

**Analyse und praktische Umsetzung unterschiedlicher Methoden
des *Randomized Branch Sampling***

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Jorge Orlando Cancino Cancino

geboren in Sauzal (Chile)

Göttingen, 2003

D7

1. Berichterstatter

Prof. Dr. Joachim Saborowski

2. Berichterstatter

Prof. Dr. Christoph Kleinn

Tag der mündlichen Prüfung

26. Juni 2003

Vorwort

Die Erstellung dieser Doktorarbeit wurde durch die wohlwollende Unterstützung unterschiedlicher Personen gefördert. Ihnen allen bin ich in Dankbarkeit verbunden.

Mein Dank gilt vor allem Herrn Prof. Dr. Joachim Saborowski, der als Betreuer den Fortgang der Arbeit mit stetem Interesse verfolgt und mit unendlicher Höflichkeit geleitet hat. Ich bin ihm besonders dankbar für die Ableitung der Formeln, die im Anhang A dieser Arbeit zusammengestellt sind. Ich danke auch Herrn Prof. Dr. Christoph Kleinn, deren Empfehlungen als zweiter Berichterstatter zur Besserung der Arbeit beigetragen haben.

Zu Dank bin ich auch Herrn Prof. Dr. S. Wagner verpflichtet, der die Entwicklung des Programms BRANCH durch eine finanzielle Unterstützung gefördert hat.

Daten für die Analysen wurden von Herrn Dr. Winfried Kurth und Frau Sonja Gockel zur Verfügung erstellt. Ich bedanke mich dafür. Frau Gockel danke ich auch für ihre Hilfe zur Aufnahme von Daten zu einer Zeitstudie im Feld.

Meine Dankbarkeit schließt auch Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Branislav Sloboda, Leiter des Instituts für Forstliche Biometrie und Informatik der Universität Göttingen, ein. Dort habe ich mehr als drei Jahre gearbeitet. Während dieser Zeit habe ich die Einrichtungen des Instituts benutzt und die Freundschaft und Höflichkeit der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen genossen.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Fernando Drake, Dekan der Forstlichen Fakultät der Universität von Concepción, dessen Bemühungen die finanzielle Unterstützung der Universität von Concepción zu meinem Aufenthalt während meiner Promotion in Deutschland ermöglichte.

Ich danke meinen Kollegen Herrn Prof. Dr. Pedro Real und Herrn Prof. Dr. Víctor Sandoval, die mir vor meiner Reise nach Deutschland geholfen haben, mit meinem Doktorvater Kontakt aufzunehmen.

Meiner Ehefrau Natalia Decarli danke ich für ihre Anwesenheit an meiner Seite in dieser wichtigen Etappe meines Lebensweges.

INHALT

1. Einführung	1
2. Zielsetzungen	5
2.1 Softwareentwicklung	5
2.2 Methodenvergleich und Verfahrensoptimierung	5
3. Stand der Forschung über Randomized Branch Sampling	7
3.1 Grundlage des RBS-Verfahrens	7
3.2 Das RBS-Verfahren als allgemeines mehrstufiges Stichprobenverfahren.....	10
3.3 Die modifizierten RBS-Verfahren.....	12
3.3.1 RBS mit Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit Zurücklegen auf allen folgenden (ZoZ-ZmZ).....	12
3.3.2 RBS mit Ziehen mit Zurücklegen auf Stufe 1, ohne Zurücklegen auf Stufe 2 und mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen (ZmZ-ZoZ-ZmZ).....	14
3.3.3 Die Methode Sampfords zur Schätzung und Auswahl ohne Zurücklegen mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten	17
4. Effizienzsteigerung der RBS-Schätzung, theoretische Ergebnisse	19
4.1 Die Beziehung zwischen der Hilfs- und der Zielgröße und ihre Bedeutung im Rahmen mehrstufiger Stichproben mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten.....	19
4.2 Die Baumkronenstruktur, das Löschen von Segmenten und die Stratifizierung.....	21
4.3 Die Effizienz des Ziehens ohne Zurücklegen auf der Stufe 1 im Vergleich zum Ziehen mit Zurücklegen ..	23
4.4 Folgerungen des Ziehens ohne Zurücklegen.....	26
4.4.1 Die theoretische Effizienz des Ziehens ohne Zurücklegen auf der Stufe 1	26
4.4.2 Alternative Schätzer der Varianz bei Ziehen ohne Zurücklegen auf der Stufe 1, mit $m_i = 1$	28
4.5 Optimierung des mehrstufigen Verfahrens mit Ziehen mit Zurücklegen	31
5. Materialien und Methoden	34
5.1 Datenbasis.....	34
5.2 Das BRANCH-Programm	40
5.2.1 Probeentnahme	40
5.2.2 Analyse von vollständigen Bäumen	42
5.2.2.1 Diagnose	42
5.2.2.2 Simulation.....	46
5.2.2.3 Modifizierung der Struktur der Baumkrone.....	48
5.3 Zielorientierte Analyseverfahren.....	48
5.3.1 Aufwirkung der Wahl der Hilfsgröße und der Baumkronenstruktur auf die Varianz des Schätzers ..	48
5.3.2 Vergleich zwischen dem klassischen RBS und ZoZ-ZmZ bezüglich der Präzision.....	49
5.3.3 Analyse der annähernden Varianzschätzer für das Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit $m_i = 1$ auf Stufe 2	49
5.3.4 Zeitstudie	49
6. Technische Details zur Programmentwicklung	51
6.1 Struktur und Komponenten.....	51
6.2 Flußdiagramme von zielorientierten Prozeduren.....	57
6.2.1 Erzeugung einer neuen Datei.....	58
6.2.2 Einfügung von Daten.....	59
6.2.3 Durchführung von Schätzungen	62
6.2.4 Durchführung von Simulationen	63
6.2.5 Durchführung von Diagnosen (Löschen und Stratifizierung).....	65

6.2.6 Laden von Daten.....	67
7. Experimentelle Ergebnisse und Diskussion	68
7.1 Auswirkungen der Wahl der Hilfsgröße auf die Varianz des Schätzers	68
7.2 Auswirkung der Kronenstruktur auf die Varianz des Schätzers	71
7.2.1 Auswirkungen des Löschens von größeren Segmenten.....	71
7.2.2 Auswirkungen der Stratifizierung der Baumkrone und des Löschens von größeren Segmenten	79
7.3 Vergleich zwischen den RBS-Verfahren.....	91
7.3.1 Die Effizienz des Ziehens ohne Zurücklegen auf der Stufe 1 in der Praxis.....	91
7.3.2 Die Präzision des Ziehens ohne Zurücklegen mit $m_i = 1$ im Vergleich zum Ziehen mit Zurücklegen	92
7.3.3 Zur Varianzschätzung bei Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1 mit $m_i = 1$	98
7.3.4 Zeitaufwand im Feld.....	100
7.3.5 Der Zeitaufwand des Ziehens ohne Zurücklegen im Vergleich zum Ziehen mit Zurücklegen	104
Zusammenfassung.....	118
<i>Summary</i>	120
<i>Resumen</i>	122
Literatur.....	124
Anhang A. Formelsammlung für die RBS-Methoden.....	126
A.1 Grundlegende Bezeichnungen.....	126
A.2 Zufallsauswahl mit Zurücklegen und ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten auf allen Stufen	126
A.2.1 Allgemeine mehrstufige ppz-Stichproben	126
A.2.2 Klassisches RBS	127
A.3 Zufallsauswahl mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten auf allen Stufen — ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit Zurücklegen auf allen folgenden	129
A.3.1 Mehrstufige Stichproben, Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe.....	129
A.3.2 RBS mit Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe.....	130
A.4 Zufallsauswahl mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten auf allen Stufen — mit Zurücklegen auf Stufe 1, ohne Zurücklegen auf Stufe 2 und mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen	131
A.4.1 Grundlagen	131
A.4.2 RBS mit Ziehen ohne Zurücklegen auf der zweiten Stufe.....	133
Anhang B. Kurzer Leitfaden des BRANCH-Programms.....	135
B.1 Hauptmenü.....	135
B.1.1 Menü Datei	135
B.1.2 Menü Bericht	135
B.1.3 Menü Schätzung	136
B.1.4 Modifizierung der Baumkrone und Diagnose	136
B.2 Grundlegende Operationen mit BRANCH.....	136
B.2.1 Neue Datei erstellen.....	136
B.2.1.1 Entnahme einer Stichprobe	137
B.2.1.2 Entnahme eines vollständigen Baumes	141
B.2.2 Schätzung der Zielgröße	143
B.2.3 Simulation der Aufnahme von Stichproben.....	144
B.2.4 Diagnose	146
B.2.5 Veränderung der Struktur der Baumkrone	149
Anhang C. Tabellen mit Ergebnissen der Analysen.....	152

1. Einführung

Das *Randomized Branch Sampling* (RBS) wurde von Jessen (1955) zur Schätzung der Anzahl von Früchten an Obstbäumen entwickelt. Seitdem ist dieses Stichprobenverfahren zur Schätzung sowohl von diskreten als auch von stetigen Parametern individueller Bäume unterschiedlicher Spezies angewandt worden. Unter den Anwendungen des RBS findet man Schätzungen der Nadel- bzw. Blattbiomasse (Valentine *et al.* 1994, Raulier *et al.* 1999, Good *et al.* 2001), der Nadel- bzw. Blattfläche (Mundson *et al.* 1999, Xiao *et al.* 2000) und sogar der gesamten oberirdischen Biomasse (Valentine *et al.* 1984, Williams 1989).

Die Methode benutzt die natürliche Verzweigung innerhalb eines Baumes, um schrittweise Stichproben zu nehmen. Ihre Benutzung erfordert die Definition von *Knoten* an bestimmten Verzweigungspunkten (ein Punkt, an dem sich ein Ast oder Astteil in zwei oder mehrere Äste verzweigt) und *Segmenten* (ein Astteil zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knoten). Man beginnt die Aufnahme der Stichprobe am ersten Knoten mit der Auswahl eines der von dort ausgehenden Segmente, folgt diesem ausgewählten Segment und wiederholt die Auswahl, falls am Ende dieses Segments ein weiterer Knoten existiert. Man beendet die sequentielle Auswahl, wenn ein Endsegment ausgewählt wird, d.h. ein Segment, an dessen Ende kein Knoten mehr vorliegt. Die Menge der aufeinanderfolgenden Segmente zwischen dem ersten Knoten und einem Endsegment nennt man *Pfad*. Um einen weiteren Pfad auszuwählen, wiederholt man die selbe Prozedur. Die Schätzung des Zielparameters für den vollständigen Baum realisiert man aufgrund der Werte der Zielvariable, die entlang des Pfades gesammelt werden. Obwohl die Schätzung des Zielparameters für den Baum aufgrund eines einzigen Pfades realisiert werden kann, braucht man mindestens zwei Pfade, um den Standardfehler der Schätzung berechnen zu können.

Um die Auswahl der Segmente eines Pfades durchzuführen, kann man eine Hilfsvariable definieren, die durch Messen oder Schätzen an den Segmenten eines Knotens erfasst werden kann. Das RBS-Verfahren schließt Auswahlwahrscheinlichkeiten proportional zur Größe der Hilfsvariable und Ziehen mit Zurücklegen an jedem Knoten ein, zwei Aspekte die in enger Verbindung mit der Präzision des Schätzers stehen. Zum einen muss man erkennen, dass es sinnvoll ist, eine Hilfsgröße zu wählen, welche eine enge Beziehung zur Zielgröße aufweist, um eine möglichst kleine Variabilität der Schätzung zu erreichen (Jessen 1955, Grosenbaugh 1967), obwohl grundsätzlich jede Segmenteigenschaft als Hilfsgröße definiert werden kann. Zur Definition der Auswahlwahrscheinlichkeiten darf man nicht nur physisch bestehende (wie

Durchmesser oder Länge), sondern auch abgeleitete (wie Funktionen von physisch bestehenden) Segmenteigenschaften berücksichtigen. Dies ist besonders günstig, wenn die zu schätzende Zielgröße mit den physischen Eigenschaften des Segmentes nur schwach korreliert ist (Grosenbaugh 1967). Zum anderen muss man beachten, dass das Ziehen mit Zurücklegen bedeutet, dass bei der Auswahl mehrerer Pfade ein Segment an einem bestimmten Knoten mehrere Male ausgewählt werden kann. Diese Situation kann einen Verlust an Effizienz der Methode bedeuten (Saborowski und Gaffrey 1999).

Jeder ausgewählte Pfad liefert eine Schätzung der Zielgröße für den vollständigen Baum. Zur Schätzung wird der Wert der Zielgröße an jedem Segment des Pfades durch den reziproken Wert des kumulierten Produkts der bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten bis zu dem entsprechenden Segment vergrößert. Die Summe der so vergrößerten Werte im Pfad gibt eine Schätzung der Zielgröße für den vollständigen Baum.

