

- Pickens, J.B.; Throop, S.A.; Frendewey, J.O. 1997. Choosing prices to optimally buck hardwood logs with multiple log-length demand restrictions. *Forest Science* 43, 403–413.
- Pretzsch, H. 1992. *Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände*. Forstl. Forschungsber. München 144.
- Puumalainen, J. 1998a. *Marktorientierte Vorratsschätzung und terrestrische Vorinformationen in kleinräumigen Waldinventuren*. Diss. Fak. f. Forstwissenschaften u. Waldökologie, Univ. Göttingen.
- Puumalainen, J. 1998b. Optimal cross-cutting and sensitivity analysis for various log dimension constraints by using dynamic programming approach. *Scand. J. For. Res.* Im Druck.
- Song, X. 1991. *Die Bayes-Schätzung in der forstlichen Betriebsinventur*. Mitt. Abt. f. Forstliche Biometrie 91-4. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.
- Spellmann, H. 1987. Weiterentwicklung der Forsteinrichtung unter besonderer Berücksichtigung der Zustandserfassung. *Forstw. Cbl.* 106, 355–366.
- Ståhl, G. 1994. *Optimizing the utility of forest inventory activities*. Swedish University of Agricultural Sciences, Section of Forest Mensuration and Management. Report 27.
- Staupendahl, K.; Puumalainen, J. 1998. Beschreibung der durchforstungsbedingten Veränderung der Durchmesserverteilung in Fichtenbeständen. In Vorbereitung.
- Sterba, H.; Moder, M.; Monserud, R. 1995. Prognaus – Ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände. *Österr. Forstz.* 106, 19–20.
- Uusitalo, J. 1995. *Pre-harvest measurement of pine stands for sawing production planning*. University of Helsinki, Department of Forest Research Management. Publication No. 9.
- Wegener, G. v. 1995. Perspektiven der Holznutzung. Summary: Wood utilization prospects. *Forstw. Cbl.* 114, 97–106.
- Verfasser: Prof. Dr. K. v. GADOW, Institut für Forsteinrichtung u. Ertragskunde der Universität Göttingen, Büsgenweg 5, D 37077 Göttingen; J. PUUMALAINEN u. K. KORHONEN, Finnisches Institut für Waldforschung, Forschungsanstalt in Helsinki, Finnland.

FORSTARCHIV 69 (1998), 150–157

Entwicklung eines optimalen Stichprobenkonzepts zur langfristigen Beobachtung der Schälchadensentwicklung

O. TRISL und A. AKÇA

Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen

Kurzfassung: Die vorliegende Arbeit zeigt die Optimierung eines Schälchadeninventurkonzeptes durch Varianzanalyse auf. Es werden verschiedene Stichprobenformen varianzanalytisch untersucht und verglichen. Dieses führt zu einem Stichprobenkonzept, mit dem ein Forstbetrieb Informationen über die Schälbelastung relativ schnell und somit kostengünstig ermitteln kann. Das präferierte Konzept liefert relativ gut gesicherte Werte mit einem akzeptablen Fehler und ist somit für die Beobachtung der Entwicklung der Schälbelastung über einen längeren Zeitraum gut geeignet. Das vorgeschlagene Stichprobendesign ist eine segmentierte Klumpenstichprobe aus drei Sechs-Baum-Segmenten in Linienanordnung.

Developing an Optimized Sampling Concept for Long-term Monitoring of Peeling Damage

Abstract: The study presents an optimized concept for assessment of peeling damage by deer, based on variance analysis. Variance for different sampling methods was analysed and compared. This procedure resulted in a quick and cost effective sampling concept with which forest enterprises can acquire information concerning the extent of peeling damage. The proposed sampling concept consists of segmented cluster units, each comprising three aligned six-tree segments. This concept provides sufficiently accurate and substantiated values with an acceptable error. The method is therefore suitable for monitoring the development of peeling damage over a longer period of time.

Keywords: bark peeling, optimized concept of assessment, variance analysis, segmented cluster units, six-tree segments

Einleitung

Die Untersuchungen von Wildschäden allgemein, insbesondere aber die Arbeiten über Schälchäden sind ein emotional besetztes Thema. Während häufig von seiten des Waldbesitzes bzw. dessen Verwaltungsorganen die Wildschäden, und somit auch immer die Wildbestände, als zu hoch angesehen werden, werden von den Interessenvertretern der Jagd die Schäden durch Wild am Wald häufig als geringfügig oder nicht existent erklärt. In diesem Konflikt liegen auch die zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahrzehnte zu diesem Themenkomplex begründet, die der oftmals sehr kontrovers geführten Diskussion die argumentative Basis zu liefern versuchten. Der gemeinsame Ansatz all dieser Untersuchungen ist die Gewinnung von Informationen zu Schälbelastungen in Forstbetrieben oder Teilen von Forstbetrieben, um mit diesen Angaben Bewertungen unterschiedlichster Fragestellungen vorzunehmen. Die Er-

gebnisse der Schälchadeninventuren dienen somit als Ausgangsbasis für weitergehende Untersuchungen und Interpretationen.

Die Zielgrößen dieser Arbeiten sind vielfach ernährungsphysiologischer und ethologischer Natur, so z. B. in den Arbeiten von UECKERMANN (1954); GRONBACH (1964); KÖNIG (1968); WÖLFEL (1982); PHEIFFER (1983) und MÜLLER (1985). Ein weiterer Teil beschäftigt sich mit der Frage der wirtschaftlichen Bedeutung des Schadens durch Schälen, wie z. B. der Entwertung des Holzes durch Fäule als Sekundärschädigung, und versucht, Möglichkeit der finanziellen Bewertung aufzuzeigen sowie Angaben zu wirtschaftlich tragbaren Wildständen zu geben. Beispielhaft seien hierzu die Arbeiten von KATO (1969); SPEIDEL (1975); GERKE (1980); SEEMANN (1983) sowie KRAMER und WOMELSDORF (1985) genannt. Nur wenige Untersuchungen schließlich beschäftigen sich mit einem eigentli-

chen Inventurkonzept zur Erfassung der aktuellen Schälbelastung, so die Untersuchungen von STAGL (1984); MISCICKI (1989); MÜLLER (1992); TRISL (1992) sowie HENTIES und KO-SIEK (1995).

Das Problem der Schälchäden ist in den letzten Jahren verstärkt in den Blickwinkel der einzelnen Landesforstverwaltungen der Bundesländer getreten, nachdem die durch Schälung bedingten wirtschaftlichen Schäden immer drastischer zutage traten. Dieses führte in einigen Landesforstverwaltungen, wie in Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Sachsen sowie in der Forstdirektion Rheinhessen-Pfalz, zur Entwicklung von eigenen Inventurkonzepten zur Ermittlung der Schälbelastung, dieses nicht zuletzt auch, um dem Interessenkonflikt um Wald und Wild eine objektive Diskussionsbasis zu schaffen.

