

Modifizierung des Stammabstandsverfahrens zur Verbesserung der Stammzahl- und Grundflächenschätzung

A. POMMERENING* und M. SCHMIDT**

*Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München¹

**Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen

Kurzfassung: Der vorliegende Beitrag enthält die Ergebnisse von Untersuchungen zur Modifizierung des Stammabstandsverfahrens mit dem Ziel, die Stammzahl- und Grundflächenschätzung zu verbessern. Als Datengrundlage wurden drei in bezug auf ihre Strukturverhältnisse sehr unterschiedliche Bestände ausgewählt. Diskutiert wird ein Verfahren, das den Bias der Stammzahl- und Grundflächenschätzung unter bestimmten Voraussetzungen senkt und den Aufwandaufwand im Gelände verringert.

Modifications of the Distance Method for Improved Estimates of Stem Basal Area

Abstract: The paper presents research results about a sampling procedure known as modified distance method, the objective of which was to improve basal area and stem number estimates. For this purpose, three stands were selected, two of which show extremes in their structural parameters. Under certain conditions, the methods discussed reduce the bias of stem-number and basal area estimates and provide cost-effective terrestrial inventory methods.

Keywords: forest growth, terrestrial inventory, distance method, stem number, basal area

Einleitung

Das Stammabstandsverfahren basiert auf der Messung von Baum-Baum-Abständen. Es wurde im 19. Jahrhundert entwickelt und für die Bestandesgrundflächenermittlung vorgeschlagen (KÖNIG 1864; KÖHLER 1951; KRAMER u. AKÇA 1995, S. 93 ff.).

Bei Anwendung dieses Stichprobenverfahrens wird mit Hilfe der Abstände e_2 und e_3 zum zweit- und drittnächsten Nachbarbaum des Nullbaumes ein mittlerer Standraum pro Baum und über diesen ein Stammzahlschätzer hergeleitet. Dieser Stammzahlschätzer dient wiederum als Eingangsgröße zur Herleitung eines Grundflächenschätzers. Eine schematische Darstellung des Aufnahmeverfahrens zeigt Abbildung 1. Schon früh wurde erkannt, daß das Auswahlverfahren in Beständen, in denen der gemittelte Abstand zum zweiten und dritten Nachbarbaum nicht dem mittleren Baum-Baum-Abstand entspricht, zu einem mehr oder weniger hohen Bias führen kann, der z. T. größer als der Stichprobenfehler ist. Die Schätzung der Stammzahl pro ha mit Hilfe der Abstände zum zweit- und drittnächsten Nachbarn wurde empirisch hergeleitet und beruht auf keiner reproduzierbaren Gesetzmäßigkeit. Köhler, Bauernsachs und andere haben aus diesem Grund wiederholt die Formel zur Stammzahlberechnung modifiziert und mit Korrekturfaktoren versehen, um bessere Schätzergebnisse zu erzielen. Die Werte dieser Korrekturfaktoren und die Variationen der Stammzahlschätzung sind mit Unsicherheiten behaftet. In die Berechnung der Grundfläche geht beim herkömmlichen Stammabstandsverfahren (KÖHLER 1951) die Summe der Grundflächen der Nullbäume bzw. die mittlere Grundfläche als Schätzer für den Bestandesgrundflächenmittelstamm ein. Wenn die Standräume der Bäume eines Bestandes stark variieren, kommt zum Bias der Stammzahlschätzung eine weitere Verzerrung bei der Schätzung der Grundfläche durch die bevorzugte Auswahl von Nullbäumen mit großem Standraum hinzu.

Ein Baum gelangt in die Stichprobe, wenn der Stichprobenpunkt in den Standraum dieses Baumes fällt. Somit ist die Auswahlwahrscheinlichkeit eines Baumes proportional zu seinem Standraum. Unter der Annahme, daß dicke Bäume

einen größeren Standraum haben als dünne, folgt daraus, daß Bäume mit größerem Brusthöhendurchmesser mit höherer Wahrscheinlichkeit in die Stichprobe gelangen als Bäume mit kleinerem Durchmesser. Dieses Phänomen führt zu einer Überschätzung des Grundflächenmittelstamms. Der größere Standraum und damit die über den Bestandesmittelwerten liegenden Werte für die Abstände e_2 und e_3 dieser Bäume führen gleichzeitig zu einer Unterschätzung der Stammzahl. Da sowohl der Stammzahlschätzer als auch der aus der geschätzten Durchmesser-Verteilung abgeleitete Grundflächenmittelstamm in die Ermittlung der Grundfläche eingehen, kann die Grundfläche je nach Bestandesstruktur unter- oder überschätzt werden. Die Untersuchungen von LOHL et al. (1994) und POMMERENING (1997) zeigten, daß sich der Bias erheblich senken läßt, wenn zur Stammzahl- und Grundflächenschätzung alle vier Bäume eines Probekollektivs herangezogen werden und nicht nur der Nullbaum, wie Köhler ursprünglich vorschlug. Vorläufigen Simulationsstudien zufolge tritt eine Verzerrung beim herkömmlichen Verfahren besonders stark in plenterwaldähnlichen Beständen auf, in denen sich die unterschiedlichsten Baumdimensionen und -arten auf kleinstem Raum befinden oder die Bestandesfläche nicht homogen bestockt ist.