Das RBS-Verfahren fand im forstlichen Gebiet Anwendung in den Arbeiten von Valentine *et al.* (1977, 1984), Gregoire *et al.* (1995) sowie Gaffrey und Saborowski (1999). Diese und andere Arbeiten über das RBS-Verfahren benutzen ohne Modifizierungen das selbe Auswahl- und Schätzverfahren zur Schätzung von Parametern an Waldbäumen, bei denen der Hauptstamm, wenn er existiert (z.B. in Spezies mit monopodiale Wachstum), als ein weiteres Segment berücksichtigt werden kann. Z.B. schätzen Valentine und Hilton (1977) die Blattklumpenanzahl an *Quercus spp.* Sie wenden das RBS-Verfahren innerhalb aller Hauptäste an, die als Straten berücksichtigt werden. Jeder Pfad wird beendet, wenn ein einziger Blattklumpen erreicht wird. Die visuell geschätzte Blattbiomasse wurde als Hilfsgröße definiert. Valentine *et al.* (1984) schätzen das gesamte oberirdische Frischgewicht von Blättern und Holz in einem gemischten Laubbestand. Sie wenden das Verfahren im einzelnen Baum an und definieren das Produkt „Segmentdurchmesser mal restliche Astlänge“ als Hilfsvariable; jeder Pfad wird beendet, wenn nur noch Segmente mit Durchmesser kleiner oder gleich 5 cm erreicht werden. Die selbe Hilfsvariable definiert Williams (1989), um die gesamte oberirdische Biomasse an *Pinus taeda* L. zu schätzen. Als Knoten gelten nur die Quirle des Hauptstammes, und er beendet jeden Pfad, sobald ein Ast ausgewählt wird oder wenn der Stammdurchmesser an einem Quirl kleiner oder gleich 5 cm ist. Valentine *et al.* (1994) stratifizieren die Baumkrone in Drittelabschnitte und wenden das RBS-Verfahren innerhalb einiger Äste an, um die Nadelbiomasse an *Pinus taeda* L. zu schätzen. Sie benutzen das Quadrat des Segmentdurchmessers als Hilfsgröße.

Diese Beispiele zeigen eindeutig die Flexibilität des RBS-Verfahrens und die Notwendigkeit einer geeigneten Hilfsgröße. Das RBS-Verfahren bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Anwendung. Sowohl der erste Knoten eines Pfades als auch sein letztes Segment können sehr unterschiedlich definiert sein, Eigenschaften auf die Gregoire *et al.* (1995) Nachdruck legen. Hier muss man bemerken, dass die Fixierung des ersten Knotens den Baumteil bestimmt, für welchen die Schätzung gültig ist. Für jede Zielvariable ist eine günstige Hilfsvariable zu finden. Jessen (1955) empfiehlt z.B. die Astquerschnittsfläche als Hilfsgröße zur Schätzung der Fruchtanzahl, eine Empfehlung, die mit der Theorie von Shinozaki *et al.* (1964a und b) übereinstimmt. Diese Theorie geht davon aus, dass die Blattquantität eines Baumes in enger Beziehung zu den Ast- und Stammquerschnittsflächen steht. Zur Schätzung von Zielgrößen, die mit den physischen Eigenschaften des Segmentes schwach korreliert sind, darf man willkürliche Hilfsgrößen definieren (Grosenbaugh 1967). So kann z.B. die geschätzte Zielgröße auch als eine günstige Hilfsgröße dienen (Valentine und Hilton 1977).

Das RBS-Verfahren ist über mehr als 40 Jahre unverändert angewendet worden. Während dieser Zeitperiode gab es nur kleinere konzeptionelle Beiträge wie die Einführung der Begriffe der bedingten und unbedingten Wahrscheinlichkeiten in das RBS-Verfahren (Valentine *et al.* 1984). Diese Autoren haben auch eine elegante mathematische Nomenklatur verwendet. Weiterhin wurde die Anwendung der Stratifizierung vorgeschlagen, ein bekanntes Hilfsmittel zur Varianzreduzierung. So stratifizieren z.B. Valentine *et al.* (1994) die Baumkrone in Dritteln, d.h. Straten von konstanter Größe (Länge). Später empfahlen Gaffrey und Saborowski (1999) eine günstigere Stratifizierung. Sie halten es für wichtig, die Länge der Kronensektionen variabel zu halten, mit dem Ziel Hauptäste mit vergleichbaren Nadelmassen innerhalb jedes Stratums zu haben, um damit kleinere Varianzen zu erreichen. Auf jeden Fall soll die Stratifizierung immer das Ziel der Schätzung betrachten; z.B. kann es sinnvoll sein, die Krone in Licht- und Schattenkrone zu stratifizieren (s. Raulier *et al.* 1999).

Ein weiterer Vorschlag zur Varianzreduzierung wurde von Saborowski und Gaffrey (1999) gemacht. Sie schlagen die Auswahl der Segmente des ersten oder zweiten Knotens ohne Zurücklegen vor, woraus sich zwei modifizierte Verfahren ergeben. Der Vorschlag basiert auf der bekannten Tatsache, dass bei einfachen Zufallsstichproben das Ziehen ohne Zurücklegen (ZoZ) effizienter als Ziehen mit Zurücklegen (ZmZ) ist (s. Cochran 1977). Die Autoren wählen zur Auswahl mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten und ohne Zurücklegen die Methode von Sampford (1967) und bauen sie in die Schätzer für mehrstufige Stichproben (s. Saborowski 1990) ein. Der Schätzer kombiniert das ZmZ und ungleiche

Auswahlwahrscheinlichkeiten mit dem Horvitz-Thompson-Schätzer (Horvitz und Thompson 1952), der für das ZoZ und mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten entwickelt wurde. Diese modifizierten Verfahren sind bislang noch nicht an konkreten Daten geprüft worden.

In diesem Dokument werden die unterschiedlichen Varianten des RBS-Verfahrens mathematisch dargestellt. Es werden statistisch theoretische Überlegungen zur Verbesserung der Präzision gemacht und die Ergebnisse eines Vergleiches zwischen dem klassischen RBS-Verfahren und einer seiner Varianten präsentiert. Das Dokument besteht aus 7 Kapiteln und 3 Anhängen. Im Kapitel 2 werden die Zielsetzungen der Arbeit erläutert. Im Kapitel 3 werden ausführliche Beschreibungen des klassischen und der modifizierten RBS-Verfahren präsentiert¹. Im Kapitel 4 werden unterschiedliche Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der RBS-Schätzung diskutiert. Im Kapitel 5 werden die zur Analyse verfügbaren Daten (Kapitel 5.1), das Programm BRANCH (Kapitel 5.2) sowie die unterschiedlichen Ansätze zur Verfolgung der Ziele (Kapitel 5.3) beschrieben. Technische Details zur Programmentwicklung werden im Kapitel 6 präsentiert. Im Kapitel 7 werden die Ergebnisse der Analyse präsentiert. Zuerst werden die Auswirkungen der Wahl der Hilfsgröße, des Löschens von Segmenten und der Stratifizierung der Baumkrone auf die Präzision des Schätzers präsentiert. Danach werden die Ergebnisse des Vergleichs zwischen den RBS-Verfahren behandelt. Eine Zusammenfassung der Arbeit ist im Anschluss an Kapitel 7 zu finden. Im Anhang A werden die Formeln für die RBS-Methode gesammelt. Im Anhang B wird ein kurzer Leitfaden des BRANCH-Programms präsentiert. Dort werden zuerst die unterschiedlichen Menüs des Programms vorgestellt und danach werden kurz einige Operationen mit dem Programm beschrieben. Der Anhang C schließt Tabellen mit Ergebnissen der durchgeführten Analysen ein.

¹ Gute Beschreibungen des klassischen RBS-Verfahrens findet man auch in Gregoire *et al.* (1995), Good *et al.* (2001), Parresol (1999), und Snowdon *et al.* (2001).

2. Zielsetzungen

Die gegenwärtige Arbeit hat als Hauptziel, einen Vergleich zwischen dem klassischen RBS und dem ZoZ (auf der ersten Stufe) durchzuführen. Außerdem werden die Wirkungen der Wahl der Hilfsgröße und speziell der Baumkronenstruktur auf die Varianz des Schätzers analysiert. Dazu wurde ein Computerprogramm (Delphi) angefertigt.

2.1 Softwareentwicklung

Das erste Ziel der gegenwärtigen Arbeit ist die Anfertigung eines Computerprogramms (Delphi) zur Aufnahme von Stichproben auf dem Feld sowohl mit dem klassischen als auch mit den modifizierten RBS-Verfahren. Ein anderer Teil des Programms soll sich mit der Simulation von RBS-Stichproben an vollständig gemessenen Bäumen beschäftigen. Dabei soll es die Benutzung von unterschiedlichen Hilfsgrößen und die Modifizierung und Stratifizierung der Baumkrone erlauben, sowie die Analyse des Einflusses dieser Faktoren sowohl auf die Präzision des Schätzers als auch auf den Zeitaufwand (Kapitel 5.2 und 6, Anhang B).

2.2 Methodenvergleich und Verfahrensoptimierung

Das zweite Ziel der vorliegenden Arbeit ist der Vergleich zwischen dem klassischen RBS (ZmZ) und dem Ziehen ohne Zurücklegen auf der Stufe 1 (ZoZ-ZmZ). Dabei wird versucht, die Faktoren zu identifizieren, die für Vor- bzw. Nachteile der Verfahren verantwortlich sind. Dazu gehören die Frage nach den Auswirkungen der Wahl der Hilfsgröße und die Frage nach einer für die Stichprobenverfahren optimalen Modifizierung der Baumkronenstruktur. Beide Fragen haben mit der Beziehung zwischen den kumulierten Werten der Zielgröße an den Segmenten und deren entsprechenden unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten zu tun, die im folgenden Beziehung „Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit“ genannt wird.

Im Detail verbergen sich dahinter folgende Teilziele:

- a) Analyse der Auswirkungen der Wahl der Hilfsgröße auf die Straffheit der Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit und dadurch auf die Varianz des Schätzers (Kapitel 7.1).
- b) Analyse der Auswirkungen des Löschens der größten Segmente auf die Straffheit der Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit und dadurch auf die Varianz des

Schätzers, sowie auf den maximal möglichen Stichprobenumfang für das ZoZ (Kapitel 7.2.1).

- c) Analyse des Einflusses der Stratifizierung der Baumkrone im Zusammenwirken mit dem Löschen der größten Segmente auf die Straffheit der Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit und auf die Varianz des Schätzers (Kapitel 7.2.2).
- d) Analyse der Effizienz unterschiedlicher Kombinationen von n (Anzahl von Primäreinheiten) und m_i (Anzahl von Sekundäreinheiten je ausgewählte Primäreinheit) für unterschiedliche mehrstufige Verfahren (ohne Berücksichtigung von Kosten) (Kapitel 4.4.1 und 7.3.1).
- e) Durchführung einer Zeitstudie zur Bestimmung des Zeitaufwandes der Außenaufnahmen sowohl für das ZmZ als auch für das ZoZ-ZmZ (Kapitel 7.3.4).
- f) Vergleich zwischen dem ZmZ und dem ZoZ-ZmZ anhand der Präzision des Schätzers unter gleichen Stichprobenumfängen (d.h. mit $m_i = 1$)(Kapitel 7.3.2).
- g) Vergleich zwischen dem ZmZ und dem ZoZ-ZmZ anhand des Zeitaufwandes für ein bestimmtes Präzisionsniveau (Kapitel 7.3.5).

3. Stand der Forschung über Randomized Branch Sampling

In diesem Kapitel werden ausführliche Beschreibungen des klassischen und der modifizierten RBS-Verfahren präsentiert. Zuerst wird die Grundlage des klassischen RBS gegeben und werden die klassischen Formeln zur Berechnung und zur Schätzung der Parameter vorgestellt. Danach wird das Problem aus einem allgemeineren mehrstufigen Gesichtspunkt beschrieben. Zuletzt werden die modifizierten RBS-Verfahren präsentiert.

3.1 Grundlage des RBS-Verfahrens

Das klassische *Randomized Branch Sampling* (RBS) benutzt die natürliche Verzweigung innerhalb des Baumes, um schrittweise eine oder mehrere Reihen von Segmenten (*Pfade*) aufzunehmen. Man beginnt die Aufnahme eines Pfades am ersten Knoten mit der Auswahl eines der von dort ausgehenden Segmente, folgt diesem ausgewählten Segment und wiederholt die Auswahl, falls am Ende dieses Segmentes ein weiterer Knoten existiert. Man beendet die sequentielle Auswahl, wenn am Ende des ausgewählten Segmentes kein Knoten mehr vorliegt (Abbildung 3.1). Um einen weiteren Pfad auszuwählen, wiederholt man die selbe Prozedur.

Der in Abbildung 3.1 schematisierte Baum hat insgesamt 10 Pfade unterschiedlicher Länge (von 1 bis 5 Segmenten je Pfad). Die Auswahl eines dieser Pfade fängt am Knoten 1 an und könnte sich bis zum Knoten 5 fortsetzen.