Die meisten der in der Praxis verwendeten Verfahren zur Erfassung von Schälchäden berücksichtigen die spezielle und relativ inhomogene räumliche Verteilung des Merkmals „Schälchaden“ nur unzureichend und basieren nur in einigen Fällen auf mathematischer Statistik. Häufig bedient man sich Inventurkonzepten, die sich an Erhebungen ertragskundlicher Fragestellungen anlehnen. Auch dem Anliegen einiger Forstverwaltungen, die Schälbelastung über einen längeren Zeitraum mit möglichst geringem Aufwand zu beobachten, genügen die meisten Inventurverfahren nicht.

Am Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen wurde 1990 im Rahmen zweier Diplomarbeiten begonnen, ein Stichprobenverfahren speziell zur Erhebung von Schälchäden zu entwickeln (AKÇA et al. 1993). Diese erste Inventur erfolgte im Niedersächsischen Forstamt Clausthal-Schulenberg im Harz auf temporären Probeflächen. Die dort gewonnenen Erkenntnisse fanden im Jahr 1993 Eingang in den Aufbau eines permanenten Stichprobennetzes im Niedersächsischen Forstamt Winnefeld im Solling. Hierbei kam erstmals eine segmentierte n-Baum-Stichprobe zur Anwendung.

Durch die Zusammenarbeit mit der Nordrhein-Westfälischen Landesforstverwaltung erfolgt seit Oktober 1995 im Rahmen eines Forschungsvorhabens auf Basis der bisherigen Untersuchungen die Weiterentwicklung dieses Schälchadeninventurverfahrens*.

Ziel ist ein rationelles und praktikables Schälchadeninventurkonzept, mit Hilfe dessen die Schälchadensituation auf der Ebene von Forstbetrieben eingeschätzt und die Entwicklung langfristig beobachtet werden können.

TABELLE 1

Statistische Kennwerte für das Neuschälprozent der Inventuren 1990 und 1993–1996. (1995 wurden insgesamt 13080 Probebäume aufgenommen. Die statistischen Kennwerte der Tabelle 1 berücksichtigen zur besseren Vergleichbarkeit nur die Daten einer angenommenen Stichprobe aus Sechsbäum-Segmenten bzw. 5244 Probebäumen.)

Confidence interval for the percent of new peeling damage in the inventories 1990 and 1993–1996. In 1995, 13080 trees were inventoried. The parameters depicted in table 1 only consider the data of a supposed cluster sampling comprised of segments extracted from 6 individual trees. Of the 13080 trees, for better comparison only 5244 were actually included in the statistical analysis

| Verfahrens- beschreibung | Jahr und Forstamt | 1990 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 |
|--|--|-----------------|-----------|-----------|--------------|-----------|
| | | Cl.-Schulenberg | Winnefeld | Winnefeld | Winnefeld | Winnefeld |
| Der Untersuchungsraum ist das Forstamt Winnefeld mit dem 1993 eingerichteten permanenten Stichprobennetz. Die Ver- | Stichprobenumfang | 567 | 216 | 212 | 203 | 199 |
| | Baumzahl N | 11646 | 5634 | 5508 | 5244 (13080) | 5100 |
| | Neuschälprozent (%) | 1,4 | 5,2 | 12,5 | 3,9 | 2,8 |
| | Varianz (S_p^2) | 0,0027 | 0,0069 | 0,0228 | 0,0042 | 0,0026 |
| | Standardabweichung (S_p) | 0,0524 | 0,0833 | 0,1509 | 0,0648 | 0,0513 |
| | Var. d. ges. Mittelw. (S_p^2) | 0,00001 | 0,00003 | 0,00011 | 0,00002 | 0,00001 |
| | Standardfehler (S_p)(%) | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 0,5 | 0,4 |
| | Konfidenzintervall (%) ($\alpha = 0,05$) | 1,0–1,8 | 4,0–6,4 | 10,5–14,5 | 3,1–4,8 | 2,1–3,5 |

* Für die großzügige finanzielle Unterstützung sei der Nordrhein-Westfälischen Landesforstverwaltung an

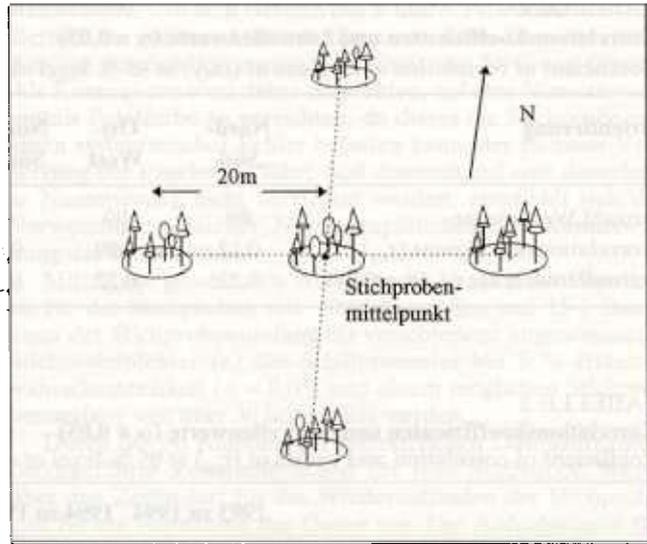


Abb. 1. Klumpungsstichprobe aus fünf Sechs-Baum-Stichprobensegmenten.

Cluster sampling comprised of five six-tree segments.

teilung der Stichprobeneinheiten erfolgte systematisch über ein Quadratnetz mit Kreuzungspunkten in einem Abstand von 200 m. Alle Kreuzungspunkte in erhebungsrelevanten Beständen stellen einen Stichprobenpunkt dar. Erhebungsrelevant sind alle buchendominierten Bestandestypen in einem Altersrahmen von 31–60 Jahre sowie alle fichtendominierten Bestandestypen in einem Altersrahmen von 16–40 Jahre. Erhoben werden jeweils alle Schälchäden des zurückliegenden Jahres (Neuschäle) sowie die über ein Jahr alten Schäden (Altschäle).

Die Stichprobeneinheit besteht aus fünf „Sechs-Baum-Stichprobensegmenten“. Die Anordnung zeigt Abbildung 1. Die einzelnen Klumpensegmente gruppieren sich in einem Abstand von 20 m in den vier Himmelsrichtungen um den

TABELLE 2

Korrelationskoeffizienten und Schwellenwerte ($\alpha = 0,05$)Coefficient of correlation and values of $(r_{x,y})$ at 95 % level of significance

| Orientierung | Nord-Süd | Ost-West | Nordost-Südwest | Nordwest-Südost |
|---|----------|----------|-----------------|-----------------|
| Anzahl Wertepaare | 89 | 89 | 64 | 64 |
| Korrelationskoeffizient ($r_{x,y}$) | 0,12 | 0,09 | 0,03 | 0,16 |
| Schwellenwert für $r_{x,y}$ ($\alpha = 0,05$) | 0,22 | 0,22 | 0,25 | 0,25 |

TABELLE 3

Korrelationskoeffizienten und Schwellenwerte ($\alpha = 0,05$)Coefficient of correlation and values of $(r_{x,y})$ at 95 % level of significance

| | 1993 zu 1994 | 1994 zu 1995 | 1995 zu 1996 |
|---|--------------|--------------|--------------|
| Anzahl Wertepaare | 210 | 203 | 190 |
| Korrelationskoeffizient ($r_{x,y}$) | 0,323 | 0,303 | 0,313 |
| Schwellenwert für $r_{x,y}$ ($\alpha = 0,05$) | 0,138 | 0,138 | 0,159 |

Stichprobenmittelpunkt im Mittelsegment. Der jeweils den einzelnen Mittelpunkten nächstgelegene Baum ist der Mittelbaum des Segmentes. Bedingt durch den Wegfall einzelner Segmente bei der terrestrischen Erhebung, handelt es sich um eine Klumpenstichprobe mit ungleicher Klumpengröße, da aus Gründen der Vereinfachung der Aufnahme auf eine Spiegelung verzichtet wird. Einzelne Segmente entfallen, wenn deren Mittelpunkte auf Nichtholzbodenflächen oder auf andere nicht erhebungsrelevante Flächen fallen.