Motivation

Im Zusammenhang mit den räumlichen Strukturinformationen Arten-Durchmischung, Durchmesser-Differenzierung und Individual-Abstand (GADOW u. FÜLDNER 1992; POMMERENING 1997, S. 7 ff.) gewinnt das Stammabstandsverfahren erheblich an Bedeutung. Da den Strukturparametern ebenfalls Nachbarschaftsverhältnisse zugrunde liegen, ist das Verfahren für die kombinierte Inventur herkömmlicher Bestandesparameter und räumlicher Strukturinformationen sehr geeignet. Die konstante Anzahl von vier Bäumen pro Klumpen entspricht der Recheneinheit *Strukturelle Vierergruppe* (FÜLDNER 1995, S. 69), was bei der Sechs-Baum-Stichprobe (PRODAN 1968) nicht der Fall ist. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist die große Anpassungsfähigkeit an die jeweilige Inventurzielsetzung. Das Verfahren bietet dem Anwender ein hohes Maß an Flexibilität bei der Auswahl der zu erfassenden Parameter, und es erlaubt auch eine Beschränkung auf die Erfassung von

¹ Dr. A. POMMERENING war von 1994 bis 1997 am Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig und wechselte am 1. September 1997 zum Lehrstuhl für Waldwachstumslehre der Universität München.

Subpopulationen, wie etwa die Erfassung nur der Hauptbaumart, der herrschenden Bestandesschicht oder eines Z-Baum-Kollektivs (FÜLDNER 1996, S. 13 ff.); POMMERENING 1997 S. 32 ff.).

Die Untersuchungen von POMMERENING (1997) berechtigen zu der Annahme, daß das Stammabstandsverfahren mit Erfassung der Baumattribute der drei Nachbarbäume als Methode der Bestandesinventur eine hohe theoretische und praktische Eignung aufweist. Bei Stichprobensimulationen und anschließenden Wirksamkeitsvergleichen in einer großen Palette von unterschiedlichen Beständen konnte festgestellt werden, daß der Gesamtfehler, bestehend aus Stichprobenfehler und Bias, für viele forstliche Zielgrößen meistens geringer ist als bei Verwendung des konkurrierenden Probekreisverfahrens bzw. der gekluppten Winkelzählprobe. Ursache dafür sind die vielen Stichprobenpunkte mit kleinem Probandenumfang, die beim Stammabstandsverfahren im Gegensatz zu den wenigen Stichprobenpunkten mit großem Probandenumfang der beiden anderen Verfahren ausgebracht werden.

Das Stammabstandsverfahren ermöglicht je nach Fragestellung auch die quantitative Erfassung eines Durchforstungseingriffes im Sinne einer Eingriffsinventur (GADOW u. STÜBER 1994) und eignet sich deshalb besonders für die Selbstkontrolle des Betriebsbeamten beim Auszeichnen von Beständen. Bei der Eingriffsinventur wird an ein und denselben Stichprobenpunkten gleichzeitig eine *abhängige Folgeinventur* durchgeführt, was nicht nur den Inventuraufwand senkt, sondern zusätzlich den Stichprobenfehler verringert. Die wiederholte Aufnahme identischer Einheiten führt in der Regel zu einer kleineren Varianz der erfaßten Zielgröße als bei unabhängigen Stichproben, da sich die zweifache Kovarianz subtrahieren läßt (SABOROWSKI 1993, S. 22). Mit Hilfe dieses leicht auch als „Zwei-Mann-Inventur“ durchzuführenden Verfahrens kann sich der auszeichnende Förster bereits vor dem tatsächlichen Eingriff über die Folgen seiner Maßnahme informieren.

Das Stammabstandsverfahren gehört wie die Winkelzählprobe, das Probekreisverfahren und die Sechsbäumstichprobe zum *Methoden-Cocktail* der *Bestandesinventur*. Den ausgeführten Vorteilen des Stammabstandsverfahren steht der grundsätzliche Nachteil der nicht erwartungstreuen Schätzung von Stammzahl und Grundfläche gegenüber. Die Verbesserung der Schätzergebnisse durch Nutzung aller vier Bäume eines jeden Stichprobenpunktes als Datengrundlage ergab sich aus den Untersuchungen von POMMERENING (1997). Eine weitere Option soll in diesem Beitrag untersucht werden.

Substitution der Stammzahl- und Grundflächenschätzer

Eine plausible Verbesserung der nicht erwartungstreuen Schätzungen besteht darin, die Vorteile des Stammabstandsverfahrens und der Winkelzählprobe miteinander zu kombinieren. In diesem Fall mißt man die Grundfläche mit Hilfe der Winkelzählprobe² (WZP). Der Durchmesser des Grundflächenmittelstamms wird mit dem Stammabstandsverfahren *geschätzt*, und beide Größen werden in folgende Formel eingesetzt:

$$(1) \hat{N}_{ha} = \frac{40000}{\pi} \cdot \frac{\hat{G}_{ha}}{\hat{d}_g^2}$$

wobei

\hat{G}_{ha} = erwartungstreuer Grundflächenschätzer der Winkelzählprobe (in m² pro ha)

² Für diese Untersuchung wurde die Zählbreite 1 gewählt.