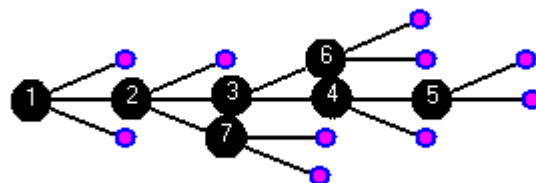


Abb. 3.1: Schema eines Baumes mit 7 Knoten und 16 Segmenten, darunter 10 Endsegmente. Die Knoten 1 bis 5 bilden den Hauptstamm.

Das klassische RBS-Verfahren schließt Ziehen mit Zurücklegen (ZmZ) und Auswahlwahrscheinlichkeiten proportional zu einer Hilfsgröße ein. Zur Ableitung der geforderten Wahrscheinlichkeiten zur Auswahl der Segmente eines Pfades, kann man eine Hilfsgröße definieren, die durch Messen oder Schätzen an den Segmenten eines Knotens erfasst werden kann. Setzt man voraus, dass das Quadrat des Segmentdurchmessers als Hilfsgröße definiert wird, dann ist die Auswahlwahrscheinlichkeit des s -ten Segmentes an

einem bestimmten Knoten mit N Segmenten durch $q_s = d_s^2 / \sum_{s=1}^N d_s^2$ gegeben, wobei d_s der Durchmesser des s -ten Segmentes ist. Diese Auswahlwahrscheinlichkeit nennt man *bedingte Wahrscheinlichkeit* und gibt die Wahrscheinlichkeit eines Segmentes ausgewählt zu werden an, wenn man sich schon an diesem Knoten befindet. Das kumulierte Produkt der bedingten Wahrscheinlichkeiten, das zur Schätzung der Zielgröße benutzt wird, nennt man *unbedingte Wahrscheinlichkeit*.

Jeder ausgewählte Pfad bringt eine Schätzung der Zielgröße, die wie folgt abgeleitet wird. Die bedingte Auswahlwahrscheinlichkeit des ersten ausgewählten Segmentes eines Pfades kann man als q_1 bezeichnen, als q_2 die des zweiten, als q_3 die des dritten usw. Die unbedingten Wahrscheinlichkeiten dieser Segmente werden als Q_1, Q_2, Q_3 usw. bezeichnet, wobei $Q_1=q_1, Q_2=q_1 \cdot q_2, Q_3=q_1 \cdot q_2 \cdot q_3$, d.h. die unbedingte Wahrscheinlichkeit des r -ten ausgewählten

Segmentes eines Pfades ist durch $Q_r = \prod_{s=1}^r q_s$ gegeben. Die Schätzung der Zielgröße realisiert

man aufgrund der Werte der Zielgröße an jedem Segment des Pfades und der unbedingten Wahrscheinlichkeit des Segmentes. Misst man z.B. einen Wert der Zielgröße f_r am r -ten Segment des Pfades, dann ist der Beitrag dieses Segmentes zur Schätzung der Zielgröße für den Teil des Baumes über dem Ansatzpunkt des Pfades f_r / Q_r . Der Schätzer aus einem Pfad mit R Segmenten, der am ersten Knoten des Baumes beginnt, ist also

$$\hat{F} = f + \sum_{s=1}^R \frac{f_s}{Q_s} \quad [3.1]$$

da das Segment vor dem ersten Knoten mit dem Merkmalswert f mit Wahrscheinlichkeit 1 ausgewählt wird.

Die Berechnung des Schätzers, die schrittweise durch die Summe der individuellen Beiträge der Segmente innerhalb eines Pfades realisiert wird (s. [3.1]), kann auch umgekehrt realisiert werden. Nähme man z.B. einen Pfad mit 3 Segmenten, der am ersten Knoten des Baumes beginnt, dann ist die Schätzung der Zielgröße für den Teil des Baumes über dem ersten Knoten

$$\frac{f_1}{Q_1} + \frac{f_2}{Q_2} + \frac{f_3}{Q_3} = \frac{f_1}{q_1} + \frac{f_2}{q_1 \cdot q_2} + \frac{f_3}{q_1 \cdot q_2 \cdot q_3} = \frac{1}{q_1} \left[f_1 + \frac{f_2}{q_2} + \frac{f_3}{q_2 \cdot q_3} \right],$$

so dass

$$\hat{F} = f + \frac{1}{q_1} \left[f_1 + \frac{1}{q_2} \left(f_2 + \frac{f_3}{q_3} \right) \right] \quad [3.2]$$

die Schätzung für den gesamten Baum darstellt.

Aus [3.2] kann man ersehen, dass der Schätzer sich einfacher regressiv aus den Segmenten des Pfades berechnen lässt; jeder Schritt der Berechnung produziert einen Schätzer für einen bestimmten Teil der Krone. Es erscheint klar, dass f_3 / q_3 eine Schätzung für sämtliche an das Sekundärsegment anschließenden Tertiärsegmente ist und $f_2 + f_3 / q_3$ eine Schätzung für das Sekundärsegment inklusive aller anschließenden Tertiärsegmente; so dass $(f_2 + f_3 / q_3) / q_2$ und $f_1 + (f_2 + f_3 / q_3) / q_2$ Schätzungen für alle Sekundär- und Tertiärsegmente, zugehörig zum Primärsegment, bzw. für den vollständigen mit dem Primärsegment beginnenden Astteil sind. Schließlich ist $f + [f_1 + (f_2 + f_3 / q_3) / q_2] / q_1$ eine Schätzung für den vollständigen Baum.

Wählt man n Pfade unabhängig voneinander, d.h. mit Zurücklegen (ZmZ), deren Auswahlwahrscheinlichkeit Q_{R_p} ist mit dem entsprechenden Schätzer \hat{F}_p (gemäß [3.1]), so erhält man den erwartungstreuen Schätzer für die Zielgröße F des vollständigen Baumes einfach durch die Berechnung des arithmetischen Mittels der \hat{F}_p

$$\bar{\hat{F}} = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n \hat{F}_p, \quad \text{mit } \hat{F}_p = f + \sum_{s=1}^{R_p} \frac{f_s}{Q_s}, \quad Q_s = \prod_{u=1}^s q_u \quad [3.3]$$

Die wahre Varianz von $\bar{\hat{F}}$ ist

$$Var \bar{\hat{F}} = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^{N_{\text{Pfade}}} Q_{R_p} (\hat{F}_p - F)^2, \quad \text{mit } Q_{R_p} = \prod_{s=1}^{R_p} q_s \quad [3.4]$$

und wird erwartungstreu geschätzt durch

$$V = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{p=1}^n (\hat{F}_p - \bar{\hat{F}})^2 \quad [3.5]$$

wobei R_p die Anzahl von Segmenten am Pfad p ist. N_{Pfade} ist die Anzahl aller möglichen Pfade am Baum.

3.2 Das RBS-Verfahren als allgemeines mehrstufiges Stichprobenverfahren

Sowohl die sequentielle Auswahl der Segmente jedes Pfades beim klassischen RBS-Verfahren als auch die stufenweise Kalkulation zeigen eindeutig, dass diese Prozedur offensichtlich zur Kategorie der mehrstufigen Stichprobenverfahren gehört. Jedes Segment des Pfades kann einer bestimmten Stufe zugewiesen werden. Die erste Auswahl entspricht der ersten Stufe und die Segmente, die aus dem ersten Knoten abzweigen, entsprechen den primären Stichprobeneinheiten; die zweite Auswahl entspricht der zweiten Stufe und die dazugehörigen Segmente den sekundären Stichprobeneinheiten usw. So kann ein Knoten als Übergang von einem Segment zu den Segmenten der nächsten Stufe bezeichnet werden und der Pfad als eine zusammenhängende Folge von Segmenten unterschiedlicher Stufen (Saborowski und Gaffrey 1999; s. Abbildung 3.1).

So ist ein Beispiel mit Pfaden aus maximal drei Segmenten äquivalent zu einem üblichen dreistufigen Stichprobenverfahren, für das man eine Population von N Primäreinheiten, M_i Sekundäreinheiten in der i -ten Primäreinheit und K_{ij} Tertiäreinheiten in der Sekundäreinheit j von Primäreinheit i zu Grunde legt. Die bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten werden als q_i , q_{ij} und q_{ijl} bezeichnet. q_i entspricht also q_1 , q_{ij} q_2 und q_{ijl} q_3 . In diesem Fall wird die wahre Zielgröße *insgesamt*, von *Primäreinheit* i bzw. von *Sekundäreinheit* j in *Primäreinheit* i wie $y = \sum_{i=1}^N y_i$, $y_i = \sum_{j=1}^{M_i} y_{ij}$ und $y_{ij} = \sum_{l=1}^{K_{ij}} y_{ijl}$ definiert. Die entsprechenden Schätzer sind Y , Y_i und Y_{ij} .

Nimmt man eine Stichprobe auf allen Stufen zufällig mit Zurücklegen und proportional zu den bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten, mit Stichprobenumfängen n , m_i und k_{ij} , dann erlangt man den erwartungstreuen Schätzer Y (s. [A.1])

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i}, \text{ mit } Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}}, Y_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \quad [3.6]$$

deren Varianz ist (s.[A.2])

$$VarY = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i}{q_i} - y \right)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{q_i} \quad [3.7]$$

wobei $Var_2 Y_i$ die bedingte Varianz von Y_i bei gegebener Stichprobenauswahl auf der ersten Stufe ist. Ein erwartungstreuer Schätzer für $VarY$ ist (s. [A.3])

$$V = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{q_i} - Y \right)^2 \quad [3.8]$$

Die Merkmalswerte der aufeinanderfolgenden Segmente f, f_1, f_2, f_3 können entsprechend mit f, f_i, f_{ij}, f_{ijl} usw. bezeichnet werden und mit F, F_i, F_{ij}, F_{ijl} usw. die kumulierten Merkmalssummen (s. Abbildung 3.2). So entspricht y F , y_i F_i , y_{ij} F_{ij} und y_{ijl} F_{ijl} , wobei F die gesamte Merkmalssumme des Baumes ist. D.h.

$$F = f + \sum_{i=1}^N F_i, \text{ mit } F_i = f_i + \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} = f_i + \sum_{j=1}^{M_i} \left(f_{ij} + \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right).$$

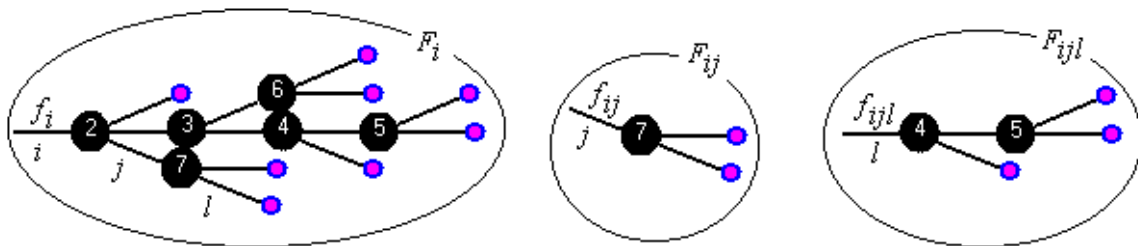


Abb. 3.2: Drei unterschiedliche Arten von Segmenten, die aus dem Baum in Abbildung 3.1 stammen, und die dazugehörigen untergeordneten Segmente: Primär- (i ; links), Sekundär- (j ; Mitte) und Tertiärsegment (l ; rechts), die entsprechende Zielgröße an den Segmenten (f_i, f_{ij}, f_{ijl}) und die kumulierten Werte (F_i, F_{ij}, F_{ijl}).

Das klassische RBS benutzt Ziehen mit Zurücklegen auf der ersten Stufe, n ist beliebig vorgegeben und $m_i = k_{ij} = 1$, d.h. zu jedem primären Astsegment (Primäreinheit) wird auf allen folgenden Stufen immer nur je ein Astsegment ausgewählt. Ein weiterer Unterschied zu den allgemeinen mehrstufigen Stichprobenverfahren liegt in der Zusammensetzung der Merkmalssummen, wie man schon oben gesehen hat. Im Fall des klassischen RBS können nicht nur die Einheiten auf der letzten Stufe sondern auch die Einheiten aller übergeordneten Stufen zur Zielgröße beitragen (s. [3.2]).