Während der ersten Folgeaufnahme 1994 wurden auf Wunsch der Leitung des Forstamtes Winnefeld die permanente Markierung des Segmentmittelbaumes mit einem farbigen Ring in Reichhöhe und die Numerierung der einzelnen Probäume jeder Stichprobe mittels Forstfarbe vorgenommen, um das Wiederauffinden der Stichprobensegmente zu erleichtern.

Bei der zweiten Folgeaufnahme 1995 wurden zum Zweck der Optimierung der Baumzahl je Stichprobensegment 15 Bäume beobachtet. 1996 erfolgte die dritte Folgeaufnahme. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Inventuren 1990 in Clausthal-Schulenberg und 1993–1996 in Winnefeld aufgeführt. Die abnehmende Stichprobenanzahl in Tabelle 1 ist durch ein unausgeglichenes Verhältnis von ausscheidenden und aufzunehmenden Beständen bedingt, da Bestände bei Überschreiten des Altersrahmens der Schälgefährdung aus der Stichprobe ausscheiden bzw. bei Erreichen des Altersrahmens in die Stichprobe aufgenommen werden.

Unabhängigkeit einzelner Stichproben

Bei systematischen Stichproben erfolgt die Auswahl der Stichprobeneinheiten nach einem starren, vorher festgelegten Schema. Durch die gleichmäßige Verteilung wird diese Stichprobe im Vergleich zu einer einfachen Zufallsauswahl wirksamer, d. h., die Aufnahme wird einfacher, und das Ergebnis ist bei einem gegebenen Stichprobenumfang repräsentativer.

Die Schätzung des Mittelwertes systematisch verteilter Stichproben kann jedoch verzerrt sein, wenn zwischen Auswahlverfahren und den Gegebenheiten der Inventureinheit ein Zusammenhang besteht (z. B. eine etwaige Tendenz).

Die Zulässigkeit der Anwendung einer systematischen Stichprobe kann durch die Überprüfung der Unabhängigkeit benachbarter Stichproben mit Hilfe der Korrelationsanalyse kontrolliert werden.

In der vorliegenden Untersuchung erfolgte die Überprüfung mit Hilfe einer Matrix der benachbarten Stichprobeneinheiten in Nord-Süd-Richtung, Ost-West-Richtung sowie in Nordost-Südwest- und Nordwest-Südost-Richtung. Für die Matrix der so angeordneten Wertepaare wurde jeweils der Korrelationskoeffizient geschätzt und auf seine Signifikanz gegen Null überprüft (Tab. 2). Die Werte in der Tabelle 2 zeigen, daß zwischen dem Auswahlverfahren und den Gegebenheiten in der Inventureinheit kein Zusammenhang besteht, die geschätzten Korrelationskoeffizienten liegen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % jeweils deutlich unter den Schwellenwerten. Die einzelnen Nachbarstichproben sind als unabhängig voneinander zu bewerten.

Abhängigkeit der Ergebnisse einer Stichprobe aus aufeinanderfolgenden Inventuren

Der Einrichtung eines permanenten Stichprobennetzes ist dann der Vorzug zu geben, wenn zwischen den Ergebnissen aufeinanderfolgender Inventuren einer Stichprobe ein Zusammenhang besteht. Sind die Ergebnisse unabhängig voneinander, ist die Auswahl über temporäre Erhebungen zu präferieren. Es muß geprüft werden, ob die Ergebnisse der Folgeinventuren in einem wirtschaftlich vertretbarem Verhältnis zu dem Aufwand ihrer Erhebung stehen. Dieses hängt stark von dem Grad der Korrelation zwischen den zu erwartenden Werten aufeinanderfolgender Inventuren ab. Bei einer hohen Korrelation sind permanente Proben günstiger, ist die Korrelation hingegen schwach oder negativ, erscheinen temporäre Stichproben wirtschaftlicher. In Tabelle 3 sind die Abhängigkeitsverhältnisse und die Schwellenwerte für die Ergebnisse der vier Inventurjahre aus dem Forstamt Winnefeld aufgeführt. Es ist ersichtlich, daß die Korrelationskoeffizienten deutlich über den jeweiligen Schwellenwerten liegen. Es besteht somit eine Abhängigkeit zwischen den Ergebnissen einer Stichprobe aus aufeinanderfolgenden Inventuren, einer permanenten Stichprobe ist somit der Vorzug zu geben.

Statistische Grundlagen

Bei einer Klumpenstichprobe wird der Anteil eines Merkmals über Verhältnisschätzer hergeleitet (COCHRAN 1977). Bei einzelnen Stichproben mit x_i Bäumen sollen y_i Bäume als geschält beobachtet worden sein. Der Anteil der geschälten Bäume in dieser Stichprobe ist somit

$$(1) \quad p_i = \frac{y_i}{x_i}$$

wobei y_i = Anzahl der Bäume mit dem Merkmal „Schäl-schäden“ der „i-ten“ Stichprobe und
 x_i = Anzahl der Probäume der „i-ten“ Stichprobe.

In der Stichprobe ist der mittlere Anteil der geschälten Bäume für eine Befundeinheit

$$2) \quad p = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad \text{bzw.} \quad p$$

wobei \bar{y}, \bar{x} = mittlere Anzahl der geschälten Bäume bzw. die mittlere Zahl der Bäume pro Stichprobeneinheit.

Der Stichprobenschätzwert der Varianz ist

$$(1-f) \frac{1}{n(n)} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - 2p \sum_{i=1}^n y_i x_i + p^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)$$

wobei (1-f) Endlichkeitskorrektur mit $f = \frac{n}{N}$

Bei großen Populationen, bei denen $\frac{n}{N} \leq 0,005$ ist, kann die Endlichkeitskorrektur vernachlässigt werden.

Optimierung

Für die Optimierung des Stichprobenverfahrens konnten die Daten von 203 Stichproben der Inventur des Jahres 1995 mit einer auf 75 Bäume erweiterten Klumpengröße bzw. auf 15 Bäume erweiterten Segmentgröße berücksichtigt werden (vgl. Tab. 1). Für verschiedene Repräsentationsfehler wurden die Kombinationen von Stichprobenumfang und Baumzahl pro Klumpensegment und den jeweils entsprechenden Zeitbedarfswerten für die Aufnahme untersucht. Die Abbildung 2 stellt zunächst die Abhängigkeit der geschätzten Varianz von der Baumzahl pro Klumpensegment dar.