\hat{d}_g = Schätzer für den Durchmesser des Grundflächenmittelstamms aus der Kluppliste des Stammabstandsverfahrens (in cm)
 \hat{N}_{ha} = Stammzahlschätzer des kombinierten Verfahrens (Stammabstand + Winkelzählprobe)

Dieses *Mischverfahren* SWZ wurde an drei Beständen mit Hilfe des Simulationsprogramms WaldSim (LEWANDOWSKI u. POMMERENING 1996) getestet. Die Biaswerte der Stammzahlschätzung können durch Simulationsstudien ermittelt werden. Abgesehen von einer möglichen Verbesserung der Stammzahlschätzung, kann auf die zeitintensive Messung der Baum-Baum-Abstände verzichtet werden. Da die Grundfläche stets mit dem erwartungstreuen Verfahren der Winkelzählprobe geschätzt wird, kann diese Zielgröße mit dem kombinierten Verfahren SWZ *theoretisch* stets biasfrei ermittelt werden. Die baumartenspezifischen Grundflächen- und Stammzahlanteile werden mit Hilfe der Grundflächen- und Baumartenzusammensetzung des Stammabstandsverfahrens ermittelt.

Methodik

Bei verzerrten Schätzungen ist der Bias $\neq 0$, so daß der Stichprobenfehler zur Beurteilung der Schätzgüte nicht ausreichend ist. Der Bias ist gemäß Formel (2) definiert als Differenz zwischen dem wahren Mittelwert (θ) und dem Simulationsmittel, das näherungsweise dem Erwartungswert des Schätzers entspricht ($\approx E\hat{\theta}$).

$$(2) \text{Bias } \hat{\theta} = E\hat{\theta} - \theta$$

wobei

θ = wahre Zielgröße der Grundgesamtheit

$\hat{\theta}$ = Schätzer der wahren Zielgröße

Demnach führen Überschätzungen des wahren Mittelwertes zu einem positiven und Unterschätzungen zu einem negativen Bias. Hat man es mit verzerrten Schätzern zu tun, so wird anstelle der Varianz häufig die *mittlere* (zu erwartende) *quadratische Abweichung* des Schätzers vom zu schätzenden Parameter angegeben. Dieser mittlere quadratische Fehler (MSE = mean square error) ergibt sich aber auch aus Varianz und Bias entsprechend Formel (3).

$$(3) \text{MSE}(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta} - \theta)^2 = \text{Var}\hat{\theta} + \text{Bias}^2\hat{\theta} = E(\hat{\theta} - E\hat{\theta})^2 + (E\hat{\theta} - \theta)^2$$

Im Rahmen der Auswertung wird das Fehlermaß für Mittelwerte als Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMSE) berechnet. Dieser RMSE (root mean square error) wird häufig durch den wahren Mittelwert θ dividiert. So wird mit Formel (4) dargestellt, welchen Anteil der Fehler an der zu schätzenden Größe hat.

$$(4) r. \text{RMSE}(\hat{\theta}) = \frac{\sqrt{E(\hat{\theta} - E\hat{\theta})^2 + (E\hat{\theta} - \theta)^2}}{\theta}$$

Die Division durch den wahren Mittelwert θ ermöglicht den Vergleich mit den Fehlern anderer Zielgrößen. Außerdem erlaubt diese Darstellung, in Verbindung mit dem r. RMSE den Einfluß der beiden Komponenten auf den Gesamtfehler unmittelbar zu quantifizieren.

In analoger Weise werden der relative Stichprobenbias (r. Bias) und die relative Stichprobenstandardabweichung (r. SD) berechnet.

$$(5) r. \text{Bias} = \frac{E\hat{\theta} - \theta}{\theta}$$

$$(6) r. \text{SD} = \frac{\sqrt{E(\hat{\theta} - E\hat{\theta})^2}}{\theta}$$

Abbildung 1. Schematische Darstellung der Durchführung des Stammabstandsverfahrens in einem hypothetischen Buchen-Eschen-Bestand. Der dem Stichprobenpunkt am nächsten gelegene Baum wird auch als „Nullbaum“ bezeichnet. Design of the distance method, performed in a hypothetical beech/ash stand. The tree nearest to the sampling point is also called „reference tree“.