Ein erwartungstreuer Schätzer für F_i , die zu Segment i gehörige Merkmalssumme, ist nun

$$Y_i = f_i + \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} = f_i + \frac{f_{ij} + Y_{ijl} / q_{ijl}}{q_{ij}} = f_i + \frac{f_{ij}}{q_{ij}} + \frac{f_{ijl}}{q_{ij} q_{ijl}}.$$

Ein erwartungstreuer Schätzer für die gesamte Merkmalssumme F ist demnach

$$Y = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{q_i} + \frac{f_{ij}}{q_i q_{ij}} + \frac{f_{ijl}}{q_i q_{ij} q_{ijl}} \right) \quad [3.9]$$

mit der Varianz (s. [A.5])

$$VarY = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{F_i}{q_i} - \sum_{i=1}^N F_i \right)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{q_i} \quad [3.10]$$

wobei (s. [A.6])

$$\begin{aligned}
 Var_2 Y_i &= \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{q_{ij}} - \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} \right)^2 + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} \frac{Var_3 Y_{ij}}{q_{ij}} \\
 \text{und } Var_3 Y_{ij} &= \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{K_{ij}} q_{ijl} \left(\frac{f_{ijl}}{q_{ijl}} - \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right)^2
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

und dem Varianzschätzer (s. [3.8])

$$V = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} \right)^2
 \tag{3.12}$$

Dies stimmt mit [3.5] überein, da sich f dort in der Klammer nach dem Summenzeichen durch die Differenz weghebt. Insgesamt erkennt man nun unschwer das klassische RBS als Spezialfall mehrstufiger Stichprobenverfahren.

3.3 Die modifizierten RBS-Verfahren

Die modifizierten RBS-Methoden wenden das Ziehen ohne Zurücklegen entweder auf der ersten oder auf der zweiten Stufe an. Saborowski und Gaffrey (1999), die diese modifizierten RBS-Methoden entwickelten, empfehlen zur Auswahl ohne Zurücklegen mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten die Methode von Sampford (1967). Hier wird zuerst die RBS-Methode von Saborowski und Gaffrey und danach die Methode Sampfords präsentiert.

3.3.1 RBS mit Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit Zurücklegen auf allen folgenden (ZoZ-ZmZ)

Bei diesem Verfahren zieht man n Einheiten ohne Zurücklegen auf Stufe 1, $m_i \geq 1$ Einheiten mit Zurücklegen auf Stufe 2 in Primäreinheit i und $k_{ij} = \dots = 1$ Einheiten mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen. Zur Anwendung des Verfahrens braucht man eine Prozedur zur Auswahl ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe. Eine solche ist die Methode Sampfords (1967), welche die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten π_i (für eine Aufnahme der Einheit i in die Stichprobe) und $\pi_{ii'}$ (für die gemeinsame Aufnahme der Einheiten i und i' in die Stichprobe; s. Kapitel 3.3.3) erlaubt. Bei dieser Methode ist π_i proportional zur bedingten Auswahlwahrscheinlichkeit q_i , d.h. $\pi_i = n \cdot q_i$. Da es sich also um Wahrscheinlichkeiten handelt, muss sicher gestellt sein, dass $n \cdot q_i < 1$ ist.

Man erhält die mit [3.6] formal identischen Schätzer

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{\pi_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i}, \text{ mit } Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}}, Y_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \quad [3.13]$$

Die Varianz von Y und ihr Schätzer (s. [A.10] bzw. [A.11]) sind nun aber

$$VarY = \sum_{i=1}^N \sum_{i'>i}^N (\pi_i \pi_{i'} - \pi_{ii'}) \left(\frac{y_i}{\pi_i} - \frac{y_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\pi_i} Var_2 Y_i \quad [3.14]$$

und

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{i'>i}^n \frac{\pi_i \pi_{i'} - \pi_{ii'}}{\pi_{ii'}} \left(\frac{Y_i}{\pi_i} - \frac{Y_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\pi_i} V_i \quad [3.15]$$

Die Folge des Ziehens ohne Zurücklegen ist, dass auf der nächsten Stufe zur Varianzschätzung mindestens zwei Segmente ausgewählt werden müssen, also $m_i > 1$.

Ein erwartungstreuer Schätzer für F_i , die zu Segment i gehörige Merkmalssumme, ist mit $k_{ij} = 1$

$$Y_i = f_i + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} = f_i + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ij} + Y_{ijl} / q_{ijl}}{q_{ij}} = f_i + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ij}}{q_{ij}} + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ijl}}{q_{ij} q_{ijl}},$$

d.h. auf der zweiten Stufe können $m_i \geq 1$ Segmente ausgewählt werden, während auf der dritten und allen folgenden nur je 1 Segment gewählt wird. Daraus ergibt sich der erwartungstreue Schätzer für die gesamte Merkmalssumme F

$$Y = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{q_i} + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ij}}{q_i q_{ij}} + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ijl}}{q_i q_{ij} q_{ijl}} \right) \quad [3.16]$$

mit der Varianz gemäß [3.14] wobei (s. [A.13])

$$Var_2 Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{q_{ij}} - \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} \right)^2 + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} \frac{Var_3 Y_{ij}}{q_{ij}} \quad [3.17]$$

$$\text{mit } Var_3 Y_{ij} = \sum_{l=1}^{K_{ij}} q_{ijl} \left(\frac{f_{ijl}}{q_{ijl}} - \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right)^2$$

Der erwartungstreue Schätzer der Varianz [3.14] wird gemäß [3.15] und analog [3.12] mit

$$V_i = \frac{1}{m_i(m_i - 1)} \sum_{j=1}^{m_i} \left(\frac{Y_{ij}}{q_{ij}} - \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \right)^2 \quad [3.18]$$

gebildet (s. [A.14]).

Die Auswahl auf Stufe 2 ist äquivalent zu der Auswahl von m_i Pfaden aus einer Population von $M_{pfad,i}$ Pfaden innerhalb der Primäreinheit i , die an der ersten Stufe mit dem Segment i

beginnen. Jeder dieser Pfade bekommt eine Auswahlwahrscheinlichkeit $Q_{R_{ip}}$ und bringt den klassischen RBS-Schätzer \hat{F}_{ip} der gesamten Merkmalssumme ab der Primäreinheit i . Also erhält man den erwartungstreuen Schätzer für die gesamte Merkmalssumme F des Baumes

$$Y = f + \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{\pi_i} = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i}, \text{ mit } Y_i = \bar{F}_i = \frac{1}{m_i} \sum_{p=1}^{m_i} \hat{F}_{ip} \quad [3.19]$$

In diesem Fall werden [3.17] bzw. [3.18] durch

$$Var_2 Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{p=1}^{M_{p_{od,i}}} Q_{R_{ip}} (\hat{F}_{ip} - \bar{F}_i)^2 \quad [3.20]$$

bzw.

$$V_i = \frac{1}{m_i(m_i-1)} \sum_{p=1}^{m_i} (\hat{F}_{ip} - \bar{F}_i)^2, \quad \bar{F}_i = \frac{1}{m_i} \sum_{p=1}^{m_i} \hat{F}_{ip} \quad [3.21]$$

gebildet.

3.3.2 RBS mit Ziehen mit Zurücklegen auf Stufe 1, ohne Zurücklegen auf Stufe 2 und mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen (ZmZ-ZoZ-ZmZ)

Bei diesem Verfahren zieht man n Einheiten mit Zurücklegen auf Stufe 1, $t_i m_i$ Einheiten ohne Zurücklegen auf Stufe 2, $k_{ij} > 1$ Einheiten mit Zurücklegen auf Stufe 3 und 1 Einheit mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen. Wenn eine Primäreinheit i mehrfach (t_i -mal) gezogen wird, so wird bei einem vorgesehenen Stichprobenumfang m_i der zweiten Stufe eine Stichprobe vom Umfang $t_i m_i$ ohne Zurücklegen ausgewählt (s. Kapitel A.4.2, Anhang A).

Mit der Gewichtsfunktion $W_i(S) = \frac{T_i}{nq_i}$ und dem Schätzer $Y_i = \frac{1}{T_i m_i} \sum_{j=1}^{T_i m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}}$

der zweiten Stufe ergibt sich der Schätzer für die Gesamtsumme F

$$Y = \sum_{i=1}^N W_i(S) Y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} Y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \frac{1}{T_i m_i} \sum_{j=1}^{T_i m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \quad [3.22]$$

Hierin ist S die Stichprobe und T_i gibt an, wie oft die Primäreinheit i in dieser Stichprobe auftritt. Für nicht ausgewählte Einheiten ist $T_i=0$.

Ein erwartungstreuer Schätzer der Varianz von [3.22] gemäß [A.20] ist

$$V = \frac{1}{n(n-1)} \left[\sum_{i=1}^N T_i \left(\frac{Y_i}{q_i} - \sum_{i=1}^N \frac{T_i Y_i}{nq_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i^2 - T_i}{q_i^2} \right) V_i \right] \quad [3.23]$$

Bei dieser Variante des RBS zieht man zunächst n Segmente der ersten Stufe zufällig mit Zurücklegen und Auswahlwahrscheinlichkeiten q_i . So erhält man eine Realisierung $\vec{T}(s) = (t_1, \dots, t_N)$. Auf der zweiten Stufe werden dann im Spezialfall $m_i=1$ an jedem ausgewählten Segment genau t_i Segmente ohne Zurücklegen mit Aufnahmewahrscheinlichkeiten $t_i q_{ij}$ in die Stichprobe aufgenommen. Auf der dritten Stufe ist wieder $k_{ij} > 1$ notwendig, wenn eine Varianzschätzung erfolgen soll. Sonst kann man sich dort wie auch auf allen folgenden Stufen wieder auf den Stichprobenumfang 1 sowie Ziehen mit Zurücklegen mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten beschränken.

Für $m_i=1$ ergibt sich also der Schätzer (hier 4 Stufen)

$$\begin{aligned} Y &= f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} Y_i = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \right) = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{1}{q_{ij}} \left(f_{ij} + \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \right) \right) \\ &= f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{1}{q_{ij}} \left(f_{ij} + \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{1}{q_{ijl}} \left(f_{ijl} + \frac{f_{ijlr}}{q_{ijlr}} \right) \right) \right) \end{aligned}$$

mit [3.23] als Varianzschätzer, wobei

$$V_i = \sum_{j=1}^{T_i} \sum_{j' > j}^{T_i} \left(\frac{\pi_{j|i} \pi_{j'|i} - \pi_{jj'|i}}{\pi_{jj'|i}} \right) \left(\frac{Y_{ij}}{\pi_{j|i}} - \frac{Y_{ij'}}{\pi_{j'|i}} \right)^2 + \sum_{j=1}^{T_i} \frac{V_{ij}}{\pi_{j|i}}$$

und analog [3.18]

[3.24]

$$V_{ij} = \frac{1}{k_{ij}(k_{ij}-1)} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \left(\frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} - \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \right)^2$$

Die Auswahl auf Stufe 3 ist nämlich wieder äquivalent zur Auswahl von k_{ij} Pfaden aus einer Population von $K_{Pfad,ij}$ Pfaden innerhalb der Sekundäreinheit j der Primäreinheit i , die an der zweiten Stufe mit dem Segment ij beginnen. Jeder Pfad bekommt eine Auswahlwahrscheinlichkeit $Q_{R_{ijp}}$ und bringt den klassischen RBS-Schätzer \hat{F}_{ijp} der gesamten Merkmalssumme an der Sekundäreinheit j der Primäreinheit i . Also erhält man den Schätzer

$$Y = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} Y_i = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \right) = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{1}{q_{ij}} \left(\frac{1}{k_{ij}} \sum_{p=1}^{k_{ij}} \hat{F}_{ijp} \right) \right) \quad [3.25]$$

wobei wieder Y_i bzw. Y_{ij} erwartungstreue Schätzer für F_i bzw. F_{ij} , die totalen Merkmalssummen ausgehend von Primäreinheit i , bzw. von Sekundäreinheit j der

Primäreinheit i , einschließlich aller auf diese Einheiten folgenden Astsegmente der nachfolgenden Stufen sind. In diesem Fall wird [3.24] mit

$$V_{ij} = \frac{1}{k_{ij}(k_{ij}-1)} \sum_{p=1}^{k_{ij}} (\hat{F}_{ijp} - \bar{\hat{F}}_{ij})^2, \quad \bar{\hat{F}}_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \sum_{p=1}^{k_{ij}} \hat{F}_{ijp} \quad [3.26]$$

gebildet.

Die Auswahlwahrscheinlichkeit $\pi_{j|i}$ der Sekundäreinheit j innerhalb der Primäreinheit i und die Auswahlwahrscheinlichkeit $\pi_{jj|i}$ für die gemeinsame Aufnahme der Einheiten j und j' (innerhalb der Primäreinheit i) in die Stichprobe werden wieder durch die Methode von Sampford berechnet (s. Kapitel 3.3.3).