Der Grad der Veränderung der geschätzten Varianz der Population bei Veränderung der Baumzahl gibt einen ersten Hinweis auf die optimale Anzahl Probabäume pro Klumpensegment. Ab einer Baumzahl von 4 Bäumen pro Klumpensegment verändert sich die Varianz mit Zunahme jeweils eines weiteren Baumes nur noch unwesentlich. Der leichte Anstieg im Bereich von 5-6 Bäumen pro Klumpensegment könnte mit der mit Forstfarbe erfolgten Numerierung der Probabäume 1-6 im Zuge der ersten Folgeinventur 1994 zum Teil erklärt werden. So wäre es denkbar, daß die Numerierung, zumindest in einer der Markierung folgenden Phase, das Schälverhalten des Wildes verändert. Werden nun im Rahmen von Durchforstungen einzelne Probabäume eines Klumpensegmentes entnommen, müssen im Zuge der folgenden Inventur diese durch neue Bäume ersetzt werden. Fällt z.B. der Baum Nr. 3 aus, rücken die Bäume 4, 5 und 6 in ihrem Rang eine Stelle nach vorn, und ein neuer Probabaum 6 wird eingemessen. Diese neu hinzukommenden Bäume sind häufig dann die „Aus-

weichbäume“. In dem Bereich des 5. und 6. Probebaumes, dem Bereich der größten Austauschfrequenz, kann dieses zu einem Anstieg des Schälprozentes und somit der Streuung führen. Als Konsequenz wird daher empfohlen, auf eine Numerierung mittels Forstfarbe zu verzichten, da dieses die Stichprobe mit einem systematischen Fehler belasten kann, der zu einer Verzerrung der Ergebnisse führt. Soll dennoch auf eine dauerhafte Numerierung nicht verzichtet werden, empfiehlt sich die Verwendung spezieller Nummernplättchen zur Kennzeichnung der Probabäume.

Mittels der geschätzten Werte für die Varianz der Population für die Stichproben mit Segmentgrößen von 15-1 Baum kann der Stichprobenumfang für verschiedene angenommene Stichprobenfehler (e) des Schälprozentes bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit ($\alpha = 0,05$) und einem möglichen Stichprobenumfang von über 30 hergeleitet werden.

Durch die im Rahmen der terrestrischen Datenaufnahme durchgeführte Zeitstudie liegen für jede Stichprobe Werte über den Zeitbedarf für das Wiederauffinden der Stichprobe und für die Aufnahme der Daten vor. Die Aufnahmezeit für die Datengewinnung ist eine Gesamtzeit für alle 15 Bäume jedes Klumpensegmentes, 1/15tel davon stellt näherungsweise die Aufnahmezeit für einen einzelnen Baum dar.

Bei einer Ersteinrichtung einer n-Baum-Stichprobe steigt die Aufnahmezeit für jeden Baum mit seinem Rang zum Mittelpunkt überproportional an. Sind für die Folgeaufnahme die (n) Bäume der Stichprobe numeriert und somit ohne Meßaufwand zu bestimmen, ist die Aufnahmedauer für alle Bäume nahezu gleich. Bei der Erhebung 1995 sind die ersten sechs Bäume jedes Stichprobensegmentes gekennzeichnet gewesen, für die neun neu hinzugekommenen Bäumen erfolgte eine Ersteinrichtung. Die Bäume 7-15 wurden dabei jedoch nicht dauerhaft markiert. Es wurde lediglich einmalig der Abstand zum Segmentmittelbaum bestimmt. Die wahren Zeitbedarfswerte für die Aufnahme von Baum 1 bis Baum 6 steigen somit linear, ab dem 7. Baum dann leicht überproportional an. Die Verwendung der näherungsweise ermittelten Aufnahmezeiten bedeutet so für die Simulation der Zeitwerte eine geringe Überschätzung des Zeitaufwandes für die n-Baum-Stichproben mit 1-14 Bäumen pro Segment, für die Stichprobe mit 15 Bäumen pro Segment ist die Einschätzung korrekt. Für eine Optimierung des Stichprobenumfanges bedeutet dieses eine geringfügig höhere Sicherheit der Zeitbedarfswerte.

Da der Aufwand für das Wiederauffinden eines Stichprobepunktes unabhängig von der Baumzahl pro Klumpenseg-

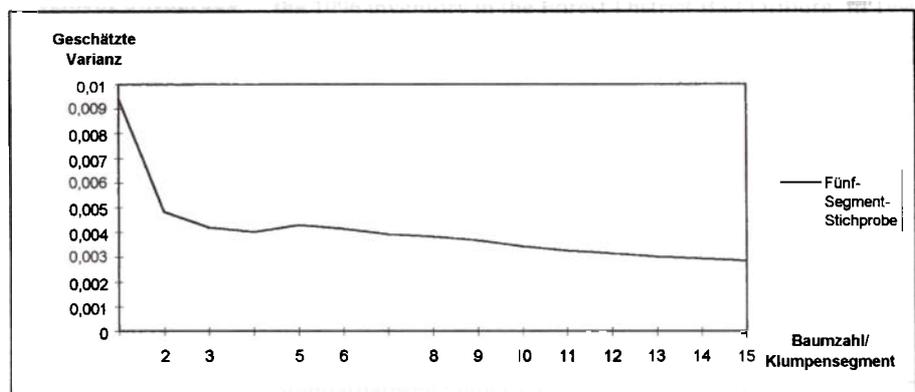


Abb. 2. Schätzung der Varianz der Population in Abhängigkeit der Baumzahl pro Klumpensegment. Estimate of variance depending on the number of trees per cluster segment.

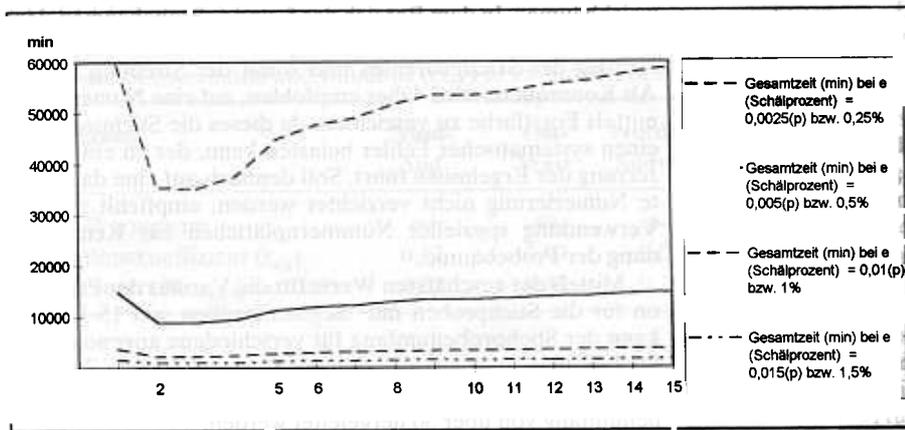


Abb. 3. Gesamtzeitaufwand (min) in Abhängigkeit der Baumzahl pro Klumpensegment bei verschiedenen, angenommenen Stichprobenfehlern des Schälprozentes ($\alpha = 0,05$).
Total time (min) depending on the number of trees per cluster segment assuming different sampling errors of peeling percent.

ment immer gleich ist, errechnet sich der mittlere Zeitbedarf pro Stichprobe für die einzelnen Klumpensegmentgrößen aus der Addition der mittleren Zeit für das Wiederauffinden der Stichprobenpunkte und der entsprechenden Anzahl mittlerer Aufnahmezeiten pro Einzelbaum. Die Zeiten für die Anfahrt zu den Stichprobenorten und Zeiten für vorbereitende Tätigkeiten sind in diesen Werten nicht mit enthalten.