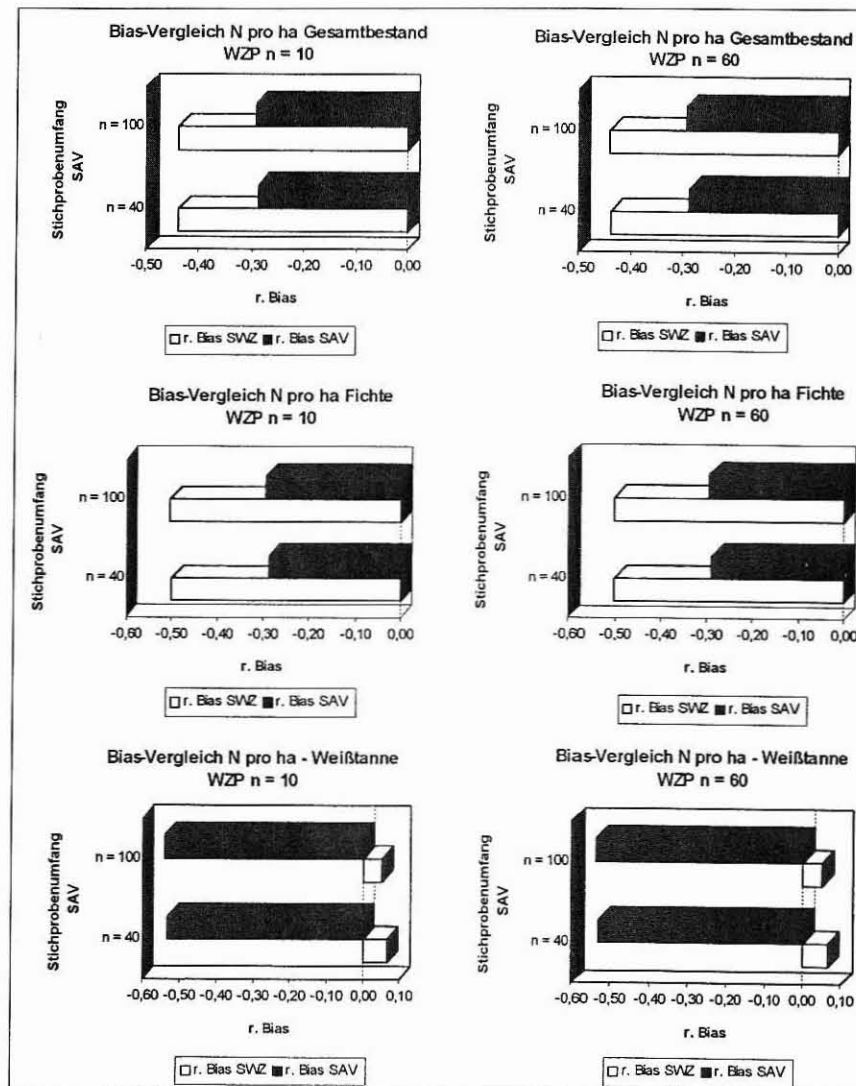
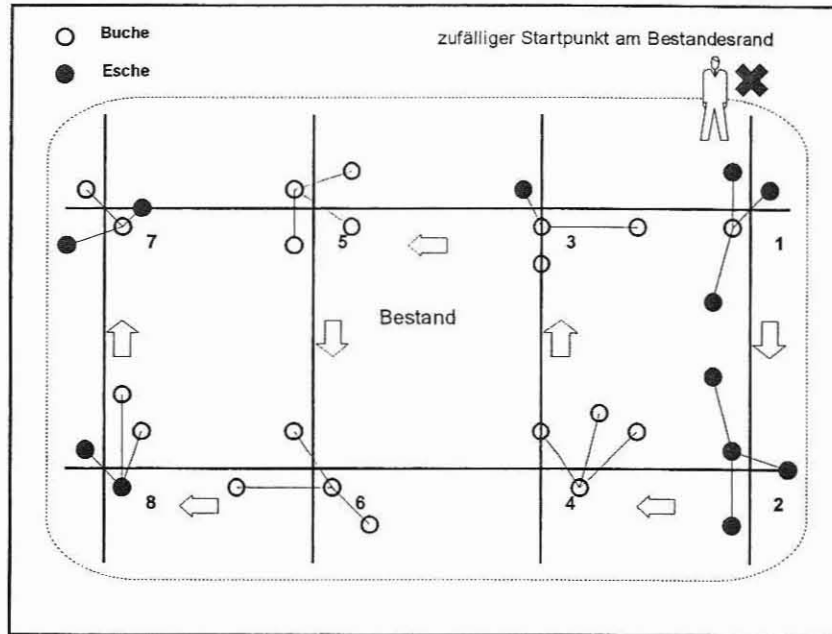


Abbildung 2. Vergleich der Biaswerte der Stammzahlschätzung für den bayerischen Plenterbestand. Comparison of bias values of the stem-count estimates obtained for the Bavarian selectively managed forest.

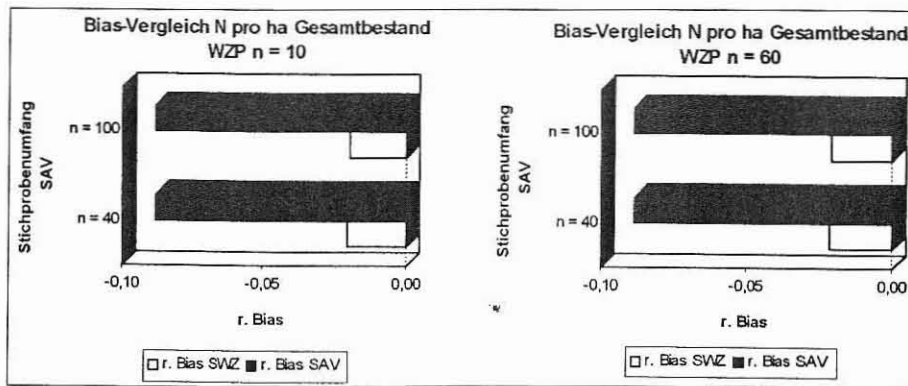


Abbildung 3. Vergleich der Biaswerte der Stammzahlschätzung für den homogenen Fichtenreinbestand des Harzes.

