da durch die eingriffsbezogene Datenerfassung und Fortschreibung die aktuellen Zustandsdaten jedes Bestandes jederzeit verfügbar sind, kann hierbei auf messende Arbeiten vollständig verzichtet werden. Auch dies legt vermutlich erhebliche Rationalisierungspotentiale frei. Die Forsteinrichtung könnte sich dann auf ihre zentralen Aufgaben konzentrieren: Die bestandesweise Beurteilung des Pflege-, Ernte- und Verjüngungszustandes, die kritische Würdigung des abgelaufenen Fortseinrichtungszeitraumes, die Zielvereinbarung und die strategische Ausrichtung des Gesamtbetriebes.

6 Literatur

- AKÇA, A.**, 2001: Waldinventur. Cuvillier, Göttingen, 193 S.
- AKÇA, A.**, 1993: Zur Methodik und Bedeutung der kontinuierlichen Forstinventuren. *AFJZ* 164 (11): 193 - 198.
- BERGMANN, A.**, 1997: Kundenorientierte Rohholzbereitstellung bei vollmechanisierter Holzernte – Ein System für die optimale Einteilung von Sägeabschnitten mit Bordcomputern auf Vollerntern. Diss. Forstl. Fak. Univ. Göttingen, 249 S.
- BITTER, A. W.**, 1990: EDV-gestützte Unternehmensführung im Forstbetrieb mit Hilfe eines flächenbezogenen Betriebsinformationssystems. Diss. Forstl. Fak., Univ. Göttingen.
- BÖCKMANN, TH., SABOROWSKI, J., DAHM, S. NAGEL, J. und SPELLMANN, H.**, 1998a: Die Weiterentwicklung der Betriebsinventur in Niedersachsen. *Forst u. Holz* 53 (8): 219 - 226.
- BÖCKMANN, TH., SPELLMANN, H. und HÜSING, F.**, 1998b: Neukonzeption und Weiterentwicklung der Forsteinrichtung in den Niedersächsischen Landesforsten. *Forst u. Holz* 53 (10): 298 - 302.
- BULLINGER, H. J.**, 2000: Arbeitsorganisation im Umbruch – Chancen für Mitarbeiter und Betriebe. *Forst u. Holz* 55: 534 – 540.
- FÄHSER, L.**, 1983: Dynamisierung der Forsteinrichtung. *AFZ* 38 (17): 430 – 432.
- FUCHS, A. und KENNEL, E.**, 1994: Erste Wiederholungsaufnahme einer permanenten Betriebsinventur im bayerischen Staatswald. *Forstw. Cbl.* 113: 224 - 235.
- GADOW, K. v. und CHEN, B. W.**, 2002: Timber harvest planning with spatial objectives, using the method of simulated annealing. *Forstw. Cbl.* 121: 25 – 34.
- GADOW, K. v. und SCHMIDT, M.**, 1998: Periodische Inventuren und Eingriffsinventuren. *Forst und Holz* 49(5):129 - 131.
- GADOW, K. v. und STÜBER, V.**, 1994: Die Inventuren der Forsteinrichtung. *Forst und Holz* 49 (5): 129 - 131.
- GAFFREY, D., SABOROWSKI, J. und SPELSBERG, G.**, 1998: Baumartenspezifische Funktionen zur Schätzung von Bestandesdurchmesserverteilungen. *AFJZ* 196 (5): 81 - 86.
- GÜSSEFELDT, J.**, 1997: Grundsätzliche Überlegungen zu Regionalisierungsmodellen. *Geograph. Zeitschr.* 85: 1 -19.
- GURNAUD, A.**, 1886: La méthode du contrôle. P. Jacquin, Besancon, 124 S.
- HASENAUER, H., MOSER, M. und ECKMÜLLNER, O.**, 1995: Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. *AFZ* 50(4): 216 - 218.
- HEINIMANN, H. R.**, 1999: Logistik der Holzproduktion - Stand und Entwicklungsperspektiven. *Forstwiss. Centralbl.* 118 (1): 24 - 38.
- HINRICHS, A., OESTEN, G. und STEINBRENNER, M.**, 1993: Die Betriebsinventur der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Arbeitspapier 14-93. Institut für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft, Albert-Ludwigs-Univ. Freiburg, 74 S.
- HIRNER, V.**, 1978: Theoretische Überlegungen zur Sechs-Baum-Stichprobe und deren praktische Anwendungsmöglichkeiten. Univ. Freiburg (Breisgau), Forstwiss. Fak., Diss., 114 S.