Abbildung 3 zeigt als Produkt aus dem näherungsweise bestimmten mittleren Zeitverbrauch pro Stichprobe und den ermittelten Stichprobenumfängen für angenommene Stichprobenfehler den Gesamtzeitaufwand. Der Kurvenverlauf zeigt in Abhängigkeit der angenommenen Stichprobenfehler einen mehr oder weniger deutlichen unteren Wendepunkt bei 3 Bäumen pro Klumpensegment. Es läßt sich der niedrigste Gesamtzeitaufwand bei Verwendung einer Fünf-Segment-Stichprobe mit drei Bäumen pro Klumpensegment realisieren. Wie zuvor ausgeführt, läge bei Verwendung der wahren Zeitwerte der Gesamtzeitaufwand für die n-Baum-Stichproben mit 1-14 Bäumen etwas unter denen der Abbildung 3, die Sicherheit der Aussage ist somit etwas höher.

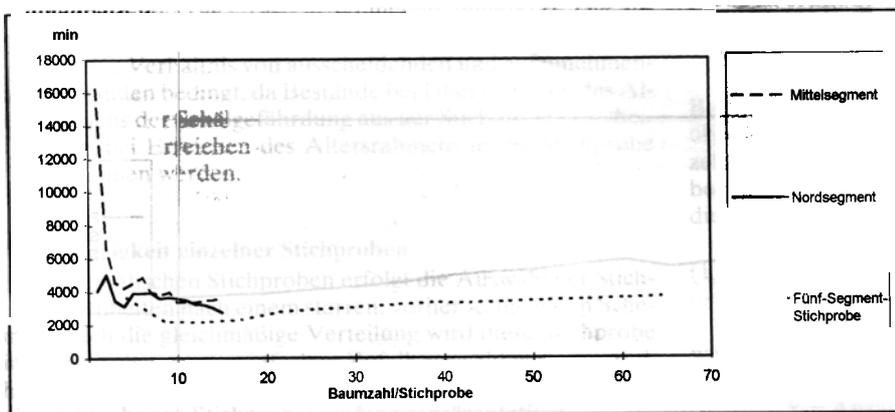


Abb. 4. Gesamtzeitaufwand (min) in Abhängigkeit der Baumzahl pro Stichprobe bei einem angenommenen Stichprobenfehler des Schälprozentes von 0,01 (p) bzw. 1 %.
Total time (min) in depending on the number of trees per sampling unit assuming a sampling error of peeling percent of 0.01 (p) or 1 %.

Einzelsegment-Stichprobe

In einem weiteren Schritt wurden die einzelnen Segmente jeder Stichprobeneinheit getrennt als einzelne Stichprobeneinheiten aufgefaßt. So können Kenntnisse über die Varianz, den notwendigen Stichprobenumfang und die damit in Verbindung stehenden Zeitbedarfswerte für die Verwendung unsegmentierter n-Baum-Stichprobeneinheiten für Schälchadeninventuren gewonnen werden. Des weiteren soll die Beobachtung verschiedener Autoren hinsichtlich eines kleinflächig geklumpten Auftretens von Schälchäden verifiziert werden (HILDEBRANDT 1959; KURTH 1964; MÜLLER 1985 u. TRISL 1992).

Dazu wurden die einzelnen Segmente der Fünf-Segment-Stichprobe als Einzel-Stichprobe betrachtet und dem zuvor beschriebenen Verfahrensgang unterzogen. Die geschätzten Stichprobenumfänge wurden mit dem geschätzten durchschnittlichen Zeitverbrauch bewertet. Hierbei wurde näherungsweise für die einzelsegmentweise Betrachtung der Stichprobeneinheiten von einem Zeitbedarfswert des der Segmentzahl entsprechenden Bruchteils jeder Stichprobeneinheit ausgegangen. Die Abbildung 4 zeigt das Ergebnis dieser Simulation für einen angenommenen Stichprobenfehler von 1 %. Auf der Abszisse ist für den direkten Vergleich der segmentierten mit den nicht segmentierten Stichprobeneinheiten die Einheit „Baumzahl pro Klumpensegment“ durch „Baumzahl pro Stichprobe“ ersetzt worden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit erfolgt bei der graphischen Darstellung der Einzelsegment-Stichproben eine Beschränkung auf das Mittel- und das Nordsegment. Die Kurven des Ost-, Süd- und Westsegmentes weisen einen mit der des Mittelsegmentes fast identischen Verlauf auf.

Der günstigste Zeitbedarf läßt sich bei der Verwendung der Fünf-Segment-Stichprobe mit im Mittel 13 Bäumen pro Stichprobe realisieren. Der im Bereich bis rd. 8 Bäume pro Stichprobe instabile Kurvenverlauf der nördlichen Einzelsegment-Stichprobe ist auf den deutlichen Einfluß der Anzahl der merkmalstragenden Bäume bzw. deren Quadratsumme auf die geschätzte Varianz bei kleinen Klumpengrößen zurückzuführen und ist zufallsbedingt. Bei nur drei zusätzlich geschälten Bäumen in den 203 Stichproben würde die Varianz und somit auch der Kurvenverlauf des Gesamtzeitaufwandes einen dem Mittelsegment ähnlichen Verlauf annehmen. Die, mit o.a. Ausnahme, über alle Baumzahlen pro Stichprobe höhere Streuung bei einzelsegmentweiser Betrachtung verifiziert die Beobachtung eines kleinflächig geklumpten Auftretens von Schälchäden. Das Ereignis „Auf-treten von Schälchäden“ wird durch eine Stichprobeneinheit mit einer weiten Fächerung des Auswahlbereiches besser erfaßt, die Streuung ist deutlich geringer. Dadurch wird ein geringerer Stichprobenumfang und somit auch

Der günstigste Zeitbedarf läßt sich bei der Verwendung der Fünf-Segment-Stichprobe mit im Mittel 13 Bäumen pro Stichprobe realisieren. Der im Bereich bis rd. 8 Bäume pro Stichprobe instabile Kurvenverlauf der nördlichen Einzelsegment-Stichprobe ist auf den deutlichen Einfluß der Anzahl der merkmalstragenden Bäume bzw. deren Quadratsumme auf die geschätzte Varianz bei kleinen Klumpengrößen zurückzuführen und ist zufallsbedingt. Bei nur drei zusätzlich geschälten Bäumen in den 203 Stichproben würde die Varianz und somit auch der Kurvenverlauf des Gesamtzeitaufwandes einen dem Mittelsegment ähnlichen Verlauf annehmen. Die, mit o.a. Ausnahme, über alle Baumzahlen pro Stichprobe höhere Streuung bei einzelsegmentweiser Betrachtung verifiziert die Beobachtung eines kleinflächig geklumpten Auftretens von Schälchäden. Das Ereignis „Auf-treten von Schälchäden“ wird durch eine Stichprobeneinheit mit einer weiten Fächerung des Auswahlbereiches besser erfaßt, die Streuung ist deutlich geringer. Dadurch wird ein geringerer Stichprobenumfang und somit auch

ein niedrigerer Gesamtzeitaufwand bei gleichem angenommenen Stichprobenfehler möglich.