Comparison of bias values of the stem-count estimates obtained for the homogeneous spruce stand located in the Harz Mountains.

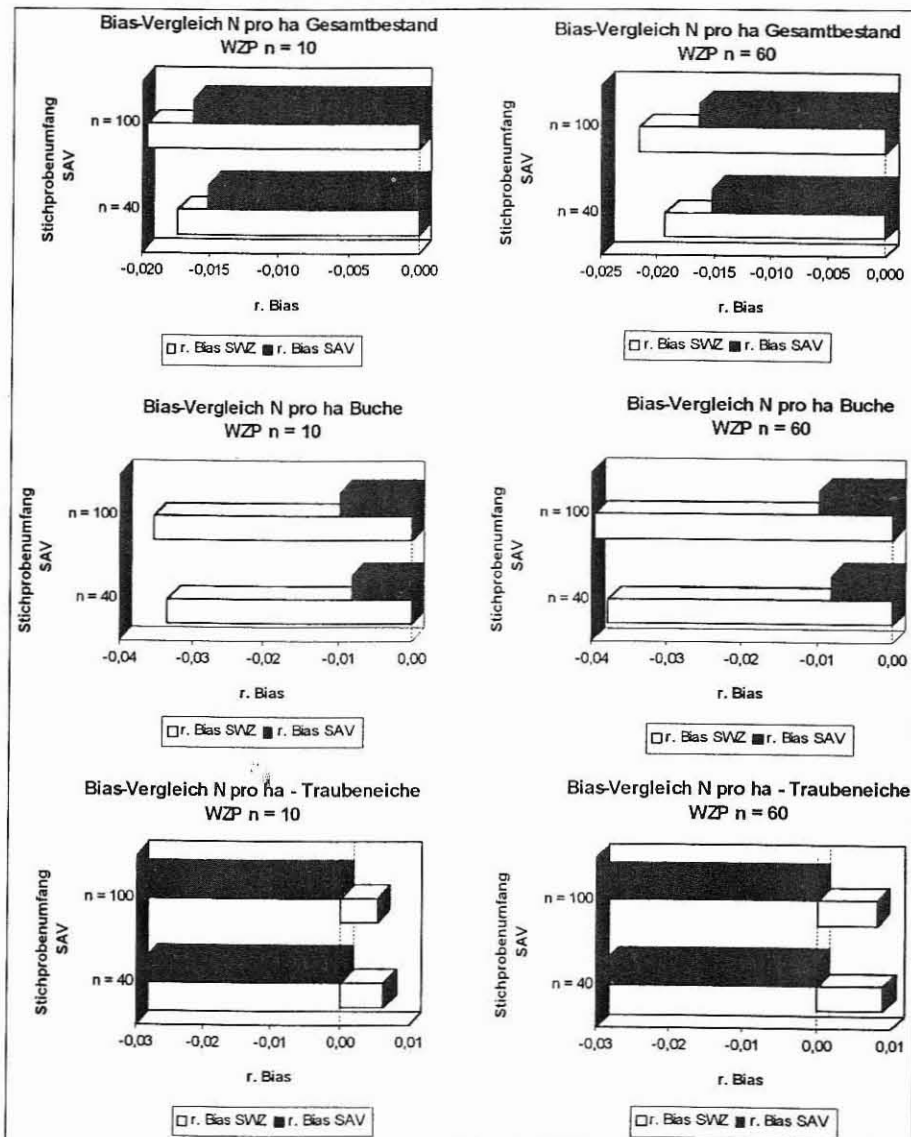


Abbildung 4. Vergleich der Biaswerte der Stammzahlschätzung für den Traubeneichen-Buchen-Bestand Manderscheid 198.

Comparison of stem-number estimates obtained for the sessile oak/beechness stand located in the Forest District Manderscheid 198.