Wenn man nach einem Verfahren sucht, das vorteilhaftere Ergebnisse im Vergleich zum klassischen RBS-Verfahren (ZmZ) ausweist, erscheint das Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe (ZoZ-ZmZ) interessanter als das Ziehen ohne Zurücklegen auf der zweiten Stufe (ZmZ-ZoZ-ZmZ). Dies liegt mindestens an drei Aspekten. Der erste Aspekt hat mit der Wahrscheinlichkeit der Wiederholung von ausgewählten Einheiten zu tun. Das ZmZ-ZoZ-ZmZ unterscheidet sich nur von klassischen RBS-Verfahren (ZmZ), wenn wiederholte Auswahlen von Primäreinheiten vorkommen. D.h., wenn es an einem Baum zahlreiche Primäreinheiten gibt, wird nur selten die wiederholte Auswahl von Einheiten vorkommen, also wird das ZmZ-ZoZ-ZmZ ähnliche Ergebnisse wie das ZmZ produzieren. Der zweite Aspekt bezieht sich auf die Beschränkung $n \cdot q_i < 1$. Wegen der Beschränkung $n \cdot q_i < 1$ für das ZoZ-ZmZ braucht man zur Auswahl ohne Zurücklegen auf der Stufe 1 eine genügende Anzahl von Primäreinheiten (s. Kapitel 4.4), und wenn dabei ein Problem auftaucht, wird es innerhalb eines einzigen Knotens gelöst. Dagegen verschiebt (und multipliziert) das ZmZ-ZoZ-ZmZ das Problem zur zweiten Stufe von jeder wiederholt ausgewählten Primäreinheit mit dem erhöhten Stichprobenumfang $t_i m_i$. Der dritte Aspekt betrifft die Quelle des Vorteils des Ziehens ohne Zurücklegen im Vergleich zum Ziehen mit Zurücklegen. Der mögliche Vorteil der beiden modifizierten gegenüber dem klassischen RBS-Verfahren stammt vom Ziehen ohne Zurücklegen ab. Wahrscheinlich wird der Vorteil größer, wenn das Ziehen ohne Zurücklegen auf der kleinsten Stufe praktiziert wird, d.h. mit der Anwendung des ZoZ-ZmZ.

3.3.3 Die Methode Sampfords zur Schätzung und Auswahl ohne Zurücklegen mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten

Unterschiedliche Auswahlmethoden sind vorgeschlagen worden, um π_i und $\pi_{ii'}$, d.h. die Auswahlwahrscheinlichkeit der Einheit i bzw. die Wahrscheinlichkeit für die gemeinsame Aufnahme der Einheiten i und i' in die Stichprobe, zur Verfügung zu stellen (siehe z.B. Grundy 1954, Fellegi 1963, Hartley und Rao 1962). Mit den meisten dieser Methoden ist die Bestimmung der $\pi_{ii'}$ fast unmöglich für Stichprobenumfänge grösser als 2 (Sampford 1967, Stevens 1958; siehe auch Yates und Grundy 1953, Durbin 1967, Brewer und Hanif 1970), mit dem Resultat, dass Näherungsformeln für den Standardfehler verwendet werden müssen.

Sampford (1967) löst das oben genannte Problem. Er verallgemeinert das Verfahren von Durbin (1967) (siehe Cochran 1967, S. 261-262) auf $n > 2$ und gibt Formeln zur Berechnung von π_i und $\pi_{ii'}$ sowie Prozeduren zur Auswahl der Stichprobe. Gemäß Sampford (1967) ist

$$\pi_i = n \cdot q_i \text{ und } \pi_{ii'} = K_n \lambda_i \lambda_{i'} \sum_{t=2}^n \frac{[t - n(q_i + q_{i'})] L_{n-t}(\bar{i}\bar{i}')}{n^{t-2}}$$

$$\text{mit } K_n = \left(\sum_{t=1}^n \frac{t L_{n-t}}{n^t} \right)^{-1} \text{ und } \lambda_i = \frac{q_i}{1 - nq_i}.$$

Sampford bezeichnet als $S(m)$ eine Menge von $m \leq N$ Einheiten i_1, i_2, \dots, i_m und definiert L_m als $L_0=1$, $L_m = \sum_{S(m)} \lambda_{i_1} \lambda_{i_2} \dots \lambda_{i_m}$ ($1 \leq m \leq N$), wobei die Summe alle mögliche Teilmengen von m Einheiten der Population einschließt; $L_m(\bar{i}\bar{i}')$ ist ähnlich definiert, aber sie bezieht sich auf eine Population wo man die Einheiten i und i' gelöscht hat.

Zur Auswahl einer Stichprobe vom Umfang n ohne Zurücklegen und mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten beschreibt Sampford (1967) drei Varianten: (a) Man berechnet die Wahrscheinlichkeiten $P(s)$ für alle möglichen Stichproben s vom Umfang n und wählt eine davon diesen Wahrscheinlichkeiten gemäß aus; (b) Man zieht die n Segmente ohne Zurücklegen sequentiell mit nach jedem Zug angepassten Auswahlwahrscheinlichkeiten, d.h. im ersten Zug mit Wahrscheinlichkeit p_i (berechnet aus den q_i), im zweiten mit korrigierten Wahrscheinlichkeiten p_{ji} aus den verbleibenden Segmenten, usw.; und (c) Man zieht n Segmente mit Zurücklegen, das erste mit Wahrscheinlichkeit q_i , alle weiteren mit Wahrscheinlichkeit $\lambda_i / \sum_{i=1}^N \lambda_i$. Enthält diese Stichprobe n unterschiedliche Segmente, so

wird sie akzeptiert, sonst wird eine neue nach dem selben Verfahren gezogen, so lange bis alle Segmente einer Stichprobe unterschiedlich sind. Die Variante (b), die mit Blick auf die erforderlichen Rechenzeiten am geeignetsten erscheint, wird im folgenden näher beschrieben.

Gemäß Variante (b) von Sampford (1967) zur Auswahl einer Stichprobe vom Umfang n ohne Zurücklegen und ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten sind die Auswahlwahrscheinlichkeiten für das erste bzw. letzte Ziehen

$$q_{i_1} = c_1 \cdot q_i \left(n \cdot K_n^{-1} - L_{n-1}(\bar{i}) \right), \text{ mit } c_1 = \frac{K_n}{n-1}; \quad q_{i_n | i_1 \dots i_{n-1}} = q_i \left(1 - \sum_{j=1}^{n-1} q_j \right)^{-1}$$

Die Auswahlwahrscheinlichkeiten für jedes andere Ziehen z mit $(2 \leq z \leq n-1)$ berechnet man durch

$$q_{i_z | i_1 \dots i_{z-1}} = c_z \lambda_i \sum_{t=z+1}^n \left(t - n \sum_{j=1}^z q_j \right) \frac{L_{n-t}(\bar{i} \dots \bar{z})}{n^{t-z}}, \text{ mit } c_z = \frac{c_{z-1}}{n-z} \cdot \frac{\lambda_{z-1}}{q_{z-1}}.$$

4. Effizienzsteigerung der RBS-Schätzung, theoretische Ergebnisse

Hier werden Faktoren analysiert, welche die Varianz der RBS-Schätzung beeinflussen. Die direkte oder indirekte Veränderung dieser Faktoren wirkt sich auf die Varianz des Schätzers aus. Die Analyse schließt einen analytischen Vergleich zwischen Ziehen ohne und Ziehen mit Zurücklegen ein, sowie Möglichkeiten zur Varianzreduzierung.

4.1 Die Beziehung zwischen der Hilfs- und der Zielgröße und ihre Bedeutung im Rahmen mehrstufiger Stichproben mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten

Im Rahmen der Auswahl mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten ist eine geeignete Hilfsgröße zu definieren, mit der die Auswahlwahrscheinlichkeit jeder Einheit bestimmt werden kann. Die Hilfsgröße soll billig bzw. einfach zu messen oder schätzen als auch stark mit der zu schätzenden Zielgröße korreliert sein. Im Fall einstufiger Stichproben mit sowie ohne Zurücklegen ist die beste Hilfsgröße diejenige, die proportional zum Wert der Zielgröße jeder Einheit ist; wenn eine genaue Proportionalität existierte, wäre die Varianz des Schätzers gleich null und die Stichprobenaufnahme optimal (Horvitz und Thompson 1952, Hartley und Rao 1962, Cochran 1977, S. 255).

Im Fall des klassischen RBS mit z.B. 3 Stufen, ist die Varianz des Schätzers Y , gemäß [3.10] und [3.11] mit $m_i = k_{ij} = 1$

$$\begin{aligned} VarY = & \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{F_i}{q_i} - \sum_{i=1}^N F_i \right)^2 \\ & + \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} q_i q_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{q_i q_{ij}} - \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{l=1}^{K_{ij}} q_i q_{ij} q_{ijl} \left(\frac{f_{ijl}}{q_i q_{ij} q_{ijl}} - \frac{1}{q_i q_{ij}} \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right)^2 \right] \quad [4.1] \end{aligned}$$

Nun seien $q_i = x_i / \sum_{i=1}^N x_i$, $q_{ij} = x_{ij} / \sum_{j=1}^{M_i} x_{ij}$ und $q_{ijl} = x_{ijl} / \sum_{l=1}^{K_{ij}} x_{ijl}$, wobei x_i bzw. x_{ij} und x_{ijl} der Wert der Hilfsgröße der Primäreinheit i bzw. der Sekundäreinheit j von Primäreinheit i und der Tertiäreinheit l der Sekundäreinheit j der Primäreinheit i sind. Im Falle, dass $x_i \propto F_i$, d.h. wenn die Hilfsgröße (oder die entsprechende Auswahlwahrscheinlichkeit) proportional zum Wert der kumulierten Zielgröße ab der i -ten Primäreinheit ist, ist $q_i = F_i / F$ und der Wert zwischen den Klammern im ersten Summand in [4.1] wäre $F \cdot (F_i / F) - F = 0$; entsprechend wäre im Fall $x_{ij} \propto F_{ij}$ auch $q_{ij} = F_{ij} / F_i$, und der Wert zwischen den Klammern im zweiten Summand in [4.1] wäre $F F_i \cdot [F_{ij} / (F_i F_{ij})] - F = 0$; schließlich folgt für $x_{ijl} \propto f_{ijl}$

dann $q_{ijl} = f_{ijl} / F_{ij}$ und auch der Wert zwischen den Klammern im dritten Summand in [4.1] wäre $FF_i F_{ij} \cdot [f_{ijl} / (F_i F_{ij} f_{ijl})] - F = 0$, so dass letztendlich [4.1] gleich null wäre.

Das selbe Resultat kann man bei RBS mit Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1 erwarten. Die Varianz eines solchen Schätzers gemäß [3.14] und [3.17] ist

$$\begin{aligned} VarY = & \sum_{i=1}^N \sum_{i'>i}^N (\pi_i \pi_{i'} - \pi_{ii'}) \left(\frac{y_i}{\pi_i} - \frac{y_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 \\ & + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_i q_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{q_i q_{ij}} - \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} \right)^2 + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{l=1}^{K_{ij}} q_i q_{ij} q_{ijl} \left(\frac{f_{ijl}}{q_i q_{ij} q_{ijl}} - \frac{1}{q_i q_{ij}} \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad [4.2]$$

Hier ist $y_i = F_i$, $y_{i'} = F_{i'}$, $\pi_i = n \cdot q_i$ und $\pi_{i'} = n \cdot q_{i'}$. Im Falle, dass $x_i \propto y_i$, folgt $q_i = y_i / y$, und der Wert zwischen den großen Klammern im ersten Summand in [4.2] wäre $\frac{1}{n} [y \cdot (y_i / y_i) - y \cdot (y_{i'} / y_{i'})] = 0$, usw.

So lässt sich die oben zitierte Aussage von Cochran ohne weiteres auf mehrstufige Stichproben übertragen. Die Analyse zeigt eindeutig, dass bei RBS-Stichproben eine Hilfsgröße ausgewählt werden sollte, die eine starke Beziehung zwischen F_i und q_i , bzw. F_{ij} und q_{ij} , f_{ijl} und q_{ijl} usw., d.h. zwischen der bedingten Auswahlwahrscheinlichkeit eines Segmentes und dem kumulierten Wert der Zielgröße an allen zugehörigen untergeordneten Segmenten, erzeugt. Eine graphische Darstellung einer solchen starken Beziehung soll innerhalb jeder Stufe eine Gerade durch den Nullpunkt bilden. Für den Vergleich unterschiedlicher Hilfsgrößen anhand voll aufgenommener Bäume ist dieser Zusammenhang nur schwer zu analysieren. Dazu müsste an jedem Knoten die angestrebte Proportionalität geprüft werden, was in vielen Fällen allzu aufwendig sein wird. Als praktikable Näherungslösung hat sich stattdessen die Gegenüberstellung der unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten aller Segmente und der zugehörigen Zielgrößen oberhalb jedes Segmentes erwiesen, also der q_i , $q_i q_{ij}$, $q_i q_i q_{ijl}$ usw. und der F_i , F_{ij} , F_{ijl} usw. Eine straffe Beziehung zwischen der Zielgröße und der Auswahlwahrscheinlichkeit sichert Schätzungen mit hoher Präzision. Umgekehrt ist eine große Variabilität des Schätzers unter schwachen Beziehungen zu erwarten.