Dieses verdeutlicht auch die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Inventur 1990 im Forstamt Clausthal-Schulenberg auf Basis von konstanten Probekreisen (Radius 12,62 m = 500 m²) und der Ergebnisse der Inventuren 1993-1996 im Forstamt Winnefeld (Tab. 1). Trotz eines um rd. 2/3 geringeren Stichprobenumfangs (567 in Clausthal-Schulenberg, jeweils rd. 200 in Winnefeld) ist das Verhältnis des Standardfehlers zum Neuschälprozent, der mittlere prozentuale Fehler, in Winnefeld gleich bzw. geringer als bei der Inventur in Clausthal-Schulenberg.

Drei-Segment-Stichprobe

Die Aufnahme einer sternförmigen Fünf-Segment-Stichprobe verursacht, bedingt durch Hin- und Rückwegstrecken zwischen den Segmenten während der Aufnahme am Stichprobenpunkt, einen höheren Zeitaufwand pro Segment als eine Stichprobenform, bei der sich die Segmente nur entlang einer ideellen Geraden orientieren. Der Zeitaufwand für die Datenaufnahme der Fünf-Segment-Stichprobe ist zudem mit einem hohen Anteil Einmeßzeit für Peilung der rechten Winkel belastet. Eine Linienanordnung der Segmente könnte diesen überflüssig machen.

Aus diesem Grund soll in einem letzten Schritt die Überprüfung der statistischen Parameter der drei möglichen „Drei-Segment-Stichproben“ in Linienanordnung erfolgen. Es werden, ausgehend von der Fünf-Segment-Stichprobe, zunächst das Nord-, Mittel- und Südsegment, dann das West-, Mittel- und Ostsegment und schließlich eine alternierende Kombination dieser beiden Drei-Segment-Stichproben berücksichtigt und dem oben beschriebenen Verfahrensgang unterzogen. Dabei wird näherungsweise von einem Zeitbedarf von drei Fünftel der Fünf-Segment-Stichprobe ausgegangen. Die Abbildung 5 zeigt als Ergebnis dieser Simulation den Gesamtzeitaufwand in Abhängigkeit der Baumzahl pro Stichprobe.

Der günstigste Zeitverbrauch ist erneut durch die Fünf-Segment-Stichprobe mit im Mittel 13 Bäumen pro Stichprobe zu erreichen. Zu bedenken ist hierbei jedoch, daß die verwendeten Zeitbedarfswerte für die Drei-Segment-Stichprobe näherungsweise ermittelt sind und somit den wahren Zeitbedarf deutlicher überschätzen, als dieses bei der einzelsegmentweisen Betrachtung erfolgte, da die Aufmeßzeit einer Drei-Segment-Stichprobeneinheit mit einem geringeren Anteil Wegezzeiten zwischen den einzelnen Segmenten und geringeren Zeiten für die Peilung belastet ist. Somit ist dieses Ergebnis aufgrund der verwendeten Zeitbedarfswerte an dieser Stelle nur als Tendenz aufzufassen, der wahre Zeitaufwand für die Datenaufnahme von drei Segmenten am Stichprobenort wird niedriger sein, so daß sich der Zeitbedarf zugunsten der Drei-Segment-Stichprobe verschieben wird.

Schälsschadeninventur im Forstamt Bad Driburg

Die anhand der Daten eines Forstamtes gewonnenen Erkenntnisse sollten in einer ersten Inventur in einem anderen Forstbetrieb verifiziert werden, d. h., die Fünf- bzw. die Drei-Seg-

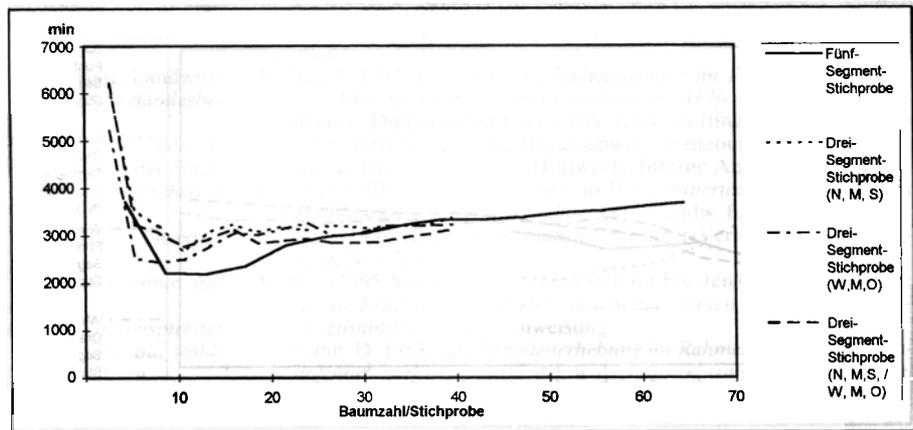


Abb. 5. Gesamtzeitaufwand (min) in Abhängigkeit der Baumzahl pro Stichprobe bei einem angenommenen Stichprobenfehler des Schälprozentes von 0,01 (p) bzw. 1 %. Total time (min) in relation to the number of trees per sampling unit assuming a sampling error of peeling percent of 0.01 (p) or 1 %.

ment-Stichproben wurden unter anderen Bedingungen getestet.

Im September 1996 erfolgte dazu die Installation eines permanenten Stichprobennetzes mit systematisch verteilten Stichprobeneinheiten im Staatl. Forstamt Bad Driburg in Nordrhein-Westfalen. Der Stichprobenaufbau wurde dabei aufgrund der in Winnefeld gewonnenen Erkenntnisse modifiziert. Der Stichprobenpunkt liegt nun nicht mehr im Mittelsegment, sondern ist der Mittelpunkt des südlichen Segmentes. Es wurden nur noch acht Bäume pro Klumpensegment aufgenommen. Nach dem Einmessen des Stichprobenpunktes, Einrichten des Südsegmentes und der Aufnahme der Probebäume erfolgten das Einmessen des Mittel- und des Nordsegmentes.