Die drei untersuchten Bestände umfassen je rund 1 ha Größe. Um möglichst unterschiedliche Strukturverhältnisse in die Untersuchung einzubeziehen, wurden der Plenterwaldbestand Deisenhofener Forst (Stadtforstamt München, im folgenden als „Bayern“ bezeichnet) mit komplizierten, sich kleinräumig ändernden Strukturverhältnissen und der homogene Fichtenreinbestand Oderhaus aus dem Nationalpark Niedersächsischer Harz (POMMERENING 1997, S. XVII ff.) gewählt. Als dritter Bestand wurde der Traubeneichen-Buchen-Bestand Manderscheid 198 aus Rheinland-Pfalz (POMMERENING 1997, S. 46 ff.) auf diese Fragestellung hin untersucht. Für diesen Bestand ergaben Voruntersuchungen, daß sich die Verteilung der gekoppelten Baumarten und Durchmesser auf die Stammfußkoordinaten mit einer Zufallsverteilung beschreiben läßt (LEWANDOWSKI u. POMMERENING 1997). Die Untergrenze der Stichprobenumfänge wurde im Anhalt an die Wirksamkeitsvergleiche im Rahmen von Stichprobensimulationen so gewählt, daß der Stammzahl- und Grundflächenschätzer des herkömmlichen Stammabstandsverfahrens (SAV) für unterschiedliche Typen mehr oder weniger gleichaltriger Hochwälder im Bereich eines Fehlers (r. RSME) von kleiner gleich 10 % liegt. Bei einem Stichprobenumfang von 10 Winkelzählproben wurde die undifferenzierte Bestandesgrundfläche für dieselben Bestände ebenfalls mit einem Fehler (r. RSME) von kleiner gleich 10 % ermittelt. Die Obergrenzen der Stichprobenumfänge wurden bewußt sehr hoch angesetzt, um Entwicklungstendenzen bei der Erhöhung des Stichprobenumfangs von Stichprobenbias und Stichprobenstandardabweichung aufzeigen zu können.

Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Grundflächenschätzung für den jeweils undifferenzierten Gesamtbestand der drei Untersuchungsobjekte. Es soll geklärt werden, inwiefern die zusätzliche Anwendung der Winkelzählprobe (WZP) das Schätzergebnis verbessert.

Die geringen Biaswerte der Winkelzählprobe von 2–3 % des wahren Wertes sind auf eine unvollständige Spiegelung an der Bestandesgrenze zurückzuführen, wenn Stichprobenpunkte in Bestandesecken fallen, in denen mehr als eine Spiegelung zur Ergänzung fehlender Bäume notwendig wäre.

Im Plenterbestand kann der Bias durch den Einsatz nur weniger Winkelzählproben erheblich gesenkt werden. Dadurch verringert sich auch der Gesamtfehler r. RMSE. Auch im Bestand Oderhaus werden durch Verwendung des kombinierten Verfahrens SWZ geringere Verzerrungen und Gesamtfehler

TABELLE 1

Statistische Kennziffern der Grundflächenschätzung (G pro ha) mit dem Stammabstandsverfahren (SAV) und der Winkelzählprobe (WZP) für die drei Untersuchungsbestände

Statistics on basal area estimators (G per ha) for the three investigated stands using the distance method (SAV) and angle-count sampling (WZP)

Bayern				WZP			
SAV				WZP			
n	r. Bias	r. SD	r. RMSE	n	r. Bias	r. SD	r. RMSE
40	0,23385	0,11119	0,25894	40	-0,02768	0,03621	0,04558
100	0,22635	0,05149	0,23213	100	-0,02987	0,01195	0,03217

Oderhaus				WZP			
SAV				WZP			
n	r. Bias	r. SD	r. RMSE	n	r. Bias	r. SD	r. RMSE
40	-0,08542	0,04824	0,09810	40	-0,01675	0,03636	0,04003
100	-0,08586	0,02415	0,08919	100	-0,01809	0,00858	0,02002

Manderscheid 198				WZP			
SAV				WZP			
n	r. Bias	r. SD	r. RMSE	n	r. Bias	r. SD	r. RMSE
40	-0,02815	0,05978	0,06607	40	-0,03000	0,03824	0,04860
100	-0,02670	0,02980	0,04001	100	-0,03194	0,00976	0,03340

erzielt. Im Buchen-Eichen-Bestand ist die Verzerrung, die durch Verwendung des reinen Stammabstandsverfahrens entsteht, bereits so gering, daß die zusätzlichen Winkelzählproben keine wesentliche Verbesserung darstellen. Die bereits theoretisch beschriebene Möglichkeit der Über- und Unterschätzung der Bestandesgrundfläche mit dem herkömmlichen Verfahren SAV wird ebenfalls deutlich. Im Plenterbestand überwiegt der tendenziell positive Bias der Schätzung des Grundflächenmittelstammes dem tendenziell negativen Bias der Stammzahl-schätzung. In den beiden anderen Beständen ist dieses Verhältnis umgekehrt, und somit wird die Bestandesgrundfläche mit einem negativen Bias geschätzt.

Die Abbildungen 2, 3 und 4 zeigen die Ergebnisse der Stammzahl-schätzung. Das Stammabstandsverfahren (SAV) wurde mit den Stichprobenumfängen 40 und 100 und die Winkelzählprobe (WZP) mit 10 und 60 Probepunkten durchgeführt.

Die vergleichsweise hohen Biaswerte charakterisieren den Plenterbestand. Die Ergebnisse für den Gesamtbestand und die Hauptbaumarten Fichte und Weißtanne zeigt Abb. 2. In diesem Bestand mit sehr inhomogenen Strukturverhältnissen führt das vorgeschlagene Verfahren zu keiner Verbesserung der Stammzahl-schätzung. Der Grund dafür ist die Schätzgüte des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes dg . Dieser wird aus der Durchmesser-Verteilung des Stammabstandsverfahrens hergeleitet und ist als Eingangsgröße bereits mit einem hohen Bias belastet, der sich bei der Herleitung der Stammzahl fortplant (vgl. Tab. 1). Die Erhöhung des Stichprobenumfangs des Verfahrens SAV führt – wie zu erwarten war – kaum zu einer nennenswerten Senkung des Bias bei der Schätzung des dg (vgl. Tab. 1), wohl aber zu einer Verminderung der Varianz.