Im Fall einer schwachen Beziehung zwischen den bedingten Wahrscheinlichkeiten der Segmente und den entsprechenden kumulierten Werten kann man klassische Maßnahmen wie Transformationen der Hilfsgröße verwenden oder eine neue Hilfsgröße auswählen. Andere

Möglichkeiten sind das „Löschen“ von größeren Segmenten und die Stratifizierung der Baumkrone (s. Kapitel 4.2).

4.2 Die Baumkronenstruktur, das Löschen von Segmenten und die Stratifizierung

Der Schätzer aus RBS-Stichproben hängt sowohl vom kumulierten Wert der Zielgröße ab einer bestimmten Stufe als auch von der bedingten (und damit auch von der unbedingten) Auswahlwahrscheinlichkeit der Segmente der Pfade ab. Also könnte die Variabilität der Länge der Pfade (Segmentanzahl jedes Pfades), die abhängig von der Struktur der Baumkrone ist, eine Rolle für die Varianz des Schätzers spielen (s. Kapitel 4.1), d.h. man kann durch geeignete Veränderung einer dieser Variablen die Varianz des Schätzers reduzieren. Im folgenden Abschnitt werden Faktoren analysiert, die mit der Kronenstruktur und der Auswahlwahrscheinlichkeit zusammenhängen.

Der Begriff „Kronenstruktur“, wie er hier angewandt wird, bezieht sich auf die Verteilung der Astsegmente innerhalb der Baumkrone. So kann man, mit Blick auf die Anzahl von Segmenten je Pfad, regelmäßige und unregelmäßige Kronen unterscheiden. Obwohl diese Unterteilung grob ist, ist sie günstig zur Erklärung der Rolle der Kronenstruktur für die Schätzung von Kronenmerkmalen. Die regelmäßige Krone besteht aus Pfaden mit gleichen Längen und bietet, so lange die Zielgröße auf die Segmente günstig verteilt ist, eine gute Möglichkeit zur Anwendung des RBS ohne zusätzliche Behandlung am Baum. Solche Kronen kann man z.B. in jungen, frei gewachsenen Nadelbäumen finden (s. Abbildung 4.1).

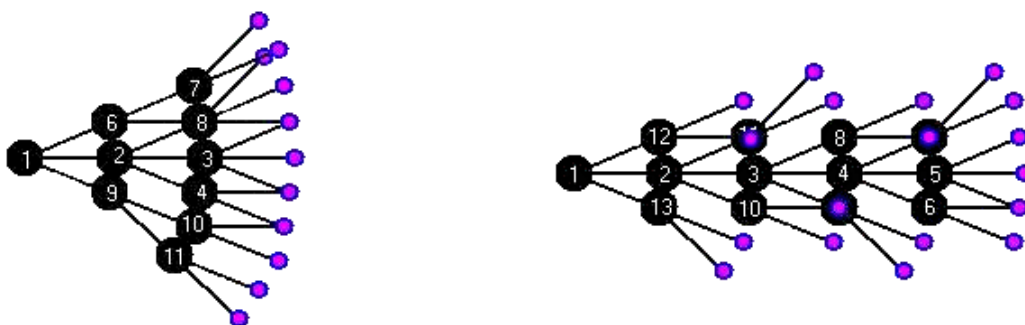


Abb. 4.1: Zweidimensionale Darstellung von zwei verschiedenen Kronenstrukturen: regelmäßig (links), mit Pfaden, die sämtlich aus drei Segmenten bestehen, und unregelmäßig (rechts) mit Pfaden unterschiedlicher Längen (zwei bis fünf Segmente).

Die unregelmäßige Krone ist vor allem in Bäumen zu finden, die innerhalb von dichten Beständen aufgewachsen sind. Dieser Kronentyp besteht aus Pfaden mit ungleichen Längen, die wegen der unterschiedlichen Auswahlwahrscheinlichkeiten der Pfade eine große Varianz

des Schätzers verursachen können. In diesem Kronentyp ist es möglich, große Segmente zu löschen oder die Krone zu stratifizieren, um damit die Varianz des Schätzers zu verringern.

Das Konzept „Löschen von Segmenten“, wie es hier angewandt wird, bedeutet die Auswahl mit Wahrscheinlichkeit 1 derjenigen Segmente, die eine große Auswahlwahrscheinlichkeit besitzen. Das bedeutet zum einen, dass diese Segmente auf alle Fälle gemessen werden, zum anderen eine Veränderung der Struktur der Baumkrone und der Kategorisierung der Segmente innerhalb der Baumkrone, d.h. manche Sekundärsegmente werden Primärsegmente, Tertiärsegmente werden Sekundärsegmente usw.

Das Löschen eines Segmentes eines Knotens bedeutet, dass der Knoten am Ende des gelöschten Segmentes gelöst wird und alle seine entsprechenden Segmente im vorhergehenden Knoten eingegliedert werden. Durch das Löschen werden manche Pfade kürzer und die Segmente, die am Knoten bleiben, bilden zusammen mit den Segmenten des aufgelösten Knotens einen größeren Knoten (s. Abbildung 4.2). So werden nicht nur die bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten dieser Segmente, sondern auch die unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten aller Segmente in den untergeordneten Stufen verändert.

Wenn man die dicksten Segmente löscht, die sich normalerweise im unteren Teil des Baumes befinden, kann sich dies auf die unbedingte Auswahlwahrscheinlichkeit aller Segmente des Baumes auswirken. Also wird die Varianz des Schätzers durch das Löschen beeinflusst (s. [4.1] und [4.2]).

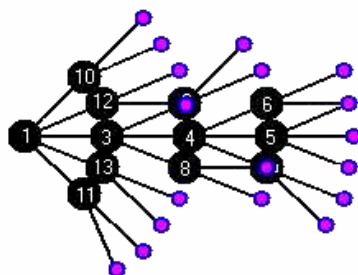


Abb. 4.2: Löschen des mittleren Segmentes des Knotens 1 des Baumes in Abbildung 4.1 rechts.

Die Stratifizierung der Baumkrone erscheint ebenfalls als ein effizientes Hilfsmittel zur Varianzreduzierung. Ihre Anwendung an der Baumkrone produziert eine Reduktion der Länge der Pfade und eine Veränderung der unbedingten Wahrscheinlichkeiten aller Pfade in allen Straten außer dem ersten Stratum im unteren Teil der Krone. Teilt man z.B. die Krone in

Abbildung 4.3 links in zwei Straten, so kann man im oberen Teil der Krone eine Beziehung zwischen der unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeit und dem kumulierten Wert der Zielgröße wie im unstratifizierten Baum erwarten. Im unteren Stratum dagegen ist ein starker Einfluß der größeren Segmente zu erwarten (s. Abbildung 4.3), indem gerade dem wahrscheinlich starken Segment zwischen den Knoten 1 und 2 nur noch eine sehr geringe kumulierte Zielgröße an den untergeordneten Segmenten gegenübersteht. Hier wäre das Löschen von größeren Segmenten sinnvoll.

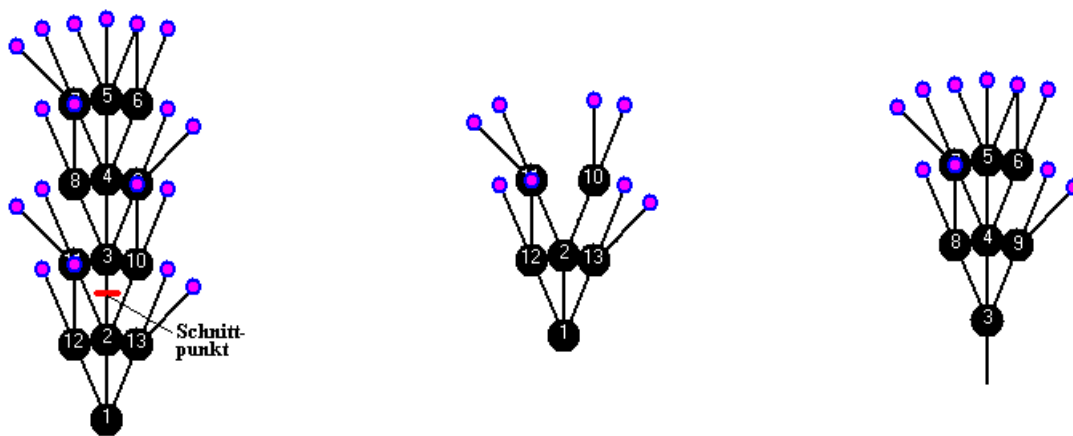


Abb. 4.3: Bildung von zwei Straten aus dem Baum in Abbildung 4.1 rechts. Die Stratifizierung homogenisiert die Länge der Pfade. Der ursprüngliche Baum (links) besteht aus Pfaden von 2 bis 5 Segmenten. Dagegen besitzen beide Straten (Mitte und rechts) Pfade mit 2 und 3 Segmenten. Alle Pfade im Stratum 2 (rechts) sind kürzer geworden.

4.3 Die Effizienz des Ziehens ohne Zurücklegen auf der Stufe 1 im Vergleich zum Ziehen mit Zurücklegen

Die wiederholte Auswahl von Einheiten, die durch das Ziehen mit Zurücklegen (ZmZ) wahrscheinlich ist, könnte zu einer geringeren Effizienz des ZmZ gegenüber dem Ziehen ohne Zurücklegen (ZoZ) führen. Bei einfachen Zufallsstichproben mit gleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten ist das Verhältnis der Fehlervarianzen von ZmZ zu ZoZ $(N-1)/(N-n)$ (s. Saborowski und Gaffrey 1999); d.h. der Präzisionsgewinn, den das ZoZ verursacht, hängt nur vom Stichprobenumfang ab. Je größer der Stichprobenumfang desto präziser ist das ZoZ im Vergleich zu ZmZ. Bei mehrstufigen Verfahren wird der Präzisionsgewinn innerhalb der Stufe 1 in Abhängigkeit von den Varianzen innerhalb der Folgestufen reduziert. Dies erkennt man folgendermaßen.

Bei mehrstufigen Verfahren mit gleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten ist das Verhältnis der Fehlervarianzen von ZmZ zu ZoZ (Schätzung von $\sum_{i=1}^N y_i$)

$$\frac{\frac{N}{n}(N-1)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \text{Var}_2 Y_i}{\frac{N}{n}(N-n)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \text{Var}_2 Y_i} = \frac{(n-1)\sigma^2 + (N-n)\sigma^2 + \sum_{i=1}^N \text{Var}_2 Y_i}{(N-n)\sigma^2 + \sum_{i=1}^N \text{Var}_2 Y_i} = 1 + \frac{(n-1)}{(N-n) + \frac{\sum_{i=1}^N \text{Var}_2 Y_i}{\sigma^2}}$$

$$\leq 1 + \frac{N-1}{N} \frac{\sigma^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Var}_2 Y_i}$$

d.h. der Präzisionsgewinn findet nur in der Stufe statt, wo das ZoZ angewandt wird, da der Beitrag der folgenden Stufen zur Varianz unverändert bleibt. Der Präzisionsgewinn, der innerhalb der Stufe 1 wegen des ZoZ produziert wird, wird in Abhängigkeit von den Varianzen innerhalb der Folgestufen reduziert. Der Vorteil des ZoZ im Vergleich zu ZmZ hängt vom Verhältnis der Varianz zwischen den Primäreinheiten zu den Varianzen innerhalb der Folgestufen und vom Stichprobenumfang ab. Je größer das Verhältnis und je größer der Stichprobenumfang desto größer ist der Präzisionsgewinn des ZoZ im Vergleich zu ZmZ.

Bei mehrstufigen Verfahren mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten ist das Verhältnis der Fehlervarianzen von ZmZ ($\text{Var}_m Y$) zu ZoZ ($\text{Var}_o Y$) gemäß [3.7] und [3.14]

$$\frac{\text{Var}_m Y}{\text{Var}_o Y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i}{q_i} - y \right)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{\text{Var}_2 Y_i}{q_i}}{\sum_{i=1}^N \sum_{i'>i}^N (\pi_i \pi_{i'} - \pi_{i i'}) \left(\frac{y_i}{\pi_i} - \frac{y_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \frac{1}{\pi_i} \text{Var}_2 Y_i} \quad [4.3]$$

Daraus wird klar, dass der Präzisionsgewinn, den das ZoZ innerhalb der Stufe 1 verursacht, wieder in Abhängigkeit von den Varianzen innerhalb der Folgestufen reduziert wird. Je größer das Verhältnis der Varianz zwischen den Primäreinheiten zu der gesamten Varianz ist, desto größer ist der Präzisionsgewinn.