- JONSSON, B., HOLM, S. and KALLUR, H.**, 1992: A forest inventory method based on density-adapted circular plot size. *Scand. J. For. Res.* 7: 405 – 421.
- KÄTSCH, CHR.**, 1998: Konzeption für ein forstliches Produktionsplanungs- und Steuerungssystem unter besonderer Berücksichtigung der Forsteinrichtung. Schriften aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt 126. Sauerländer's, Frankfurt a. Main, 211 S.

- KASSIER, H.**, 1980: An integrated system for forest management and silvicultural planing and control. South African Forest Journal 114: 1 - 6.
- KLOTZ, U.**, 2000: Neue Unternehmensmodelle führen zu einer anderen Definition von Arbeit. Neue Ökonomie, Teil 3. Frankf. Allg. Zeitung 124, S. 33.
- KRAMER, H. und AKÇA, A.**, 1995: Leitfaden zur Waldmeßlehre. 3. Aufl., J. D. Sauerländer's, Frankfurt a. M., 266 S.
- NAGEL, J.**, 1998: Zur Auswertung und Zuwachsprognose von permanenten Stichprobenerhebungen. Forst u. Holz 53 (7): 197 – 198.
- NAGEL, J.**, 1999: Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanst. 128, J. D. Sauerländer's, Frankf. a. Main, 122 S.
- NAGEL, J.**, 2000: Prognose des Zuwachses von Fichten/Buchen-Mischbeständen mit dem Programm BWIN. In: Saborowski, J. und Sloboda, B. (Eds.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik - 12. Jahrestagung und Internationale Biometrische Gesellschaft - Deutsche Region, Arbeitsgruppe Ökologie, Herbst-kolloquium, Göttingen, 29. September - 1. Oktober 1999; Die grüne Reihe: 194 - 199.
- NIEUWENHUIS, M., MCHUGH, F. MALONE, L and T. LAYTON**, 2001: Development and evaluation of pre-harvest inventory and cross-cutting simulation procedures to maximise value recovery. Irish Forestry 56 (1): 12 - 28.
- OTTO, H.-J.**, 1994: Waldökologie. Ulmer, Stuttgart, 391 S.
- POMMERENING, A. und SCHMIDT, M.**, 1998: Modifizierung des Stammabstandsverfahrens zur Verbesserung der Stammzahl- und Grundflächenschätzung. Forstarchiv 69: 47 - 53.
- PRETZSCH, H., und KAHN, M.**, 1996: Wuchsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. AFZ/Der Wald 51 (25): 1414 - 1419.
- PRETZSCH, H. und DURSKEY, J.**, 2001: Evaluierung von Waldwachstumssimulatoren auf Baum- und Bestandesebene. AFJZ 172(8-9): 146 – 150.
- PRODAN, M.**, 1968: Punktstichprobe für die Forsteinrichtung. Der Forst- u. Holzwirt 23: 225 - 226.
- RHEINLAND-PFÄLZISCHE FORSTAMT DAUN**, 2000: Aufnahme des ausscheidenden Bestandes mit verfahrensbezogener Sorten-, Kosten- und Ergebnisschätzung. AFZ/Der Wald 55 (18-19): 997 – 998.
- SAGL, W.**, 1995: Forsteinrichtung auf dem Prüfstand. Schriftenr. Inst. forstl. Betriebswirtsch. u. Forstwirtschaftspolitik d. Univ. f. Bodenkultur Wien Nr. 26: 137 S.
- SCHMID-HAAS, P.**, 1969a: Kontroll-Stichproben: Aufnahmeinstruktion. Mitt. der Eidgen. Anstalt. Forstl. Vers. 27.
- SCHMID-HAAS, P.**, 1969b: Stichproben am Waldrand. Mitt. der Eidgen. Anstalt. Forstl. Vers. 45: 233 - 303.
- SCHMID-HAAS, P.**, 1989: Schweizer Kontrollstichprobenverfahren in der Forsteinrichtung. Schweiz. Z. Forstwes. 140: 43 - 56.
- SCHMIDT, M.**, 2002: Mündliche Mitteilung.
- SCHOBER, R.**, 1995: Ertragstabellen wichtiger Baumarten. 4. Aufl., Sauerländer, Frankfurt a. Main.
- SCHÖNSLEBEN, P.**, 2000: Integrales Logistikmanagement : Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen. 2., überarb. und erw. Aufl., Springer, Berlin, 778 S.