TABELLE 2

Statistische Kennziffern der Schätzung des Durchmessers des Grundflächenmittelstamms (dg) mit dem Stammabstandsverfahren (SAV) für die drei Untersuchungsbestände

Statistics on the estimates for the mean basal area tree (dg) for the three investigated stands using the distance method (SAV)

Bayern						
Stichprobenumfang	Baumart SAV	r. Bias	r. SD	r. RMSE	geschätzter dg (cm)	wahrer dg (cm)
40	gesamt	0,31655	0,05314	0,32098	30,1670	22,9136
100	gesamt	0,31669	0,02569	0,31773	30,1702	22,9136
40	Fichte	0,38944	0,05854	0,39381	36,6931	26,4086
100	Fichte	0,39161	0,03181	0,3929	36,7504	26,4086
40	Tanne	-0,01165	0,04752	0,04893	9,25850	9,40808
100	Tanne	-0,00944	0,02852	0,03004	9,31930	9,40808

Oderhaus						
Stichprobenumfang	Baumart SAV	r. Bias	r. SD	r. RMSE	geschätzter dg (cm)	wahrer dg (cm)
40	gesamt	0,00183	0,01319	0,01331	30,8362	30,7798
100	gesamt	0,00150	0,00729	0,00744	30,8259	30,7798

Manderscheid 198						
Stichprobenumfang	Baumart SAV	r. Bias	r. SD	r. RMSE	geschätzter dg	wahrer dg
40	gesamt	-0,00647	0,02193	0,022860	31,0142	31,2162
100	gesamt	-0,00532	0,01047	0,011740	31,0502	31,2162
40	Buche	0,01274	0,03460	0,036870	24,8456	24,5330
100	Buche	0,01377	0,01491	0,02029	24,8707	24,5330
40	Tr. Eiche	-0,01701	0,02415	0,02953	38,7633	39,4340
100	Tr. Eiche	-0,01656	0,01159	0,02022	38,7808	39,4340

Zu einer grundsätzlich anderen Beurteilung des Verfahrens SWZ kommt man bei der zweiten Hauptbaumart Weißtanne.

Hier ist der Bias des *dg* sehr gering, und die Stammzahlschätzung mit Hilfe des kombinierten Verfahrens SWZ kann wesentlich verbessert werden.

Die Anwendung des modifizierten Verfahrens SWZ führte auch im homogenen Fichtenreinbestand des Harzes zu besseren Ergebnissen. Hier läßt sich der Bias – wenn auch nicht so stark wie bei der Weißtanne des Plenterwaldes – um einen nennenswerten Betrag senken. Eine Erhöhung des Stichprobenumfangs des Verfahrens SAV wirkt sich wiederum nur sehr gering auf den Bias der Schätzung des *dg* aus.

Die Untersuchung des rheinland-pfälzischen Bestandes Manderscheid 198 ergab für den Gesamtbestand nur geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Verfahren. Für die Hauptbaumart Buche sind allerdings größere Bias-Differenzen bei der Stammzahlschätzung festzustellen, wobei die Verzerrung durch Anwendung des reinen Stammabstandsverfahrens vermindert werden kann. Geringfügig sind die Biasunterschiede bei der Hauptbaumart Traubeneiche. Dennoch läßt sich erkennen, daß hier das kombinierte Verfahren SWZ zu leicht verbesserten Ergebnissen führt.

Abschließend liefert die Tabelle 2 die statistischen Kennziffern für die Schätzung des Durchmessers des Grundflächenmittelstamms *dg*. Deutlich zu erkennen ist in Verbindung mit den Ergebnissen der Abbildungen 2–4, daß die Höhe des Bias bei der Stammzahlschätzung mit Hilfe des kombinierten Verfahrens wesentlich von der Höhe des Bias der *dg*-Schätzung abhängt.

Diskussion und Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß das kombinierte Verfahren SWZ in Beständen mit komplizierten Strukturen zwar erwartungstreu und auch nur mit einem geringen Gesamtfehler belastete Grundflächenwerte liefert, aber nicht zur Verbesserung der Stammzahlschätzung beiträgt. Im homogenen Fichtenreinbestand führte die Anwendung dieses Verfahrens zu niedrigeren Biaswerten bei der Stammzahlschätzung. In solchen Beständen lassen sich allerdings Stammzahl und Grundfläche auch befriedigend mit dem herkömmlichen Stammabstandsverfahren (SAV) schätzen. Auch bei der Simulation im Bestand Manderscheid 198, einem typischen Buchen-

Eichen-Bestand, lassen sich keine eindeutigen Vorteile für eines der beiden Verfahren feststellen.