Der erste Summand im Zähler von [4.3] ist äquivalent zu

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i - y q_i}{q_i} \right)^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{q_i^2} (y_i - y q_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{1}{q_i} (y_i^2 - 2y y_i q_i + y^2 q_i^2) \\ &= \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{q_i} - 2y \sum_{i=1}^N y_i + y^2 \sum_{i=1}^N q_i \right] \end{aligned}$$

d.h. wegen $\sum_{i=1}^N q_i = 1$

$$Var_m Y = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{q_i} - y^2 \right) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{q_i} \quad [4.4]$$

Der erste Summand im Nenner von [4.3] mit $y^2 = \sum_{i=1}^N y_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N y_i y_{i'}$ ist nach Cochran (1977, S. 260) äquivalent zu

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \frac{(1-\pi_i)}{\pi_i} y_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{(\pi_{ii'} - \pi_i \pi_{i'})}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'} &= \sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{\pi_i} - \sum_{i=1}^N y_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'} - \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N y_i y_{i'} \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{\pi_i} + \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'} - y^2 \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{\pi_i} - \frac{y^2}{n} - \frac{(n-1)y^2}{n} + \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'} \end{aligned}$$

und mit $\pi_i = n \cdot q_i$ und $m_i = 1$ für das ZoZ-ZmZ

$$Var_o Y = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{q_i} - y^2 \right) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{q_i} + \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'} - \frac{(n-1)y^2}{n}, \text{ d.h.}$$

$$Var_o Y = Var_m Y - \left(\frac{(n-1)y^2}{n} - \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'} \right) \quad [4.5]$$

Daraus erscheint klar, dass der Präzisionsgewinn des ZoZ von der Differenz in der Klammer abhängt. Die Größenordnung des Präzisionsgewinns hängt also auch wieder von der Varianz innerhalb der untergeordneten Stufen (zweiten usw.) ab, und ein Vorteil für ZoZ existiert immer, wenn

$$\frac{n-1}{n} - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'}}{y^2} > 0 \quad [4.6]$$

Falls eine exakt proportionale Beziehung zwischen der Auswahlwahrscheinlichkeit und der Zielgröße an den Primäreinheiten existiert, sind sowohl y_i / π_i als auch $y_{i'} / \pi_{i'}$ fehlerfreie Schätzungen von y/n und die Ungleichung [4.6] mit $\sum_{i' \neq i}^N \pi_{ii'} = (n-1)\pi_i$ nach Cochran

(1977, S. 259) wird $\frac{n-1}{n} - \frac{\frac{y^2}{n^2} \sum_{i=1}^N (n-1)\pi_i}{y^2} = 0$. D.h. wenn eine straffe Beziehung zwischen

der Zielgröße an den Primäreinheiten und der Auswahlwahrscheinlichkeit existiert, kann man nur einen kleinen Präzisionsgewinn des ZoZ im Vergleich zu ZmZ erwarten, oder umgekehrt,

nur wenn eine schwache Beziehung zwischen der Auswahlwahrscheinlichkeit und der Zielgröße an den Primäreinheiten existiert, kann man präzisere Schätzungen mit der Anwendung des ZoZ als mit ZmZ erwarten. Cochran (1977, S. 309) berichtet über Fälle, in denen der Vorteil des ZoZ bei einstufigen Verfahren im Durchschnitt bei 29% liegt und bei mehrstufigen Verfahren bei 8%.

4.4 Folgerungen des Ziehens ohne Zurücklegen

Das ZoZ auf einer Stufe hat zwei Beschränkungen als Folge. Erstens, für jede Einheit i in der Stufe, auf die das ZoZ angewandt wird (z.B. Stufe 1) muss sicher gestellt sein, dass $n \cdot q_i < 1$ (siehe 3.3.1). Zweitens, auf der folgenden Stufe (z.B. Stufe 2) müssen zur Varianzschätzung mindestens zwei Segmente ausgewählt werden.

Die Beschränkung $n \cdot q_i < 1$ begrenzt den Stichprobenumfang und könnte unter bestimmten Umständen problematisch sein. Wegen dieser Beschränkung ist das maximal mögliche n durch das maximale q_i , d.h. den Wert der Hilfsgröße des größten Segmentes am Knoten, gegeben ($n < 1/q_i$). Das maximal mögliche n ist sehr klein, wenn q_i groß ist, z.B. wenn man den Hauptstamm als ein Segment berücksichtigt. Dieses Problem kann teilweise durch das Löschen von größeren Segmenten gelöst werden, eine Operation, die sich auch auf die Varianz des Schätzers auswirken wird (s. Kapitel 4.2).

Ein weiteres Thema ist die Frage der Stichprobenumfänge in den unterschiedlichen Stufen, d.h. wie wählt man n und m_i , um die Varianz des Schätzers zu minimieren. Im folgenden wird eine Analyse zu dieser Frage präsentiert.

4.4.1 Die theoretische Effizienz des Ziehens ohne Zurücklegen auf der Stufe 1

Ohne Berücksichtigung von Kosten kann die effizienteste Kombination von n und m_i durch folgende Analyse hergeleitet werden. λ sei der Faktor, der die Vergrößerung bzw. Verkleinerung von n und m_i beschreibt, d.h. teilt man m_i durch λ , so multipliziert man n mit λ , damit die gesamte Anzahl gemessener Segmente konstant bleibt (Teilbarkeit vorausgesetzt).

Beim zweistufigen Verfahren mit gleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten und ZmZ auf beiden Stufen ist das Verhältnis der Fehlervarianzen von $ZmZ^{(\lambda)}$ zu ZmZ

$$\frac{\frac{N}{\lambda n}(N-1)\sigma^2 + \frac{N}{\lambda n} \sum_{i=1}^N \lambda \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2}{\frac{N}{n}(N-1)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2} = \frac{\frac{N}{\lambda n}(N-1)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2}{\frac{N}{n}(N-1)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2} < 1$$

d.h. bei ZmZ auf beiden Stufen ist es immer besser, viele Primäreinheiten und dafür entsprechend weniger Sekundäreinheiten aufzunehmen, solange Kosten außer Acht bleiben. Dies unterstützt die Wahl $m_i = k_{ij} = \dots = 1$ beim klassischen RBS. Die Verringerung der Varianz des Schätzers ist das Resultat der erhöhten Präzision innerhalb der ersten Stufe. Da der Beitrag der zweiten Stufe zur Varianz unverändert bleibt, hängt die Größenordnung des Präzisionsgewinns auch von der Varianz innerhalb der untergeordneten Stufen ab.

Bei einem zweistufigen Verfahren mit gleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten und ZoZ auf der ersten Stufe und ZmZ auf der zweiten Stufe ist das Verhältnis der Fehlervarianzen von ZoZ-ZmZ^(λ) zu ZoZ-ZmZ

$$\frac{\frac{N}{\lambda n}(N-\lambda n)\sigma^2 + \frac{N}{\lambda n} \sum_{i=1}^N \lambda \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2}{\frac{N}{n}(N-n)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2} = \frac{\frac{N}{\lambda n}(N-\lambda n)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2}{\frac{N}{n}(N-n)\sigma^2 + \frac{N}{n} \sum_{i=1}^N \frac{M_i(M_i-1)}{m_i} \sigma_i^2} < 1$$

d.h. die Varianz innerhalb der ersten Stufe wird gemäß $(N-\lambda n)/[\lambda(N-n)]$ reduziert. Das Verhältnis des ZmZ^(λ) zu ZoZ^(λ) innerhalb der ersten Stufe ist $(N-1)/(N-\lambda n)$. D.h. für das ZoZ auf der ersten Stufe ergibt sich durch $\lambda > 1$ ein noch stärkerer Präzisionsgewinn im Vergleich zu ZmZ, da der Faktor λ an zwei Stellen zu einer Verkleinerung der Varianzkomponente $\frac{N}{n}(N-n)\sigma^2$ beiträgt.

Bei mehrstufigen Verfahren mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten sind die selben Auswirkungen der Vergrößerung bzw. Verkleinerung von n und m_i durch den Faktor λ zu erwarten. Das ist eindeutig im Fall eines zweistufigen Verfahrens mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten und ZmZ auf beiden Stufen, da für das Verhältnis der Fehlervarianzen von ZmZ-ZmZ^(λ) zu ZmZ-ZmZ gilt

$$\frac{\frac{1}{\lambda n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i}{q_i} - y \right)^2 + \frac{1}{\lambda n} \left[\sum_{i=1}^N \frac{\lambda}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_i q_{ij} \left(\frac{y_{ij}}{q_i q_{ij}} - \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{M_i} y_{ij} \right)^2 \right]}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i}{q_i} - y \right)^2 + \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^N \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_i q_{ij} \left(\frac{y_{ij}}{q_i q_{ij}} - \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{M_i} y_{ij} \right)^2 \right]} < 1$$

Daraus erscheint klar, dass es wieder besser ist, viele Primäreinheiten und dafür entsprechend weniger Sekundäreinheiten aufzunehmen. Solange Kosten außer Acht bleiben, ist die effizienteste Option zur Anwendung des Verfahrens diejenige mit $m_i = 1$.

Bei mehrstufigen Verfahren ZoZ-ZmZ mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten ist das Verhältnis der Fehlervarianzen von ZoZ-ZmZ^(λ) zu ZoZ-ZmZ nach [3.14] und [3.17] sowie mit $\pi_i = n \cdot q_i$ und $\sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{\pi_i} + \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{\pi_i \pi_{i'}} y_i y_{i'} - y^2$, einem Zwischenergebnis vor [4.5], das die

Varianz innerhalb Primäreinheiten für das ZoZ repräsentiert

$$\frac{\frac{1}{\lambda n} \sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{q_i} + \frac{1}{\lambda^2 n^2} \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}^{(\lambda)}}{q_i q_{i'}} y_i y_{i'} - y^2 + \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^N \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_i q_{ij} \left(\frac{y_{ij}}{q_i q_{ij}} - \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{M_i} y_{ij} \right)^2 \right]}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{y_i^2}{q_i} + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^N \sum_{i' \neq i}^N \frac{\pi_{ii'}}{q_i q_{i'}} y_i y_{i'} - y^2 + \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^N \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_i q_{ij} \left(\frac{y_{ij}}{q_i q_{ij}} - \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{M_i} y_{ij} \right)^2 \right]} < 1$$

Aus dieser Relation sind die Auswirkungen des Faktors λ nicht klar zu erkennen, da der Faktor λ im zweiten Summand im Zähler der Relation sowohl den Nenner als auch die Wahrscheinlichkeit $\pi_{ii'}$ beeinflusst.

4.4.2 Alternative Schätzer der Varianz bei Ziehen ohne Zurücklegen auf der Stufe 1, mit $m_i = 1$

Das ZoZ auf der Stufe 1 mit $m_i = 1$ wäre ohne Berücksichtigung von Kosten optimal (s. oben), aber in dieser Situation ist es unmöglich die Varianz des Schätzers erwartungstreu zu schätzen. Drei mögliche Varianzschätzer sollen nun diskutiert werden.

Die erste Möglichkeit für das ZoZ auf der Stufe 1 mit $m_i = 1$ wäre die Schätzung der Varianz durch die Formel des klassischen RBS. Diese Schätzung ist jedoch verzerrt (Durbin 1953, 1967). Die Frage ist, wie groß die Verzerrung ist und von welchen Faktoren sie abhängt.

Der Präzisionsgewinn des ZoZ im Vergleich zu ZmZ hängt von der Straffheit der Beziehung zwischen der Zielgröße und der Auswahlwahrscheinlichkeit an den Primäreinheiten ab (s. Kapitel 4.3). Obwohl die Größenordnung des Unterschiedes zwischen den entsprechenden Varianzen analytisch schwer zu erkennen ist, kann man keinen Unterschied zwischen den entsprechenden Varianzen erwarten, wenn die Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit exakt proportional ist. Die Formel des ZmZ sollte gute Schätzungen der Varianz des ZoZ bieten, wenn eine straffe Beziehung zwischen der Zielgröße und der Auswahlwahrscheinlichkeit existiert. Da die Formel des ZmZ die Varianz des ZoZ überschätzt, sollte diese Schätzung als konservativ berücksichtigt werden. Der Varianzschätzer gemäß [3.5] ist

$$V_{a1} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{p=1}^n \left(\hat{F}_p - \bar{\hat{F}} \right)^2, \text{ mit } \bar{\hat{F}} = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n \hat{F}_p \text{ und } \hat{F}_p = f + \sum_{s=1}^{R_p} \frac{f_s}{Q_s} \quad [4.6]$$

Die Größenordnung der Überschätzung der Varianz des ZoZ, welche die Formel des ZmZ in Fällen mit einer schwachen Beziehung zwischen der Zielgröße und der Auswahlwahrscheinlichkeit bringen sollte, hängt vom Stichprobenumfang ab. Man könnte diese Überschätzung durch einen Korrekturfaktor verringern. Dieser Faktor, der aus den Auswahlwahrscheinlichkeiten der ausgewählten Pfade abgeleitet wird, spielt die Rolle der Endlichkeitskorrektur $(1 - n/N)$ bei der einfachen Zufallsstichprobe. Wenn man jeden Pfad als einzigartige Einheit berücksichtigt, entspricht das ZoZ von n Primäreinheiten und $m_i = k_{ij} = \dots = 1$ Einheiten auf den folgenden Stufen etwa einer Auswahl ohne Zurücklegen von n Pfaden aus einer Population von insgesamt N_{Pfade} Pfaden. Jeder ausgewählte Pfad bekommt eine Auswahlwahrscheinlichkeit $\pi_p = n \cdot Q_{R_p}$ und ergibt eine Schätzung \hat{F}_p der gesamten Zielgröße am Baum. Da Q_{R_p} bei identischen Auswahlwahrscheinlichkeiten $1/N$ entspricht, könnte man versuchen, analog zu $(1 - n/N)$ den Korrekturfaktor $1 - \sum_{p=1}^n Q_{R_p}$ zu verwenden. Der Varianzschätzer ist dann

$$V_{a2}(Y) = K \cdot V_{a1}(Y), \text{ mit } K = 1 - \sum_{p=1}^n Q_{R_p} \quad [4.7]$$

wobei $V_{a1}(Y)$ die Varianzschätzung des ZoZ durch die Formel des ZmZ ist.