TABELLE 4

Statistische Kennwerte für das Neuschälprozent der Inventur 1996 im Staatl. Forstamt Bad Driburg. (1996 wurden insgesamt 7040 Probepflanzen aufgenommen. Die statistischen Kennwerte der Tabelle 4 berücksichtigen zur besseren Vergleichbarkeit nur die Daten einer angenommenen Stichprobe aus Sechsbäum-Segmenten bzw. 5268 Probepflanzen.)

Confidence interval for the percent of new peeling damage of the 1996 inventory in the Forest District Bad Driburg. In 1996, 7040 trees were inventoried. The parameters depicted in table 4 only consider the data of a supposed cluster sampling comprised of segments extracted from 6 individual trees. Of the 7040 trees, for better comparison only 5268 were actually included in the statistical analysis

| Jahr | 1996 |
|--|-------------|
| Stichprobenumfang | 189 |
| Gesamtbaumzahl N | 5268 (7040) |
| mittlere Baumzahl/Stichprobe | 27,9 |
| Neuschälprozent (%) | 1,9 |
| Varianz (S_p^2) | 0,0025 |
| Standardabweichung (S_p) | 0,05 |
| Varianz d. ges. Mittelwertes ($S_{\bar{p}}^2$) | 0,000013 |
| Standardfehler ($S_{\bar{p}}$) (%) | 0,4 |
| Konfidenzintervall (%) ($\alpha = 0,05$) | 1,2-2,6 |

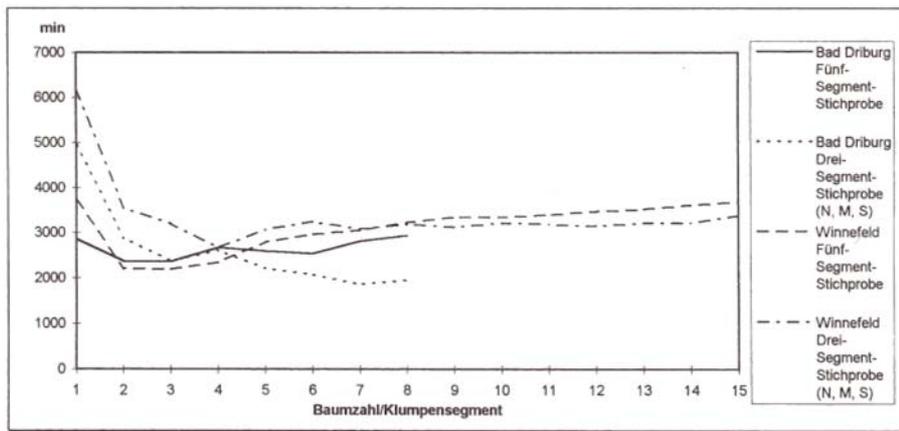


Abb. 6. Gesamtzeitaufwand (min) in Abhängigkeit der Baumzahl pro Klumpensegment bei einem angenommenen Stichprobenfehler des Schälprozentes von 0,01 (p) bzw. 1 % aus Daten der Forstämter Winnefeld und Bad Driburg.
Total time (min) in relation to the number of trees per cluster segment assuming a sampling error of peeling percent of 0.01 (p) or 1 %, based on of data taken from the Forest Districts Winnefeld and Bad Driburg.

Hier wurde eine Zwischenzeit genommen, um realistische Zeitbedarfswerte für die Drei-Segment-Stichprobe zu erhalten. Daraufhin wurden das Ost- und das Westsegment aufgenommen und eine Gesamtzeit ermittelt.

Für die Auswertung dieser Inventur konnten 189 Stichprobepunkte berücksichtigt werden. Die Ergebnisse dieser Inventur sind in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Der Verfahrensgang der Optimierung entspricht dem zuvor vorgestellten. Die Abbildung 6 berücksichtigt jeweils die Ergebnisse der Drei- und der Fünf-Segment-Stichproben aus den Forstämtern Winnefeld und Bad Driburg. Der geringste Gesamtzeitaufwand läßt sich in Bad Driburg unter Verwendung terrestrisch ermittelter Zeitbedarfswerte durch die Drei-Segment-Stichprobe mit 6–8 Bäumen pro Klumpensegment erreichen und zeigt deutlich den Vorteil einer Linienanordnung der Segmente hinsichtlich des Zeitbedarfs auf (Abb. 6).

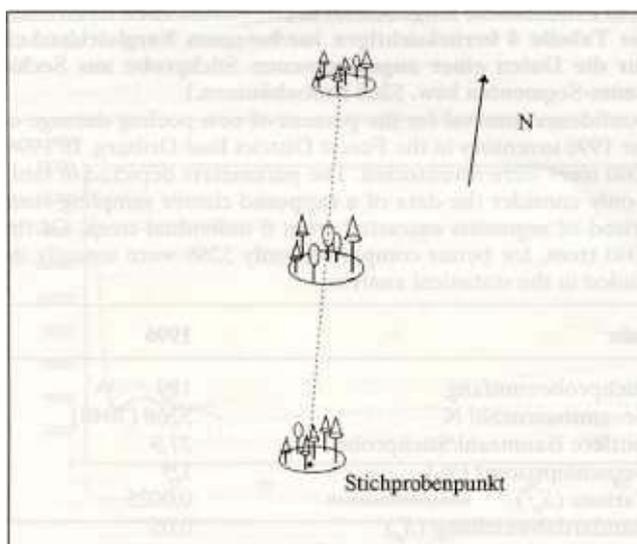


Abb. 7. Klumpenstichprobe aus drei Sechs-Baum-Stichprobensegmenten.
Cluster sampling comprised of three six-tree segments.

Die Kurven des Gesamtzeitaufwands für die Aufnahme einer Fünf-Segment-Stichprobe sind in beiden Forstämtern in ihrem Verlauf angenähert. Für die Drei-Segment-Stichprobe aus Winnefeld liegt der Zeitbedarf ab 4 Bäumen pro Klumpensegment ähnlich hoch wie der der Fünf-Segment-Stichproben. Dieses ist bedingt durch die simulierten Zeitbedarfswerte, die den wahren Zeitbedarf für die Drei-Segment-Stichprobe deutlich überschätzen. Unter Verwendung wahrer, terrestrisch erhobener Zeitbedarfswerte für die Drei-Segment-Stichprobe wird die reale Zeitersparnis nun deutlich sichtbar. Es lassen sich niedrigere Zeitbedarfswerte bei relativ größeren Klumpengrößen durch Minimierung der zeitintensiven Wegestrecken zwischen den Segmenten erreichen.

Diskussion

Für die Praxis wird unter Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse aus beiden Optimierungsgängen eine Drei-Segment-Stichprobe mit einer Baumzahl von 6 Bäumen pro Klumpensegment empfohlen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit des Verbleibens eines oder mehrerer Elemente pro Klumpensegment nach Durchforstungseingriffen hoch und erleichtert somit das Wiederauffinden des Klumpensegments bei Folgeaufnahmen. Dabei erscheint es unerheblich, ob eine Nord-Süd-Orientierung, eine West-Ost-Orientierung bzw. eine Kombination beider bei der Anordnung der Segmente gewählt wird.