In der Praxis, insbesondere wenn der Betriebsbeamte die Inventur zur Selbstkontrolle in Eigenregie durchführt, ist es günstiger, wenn man bei Abstandsverfahren auf die aufwendige kosten- und zeitintensive Messung der Baum-Baum-Abstände verzichten kann. Die Zeitersparnis ist *beträchtlich*, wie gerade abgeschlossene Stichprobeninventuren im Forstamt Brilon (Nordrhein-Westfalen) gezeigt haben. Diese Möglichkeit bietet das Verfahren SWZ, dessen Auswertungsroutinen am Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen zusammen mit denen anderer Verfahren im Computerprogramm WaldDat implementiert wurden (LEWANDOWSKI u. POMMERENING 1997). Darüber hinaus ist die biasfreie Ermittlung der Grundfläche als Vorteil des modifizierten Verfahrens zu bewerten. Dieser Vorteil gegenüber dem reinen Stammabstandsverfahren (SAV) ist unabhängig von der räumlichen Struktur der Bestände. Wenn man außerdem die Anwendung des Verfahrens auf plenterwaldähnliche Bestände ausschließt, ist zu erwarten, daß bei dieser Inventurmethode zumindest keine wesentlich größeren Verzerrungen als beim reinen Stammabstandsverfahren auftreten. Je nach Strukturverhältnissen werden auch geringere Biaswerte für die Stammzahlschätzung erzielt. Ebenso wie beim normalen Stammabstandsverfahren sollte man zur Schätzung der interessierenden Zielgrößen im Gegensatz zu KÖHLERS Ansatz (1951) immer alle vier Bäume eines jeden Stichprobenpunktes heranziehen und nicht nur den jeweiligen Nullbaum. Da die Ursache der verzerrten Stammzahlschätzung beim modifizierten Stammabstandsverfahren der Bias ist, der bei der Schätzung des Grundflächenmittelstammes auftritt, müssen weitere Verbesserungsansätze in Richtung einer genaueren Schätzung dieses Parameters zielen.

Literatur

- Füldner, K. 1995. *Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern*. Diss. Forstl. Fak. Göttingen. Cuvillier Verl. Göttingen.
- Füldner, K. 1996. Die Strukturelle Vierergruppe – ein Stichprobenverfahren zur Erfassung von Strukturparametern in Wäldern. In: *Beiträge zur Waldinventur*. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Alparslan Akça. Cuvillier Verl., Göttingen.
- Gadow, K. v.; Földner, K. 1992. Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. *Tagungsbericht der Arbeitsgruppe Forsteinrichtung*. Klieken bei Dessau 15. 10. 92.
- Gadow, K. v.; Stüber, V. 1994. Die Inventuren der Forsteinrichtung. *Forst u. Holz* 49 (5), 129–131.
- König, G., 1864. *Die Forstmathematik*. 5. Aufl., Gotha.
- Köhler, A. 1951. Vorratsermittlung in Buchenbeständen nach Stammdurchmesser und Stammabstand. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 123, 69–74.
- Kramer, H.; Akça, A. 1995. *Leitfaden zur Waldmesslehre*. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Lewandowski, A.; Pommerening, A. 1996. *WaldSim 2.0b* – Ein Programm zur Stichprobensimulation in strukturreichen Wäldern. Vorläufige Dokumentation. Göttingen.
- Lewandowski, A.; Pommerening, A. 1997. Zur Beschreibung der Waldstruktur - Erwartete und beobachtete Arten-Durchmischung. *Forstwiss. Cbl.* 116, 129–139.
- Lohl, D. J.; Saborowski, J.; Gadow, K. v. 1994. *Simulationen zum Inventurkonzept „Strukturelle Vierergruppe“*. Unveröffentl. Manusk.
- Pommerening, A. 1997. *Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in strukturreichen Wäldern*. Diss. Fak. Forstwiss. u. Waldökol. Univ. Göttingen. Cuvillier Verl., Göttingen.
- Prodan, M. 1968. Punktstichprobe für die Forsteinrichtung. *Forst- u. Holzw.* 23, 225–226.
- Saborowski, J. 1993. *Stichprobenverfahren der Waldinventur*. Unveröffentl. Manusk. Göttingen.
- WaldDat – Ein Programm zur Auswertung von stichprobenweise aufgenommenen Strukturinformationen und anderen herkömmlichen Forsteinrichtungsgrößen mit Hilfe des Stammabstands-, des kombinierten Verfahrens SWZ und des Probekreisverfahrens. Applikation in Borland Delphi. Entwickelt von A. Pommerening u. A. Lewandowski. Version 1.0ß.
- WaldSim – Ein Programm zur Simulation von Stichprobenverfahren für die Bestandesinventur in strukturreichen Wäldern. Applikation in Borland Delphi. Entwickelt von A. Lewandowski u. A. Pommerening. Version 2.0b.
- Verfasser: Dr. A. POMMERENING, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München, Am Hochanger 13, D 85354 Freising; Dipl. Forstw. M. SCHMIDT, Institut für Forsteinrichtung u. Ertragskunde der Universität Göttingen, Büsgenweg 5, D 37077 Göttingen.