- SCHÖPFER, W.**, 1998: Schritte zu einem Informationssystem für Holzernte und Holzvermarktung. Forst und Holz 53 (12): 379 – 387.
- SPEIDEL, G.**, 1972: Planung im Forstbetrieb. Parey, Hamburg und Berlin, 276 S.
- SPELLMANN, H. und AKÇA, A.**, 1983: Verbesserungsmöglichkeiten in der Forsteinrichtung. AFZ 38 (17): 427 - 430.
- SPELLMANN, H., NAGEL, J. und BÖCKMANN, TH.**, 1999: Summarische Nutzungsplanung auf der Basis von Betriebsinventuren. AFJZ 170 (7): 122 – 128.
- SPORS, H.-J., STOCK, R. und SLOBODA, B.**, 1992: Räumliche Informationssysteme als Entscheidungsbasis für die forstliche Praxis. Forstarchiv 63: 33 - 39.
- STAUPENDAHL, K.**, 1997: Ein neues Stichprobenverfahren zur Erfassung und Beschreibung von Naturverjüngung. In: Pelz, D. R. (Hrsg.), 1997: Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik - 10. Jahrestagung, Freiburg, 24. - 26. September 1997, IUFRO, Grüne Reihe: 32 – 49.
- STAUPENDAHL, K.**, 1999: Modelling thinnings based on the ratio of relative removal rates. In: Pukkala, T. and Eerikäinen, K. (eds.), 1999: Growth and yield modelling of tree plantations in South and East Africa – Proceedings of the meeting in Mombasa, Kenya, 12.-15. Oct. 1999. The Univ. of Joensuu, Faculty of Forestry Res. Notes 97: 183 – 194.
- STAUPENDAHL, K.**, 2000: Biaskorrektur der Stammzahlschätzung bei *Vier-Baum-Stichproben*. Poster für die Forstwissenschaftliche Tagung 2000 in Freiburg i. Br. vom 11. bis 15. Oktober.
- STAUPENDAHL, K.**, 2001a: Das flächenbezogene Winkelmaß W_f . In: Akça, A, Hoffmann, B., Schumann, K. und Staupendahl, K. (Hrsg.): Waldinventur, Waldwachstum und Forstplanung – Moderne Technologien, Methoden und Verfahrensweisen. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Klaus v. Gadow. Zohab Verlag, Göttingen: 101-116.
- STAUPENDAHL, K.**, 2001b: Estimating the basal area in 4-tree samples. Presentation at the occasion of the International Conference „Continuous Cover Forestry Systems - Assessment, Analysis, Scenarios“, 19th - 21st September 2001, Göttingen.
- STAUPENDAHL, K. und PUUMALAINEN, J.**, 1999: Modellierung des Einflusses von Durchforstungen auf die Durchmesservertelung von gleichaltrigen Fichtenreinbeständen. Centralbl. f. d. ges. Forstw. 116 (4): 249 - 262.
- STERBA, H.**, 1990: Validitätsprüfung des Einzelbaumsimulators für Fichten-Kiefern-Mischbestände. Tagungsbericht. Dt. Verb. Forstl. Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde: 101 - 117.
- TEUFFEL, FRHR. V. K. und KREBS, M.**, 1996: Geoinformationssysteme als Instrumente der forstlichen Betriebsführung. AFZ 10: 532 - 542.
- TZSCHUPKE, W.**, 1991: Betriebs- oder bestandesbezogene Waldzustandsinventuren für die Forsteinrichtung. AFZ 162 (10): 195 - 200.
- UUSITALO, J.**, 1995: Pre-harvest measurement of pine stands for sawing production planning. University of Helsinki, Department of Forest Resource Management, Publications 9, 96 p.
- UUSITALO, J. and KIVINEN, V.-P.**, 2000: EMO: A pre-harvest measurement tool for predicting forest composition. In: Usenius, A. et al. (Eds.): Proc. of 3rd workshop on measuring of wood properties, grades and qualities in the conversion chains and global wood chain optimisation in Espoo, Finland: 173 - 180. (<http://gis.joensuu.fi/~metsatek/henki/F6kunta/joi/projects/emo.html>)
- WALTER, F. and CARLSSON, D.**, 1998: New system for optimizing transport. SkogForsk News 1: p. 1.
- WEIDENBACH, P. und KARIUS K.**, 1993: Betriebsinventur auf Stichprobenbasis als Element moderner Forsteinrichtung. AFZ 48 (13): 685 - 688.