Für eine Forstverwaltung, die in regelmäßigen Abständen einen Überblick über Höhe und Veränderungen der Schälbelastung erhalten möchte, scheint dieses Verfahren sehr gut geeignet. Es liefert relativ gut gesicherte Werte mit einem akzeptablen Fehler und ist zeit- und somit kostengünstig durchführbar.

Der Zeitaufwand für die Installation eines permanenten Stichprobennetzes mit rd. 100 Stichprobepunkten und die Datenaufnahme auf der Ebene eines Forstamtes beträgt bei Verwendung der Drei-Segment-Stichprobe inkl. Fahrzeiten zwischen den Punkten rd. 50 Std. im Zwei-Personen-Trupp. Bei Berücksichtigung der notwendigen Vorarbeiten einer terrestrischen Inventur ist ein Zeitmehrbedarf von rd. 15 % anzusetzen.

Für die Folgeaufnahmen kann von einem um ein Drittel bis zur Hälfte niedrigeren Gesamtzeitaufwand ausgegangen werden. Dieses hängt von der Größe des Aufnahmetrupps (Ein-Person-Trupp bzw. Zwei-Personen-Trupp) und dem Aufwand für das Einmessen und die Numerierung der im Rahmen von Durchforstungseingriffen entnommenen Bäumen ab. Die Form der vorgeschlagenen Stichprobe ist in der Abbildung 7 abschließend schematisch dargestellt.

Literatur

Akça, A.; Müller, J.; Trisl, O. 1993. Zur Erfassung von Schälchäden mit Hilfe temporärer Probeflächen, dargestellt am Forstamt Clausthal-Schulenberg. *Forst u. Holz* 48, 608–612.

- Baden-Württemberg 1995. Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Schreiben vom 03.11.95, Az.: 55-9214.00.
- Bayern 1990. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. *Anleitung zur Waldinventur und Bestandesbeschreibung*. Interne Anweisung.
- Bayern 1991: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. *Stichprobenverfahren zur Erfassung der Situation der Waldverjüngung sowie des Verbisses und der Fegeschäden durch Schalenwild*. Interne Anweisung.
- Cochran, W. G. 1977 *Sampling techniques*. Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Forstdirektion Rheinhessen-Pfalz 1987. *Schälsschadeninventur auf Stichprobenbasis*. Vorläufiger, unveröff. Bericht.
- Gerke, R. 1980 *Bewertung von Schälsschäden dargestellt am Beispiel der Fichte. Großräumige Erhebung betriebswirtschaftlicher und waldbaulicher Auswirkungen*. Diss. Forstl. Fak. Univ. Freiburg.
- Gronbach, G. 1964. *Die Gehalte der Rinden verschiedener Baumarten an organischen Substanzen*. Diss. Landw. Hochschule Hohenheim.
- Henties, U.; Kosiek, A. 1995. *Entwicklung einer Inventurmethode zur Erfassung von Schälsschäden in der Betriebsebene am Beispiel des Solling-Forstamtes Winnefeld*. Diplomarbeit Forstl. Fak. Univ. Göttingen.
- Hessen 1992. Ministerium des Innern und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz. *Richtlinie für die Hege und Bejagung des Rotwildes in Hessen*. Staatsanzeiger für das Land Hessen, Nr. 36/744, 2147–2149.
- Hildebrandt, G. 1959. Beobachtungen über die Verteilung des Schälsschadens in Fichtenbeständen. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 130, 213–218.
- Kato, F. 1969. Stammfäuleschäden der Fichte. *Forstarchiv* 40, 81–92.
- König, E. 1968. *Der Einfluß des jahresperiodischen Verlaufs des Wasser- und Zuckergehaltes einiger Baumrinden auf das Schälen durch Rotwild*. Diss. Forstl. Fak. Univ. Freiburg.
- Kramer, H.; Womelsdorf, G. 1985. Vermehrter Schneebruch durch Rotwildschäden im Nordschwarzwald. *Forst u. Holz* 40, 475–480.
- Kurth, A. 1964. Wildschadenermittlung im Kanton Schwyz. *Schweiz. Z. Forstw.* 115, 1–13.
- Miscicki, S. 1989. Die Wildschadenserfassung in der Jungwaldfläche von Forstbetrieben und einzelnen Beständen. *Schweiz. Z. Forstw.* 140, 389–397.
- Müller, G. 1985. *Beiträge zur Erfassung und Ursachenanalyse von Rotwildschälung im Nordschwarzwald*. Diss. Forstl. Fak. Univ. Freiburg.
- Müller, J. 1992. *Rotwildschälsschadeninventur im Forstamt Clausthal-Schulenberg auf Revierförsterebene mit Hilfe temporärer Probestflächen*. Diplomarbeit Forstl. Fak. Univ. Göttingen. Niedersachsen 1995. Bezirksregierung Braunschweig. Erhebung von Schälsschäden an Buche und Fichte (Entwurf). Interne Anweisung.
- Pheiffer, J. 1983. *Untersuchungen zur Winterfütterung des Rotwildes im Hinblick auf das Schälverhalten*. Diss. Landw. Fak. Univ. Bonn.
- Sachs, L. 1992. *Angewandte Statistik*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Sachsen 1995. Sächsische Landesanstalt für Forsten Graupa. *Verfahren für die Erhebung von Verbiß- und Schälsschäden sowie des Vegetationszustandes*. Interne Anweisung.
- Seemann, D. 1983. *Schälsschadenerhebung im Rahmen einer Großrauminventur zur Ermittlung der wirtschaftlich tragbaren Wilddichte*. Diss. Forstl. Fak. Univ. Freiburg.
- Speidel, G. 1975. Schalenwildbestände und Leistungsfähigkeit des Waldes als Problem der Forst- und Holzwirtschaft aus der Sicht der Forstökonomie. *Allg. Forstz.* 30, 247–250.
- Stagl, W. G. 1984. Eine Methode, den Einfluß des Wildes auf den Wald erfassen zu können: „Trakterhebung“. *Cbl. ges. Forstwesen* 101, 232–248.
- Trisl, O. 1992. *Rotwildschälsschadeninventur im Forstamt Clausthal-Schulenberg mit Hilfe temporärer Probestflächen*. Diplomarbeit Forstl. Fak. Univ. Göttingen.
- Trisl, O. 1998. *Untersuchung zur Entwicklung eines optimierten Stichprobenverfahrens für die langfristige Beobachtung der Schälsschadensituation*. Diss. Forstl. Fak. Univ. Göttingen.
- Ueckermann, E. 1954. Die Vitamingehalte der wichtigsten Baumrinden und deren möglicher Einfluß auf das Schälen des Rotwildes. *Int. Zeitschrift f. Vitaminforschung* 25, 379–384.
- Wölfel, H. 1982. Rotwildschäden am Forst: Ursachen und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung. *Nds. Jäger* 21, 1028–1031.

Verfasser: Dr. O. TRISL, Prof. Dr. A. AKÇA, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen, Büsgenweg 5, D 37077 Göttingen.