Den dritten Varianzschätzer erlangt man direkt durch die Anwendung des Horvitz-Thompson-Schätzers. Dazu wird jeder ausgewählte Pfad als Stichprobeneinheit betrachtet, welche die

Auswahlwahrscheinlichkeit $\pi_p = n \cdot Q_{R_p}$ bekommt und die Schätzung Y_p der gesamten Zielgröße ab einem Primärsegment liefert. Der Varianzschätzer für $f + \sum_{p=1}^n \frac{Y_p}{\pi_p}$ ist

$$V = \sum_{p=1}^n \sum_{p' > i}^n \left(\frac{\pi_p \pi_{p'} - \pi_{pp'}}{\pi_{pp'}} \right) \left(\frac{Y_p}{\pi_p} - \frac{Y_{p'}}{\pi_{p'}} \right)^2 \quad [4.8]$$

wobei $\pi_{pp'}$ die Wahrscheinlichkeit für die gemeinsame Aufnahme der Pfade p und p' in der Stichprobe ist (s. Kapitel 3.3.3). Streng genommen wird in der gegenwärtigen Anwendung die Stichprobe ohne Zurücklegen und mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten nicht von der Population der Pfade gezogen. Wenn dies der Fall wäre, wäre [4.8] erwartungstreuer Varianzschätzer.

Der letzte Varianzschätzer [4.8] könnte als HTh-Sampford_{approx} bezeichnet werden, da hier die Wahrscheinlichkeiten $\pi_{pp'}$, die durch die Methode Sampfords berechnet werden, nur eine Annäherung der wahren Werte sind. Um die wahren Werte $\pi_{pp'}$ für die unterstellte Pfadauswahl berechnen zu können, braucht man alle Individuen der Population und deren entsprechende Wahrscheinlichkeiten. Sowohl die Anzahl aller N_{Pfade} als auch die $N_{Pfade}-n$ Wahrscheinlichkeiten der nicht ausgewählten Pfade sind hier unbekannt. Alle diese Werte müssen geschätzt werden.

Zur Schätzung der gesamten Anzahl von Pfaden (N_{Pfade}) wird die Auswahlwahrscheinlichkeit der ausgewählten Pfade benutzt. Die Schätzung der Zielgröße für den vollständigen Baum aus einer Primäreinheit i , deren Auswahlwahrscheinlichkeit und Schätzer q_i bzw. Y_i sind, wird durch Y_i / q_i erlangt. In dieser Berechnung repräsentiert $1/q_i$ sozusagen die Anzahl von Einheiten am ersten Knoten, die das Gesamtvolumen ausmachen könnten. Ähnlich liefert das Reziproke der Auswahlwahrscheinlichkeit jedes Pfades eine Schätzung der gesamten Anzahl

von Pfaden am Baum, d.h. $\hat{N}_{Pfade} = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n \frac{1}{Q_{R_p}}$.

Zur Schätzung der fehlenden Werte der Auswahlwahrscheinlichkeiten nutzt man, dass $\sum_{p=1}^{N_{Pfade}} Q_{R_p} = 1$, so dass $\sum_{p=1}^n Q_{R_p} + \sum_{j=1}^{N_{Pfade}-n} Q_{R_j} = 1$, d.h. $\sum_{j=1}^{N_{Pfade}-n} Q_{R_j} = 1 - \sum_{p=1}^n Q_{R_p}$. Die fehlenden $N_{Pfade}-n$ Werte können durch $Q_{R_j} = \left(1 - \sum_{p=1}^n Q_{R_p}\right) / (\hat{N}_{Pfade} - n)$ mit $(j = 1, \dots, \hat{N}_p - n)$

zugewiesen werden. Aus den N_{Pfade} Q_R -Werte werden gemäß der Formel Sampfords die Wahrscheinlichkeiten $\pi_{pp'}$ berechnet.

4.5 Optimierung des mehrstufigen Verfahrens mit Ziehen mit Zurücklegen

Das klassische RBS-Verfahren ist ein Spezialfall von mehrstufigen Verfahren, in denen man ungleiche Auswahlwahrscheinlichkeiten und Ziehen mit Zurücklegen auf allen Stufen anwendet. Die Vereinfachung, der die Auswahl von nur einer Einheit ab Stufe 2 entspricht, könnte unter Berücksichtigung von Kosten einen Verlust an Effizienz bedeuten, wie im folgenden beschrieben wird.

Bei mehrstufigen Verfahren mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten und Ziehen mit Zurücklegen von n Einheiten auf der ersten Stufe und m Einheiten auf der zweiten Stufe wird die Varianz des Schätzers durch (s.[3.10] und [3.11])

$$VarY = \frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{iRest}^2}{q_i} \quad [4.9]$$

gegeben, wobei

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{F_i}{q_i} - \sum_{i=1}^N F_i \right)^2 \quad \text{und} \quad \sigma_{iRest}^2 = \sum_{j=1}^{M_i} q_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{q_{ij}} - \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} \right)^2 + \sum_{j=1}^{M_i} \frac{Var_3 Y_{ij}}{q_{ij}}$$

Die gesamten Kosten (Zeit) K zur Entnahme einer Stichprobe können durch

$$K = nk_1 + nmk_2 \quad [4.10]$$

gegeben werden, wobei k_1 die Kosten (Zeit) zur Entnahme einer Primäreinheit sind und k_2 die Kosten (Zeit) zur Entnahme der übrigen Segmente eines Pfades sind.

Aus [4.9] und [4.10] bildet man eine Funktion zur Optimierung des Verfahrens. Wenn man die Varianz des Schätzers für vorgegebene Gesamtkosten minimieren will, kann die zu minimierende Funktion wie folgt gewählt werden

$$F = \frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{iRest}^2}{q_i} + \lambda(nk_1 + nmk_2 - K)$$

Das Minimum der Gleichung F findet man durch die erste partielle Ableitung von F nach n

und m . Die Ableitung von F nach n ist $\frac{\partial F}{\partial n} = -\frac{\sigma_1^2}{n^2} - \frac{1}{n^2 m} \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i} + \lambda(k_1 + mk_2) = 0$, d.h.

$$\lambda n^2 m(k_1 + mk_2) = m\sigma_1^2 + \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i} \quad [4.11]$$

Die Ableitung von F nach m ist $\frac{\partial F}{\partial m} = -\frac{1}{nm^2} \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i} + \lambda nk_2 = 0$, d.h.

$$\lambda n^2 m^2 k_2 = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i} \quad [4.12]$$

Durch die Teilung von [4.12] durch [4.11] eliminiert man den Faktor λ und den Stichprobenumfang n und erlangt die Gleichung

$$\frac{mk_2}{k_1 + mk_2} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}}{m\sigma_1^2 + \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}}.$$

Daraus folgt

$$m^2 k_2 \sigma_1^2 + mk_2 \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i} = k_1 \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i} + mk_2 \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}, \text{ d.h.}$$

$$m^2 k_2 \sigma_1^2 = k_1 \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i},$$

so dass der Stichprobenumfang m durch

$$m = \sqrt{\frac{k_1}{k_2 \sigma_1^2} \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}} \quad [4.13]$$

gegeben wird. Die selbe Gleichung erlangt man, wenn die Kosten der Aufnahme für eine bestimmte geforderte Varianz des Schätzers minimiert werden, d.h. mit der zu minimierenden

Gleichung $F = nk_1 + nmk_2 + \lambda \left(\frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i} - \text{Var}_e Y \right)$.

Der Stichprobenumfang n hängt davon ab, welche Funktion ([4.9] oder [4.10]) als Beschränkung eingesetzt wird. Die entsprechenden Formeln für n sind

$$n = \frac{K}{k_1 + mk_2} \quad \text{bzw.} \quad n = \frac{\sigma_1^2 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}}{\text{Var}_e Y}$$

wobei $\text{Var}_e Y$ die gewünschte Varianz des Schätzers ist.

Aus [4.13] erkennt man, dass das klassische RBS-Verfahren ($m=1$) nur dann optimal ist, wenn die Variabilität je Kosteneinheit der Primäreinheiten (σ_1^2/k_1) gleich der Variabilität je Kosteneinheit des restlichen Pfades ($\sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}/k_2$) ist. Wenn $\sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}/k_2$ größer als σ_1^2/k_1

ist, ist das klassische RBS-Verfahren nicht effizient, da die selbe Präzision (bzw. Kosten) mit weniger Kosten (bzw. Variabilität) erreicht werden könnte. Je größer der optimale Stichprobenumfang m ist desto mehr weicht das klassische Verfahren vom optimalen ab und desto teurer ist das Erreichen einer bestimmten Präzision durch das Verfahren.

Die Gleichung [4.13] kann auch in

$$m = \sqrt{\frac{k_1}{k_2} \left[\left(\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}} \right)^{-1} - 1 \right]} \quad [4.14]$$

umgewandelt werden, wobei $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{i\text{Rest}}^2}{q_i}}$ das Verhältnis der Varianz zwischen den

Primäreinheiten zu der Summe der beiden Varianzkomponenten ist, ein Wert, der von BRANCH berechnet wird.

5. Materialien und Methoden

In diesem Kapitel werden die verfügbaren Daten zur Analyse (Kapitel 5.1) sowie die unterschiedlichen Wege (Kapitel 5.3) zur Erfüllung der Ziele der Arbeit beschrieben. Als Hilfsmittel zur Analyse wurde ein Computerprogramm angefertigt. Informationen über das Programm findet man in den Kapiteln 5.2 und 6, sowie im Leitfaden im Anhang B.

5.1 Datenbasis

Daten von vollständigen Bäumen von drei unterschiedlichen Spezies waren zur Analyse verfügbar, nämlich Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.) und Kiefer (*Pinus radiata* D. Don) (Tabelle 5.1, Abbildungen 5.1 bis 5.4).

Tabelle 5.1. Eigenschaften der vollständig gemessenen Bäume

Spezies	Baum	Alter (Jahre)	BHD (cm)	Höhe (m)	Biomasse	Blattfläche (cm ²)	Anzahl von Knoten am Hauptstamm	Anzahl von Segmenten	Anzahl von Pfaden
Fichte	1	14	-	0,4	16,646 ^a	-	11	598	337
	2	16	-	-	41,615	-	29	623	318
	3	12	-	-	99,555	-	50	901	456
	4	11	-	-	11,205	-	34	233	119
junge Kiefer	1	14	25,5	14,4	186,557 ^b	-	27	164	138
	2	14	18,6	14,2	81,773	-	23	114	92
	3	14	14,8	16,4	25,899	-	7	52	46
	4	14	14,2	14,4	31,541	-	13	84	72
alte Kiefer	1	29	51,5	37,6	249,792 ^b	-	45	184	140
	2	29	51,2	33,2	1035,912	-	56	198	143
	3	29	40,7	37,9	146,590	-	31	147	117
	4	29	36,8	40,2	277,666	-	53	235	183
Vogelbeere	1	16	2,3	4,5	106,872 ^c	18727,130	23	54	28
	2	16	4,0	4,7	351,335	45612,160	32	156	79
	3	26	4,5	6,9	234,825	35082,760	25	114	58
	4	19	7,8	7,8	386,418	49782,110	32	274	138

^a Nadelnrockenmasse (g); ^b Frische Astbiomasse (kg); ^c Blattrockenmasse (g)

Die Daten über Fichten wurden im Solling (Niedersachsen) bei der Arbeitsgruppe Pflanzenmodellierung des Instituts für Forstliche Biometrie und Informatik der Universität Göttingen gesammelt. In der gegenwärtigen Arbeit wurden Daten von vier jungen Bäumen benutzt (Abbildung 5.1). Ein Baum wurde vollständig gemessen; an den anderen Bäumen wurden Stichproben genommen und die übrigen Werte der Variable durch Regression

geschätzt. Die Information entspricht Nadelbiomasse und Durchmesser jedes Segmentes an jedem Quirl.

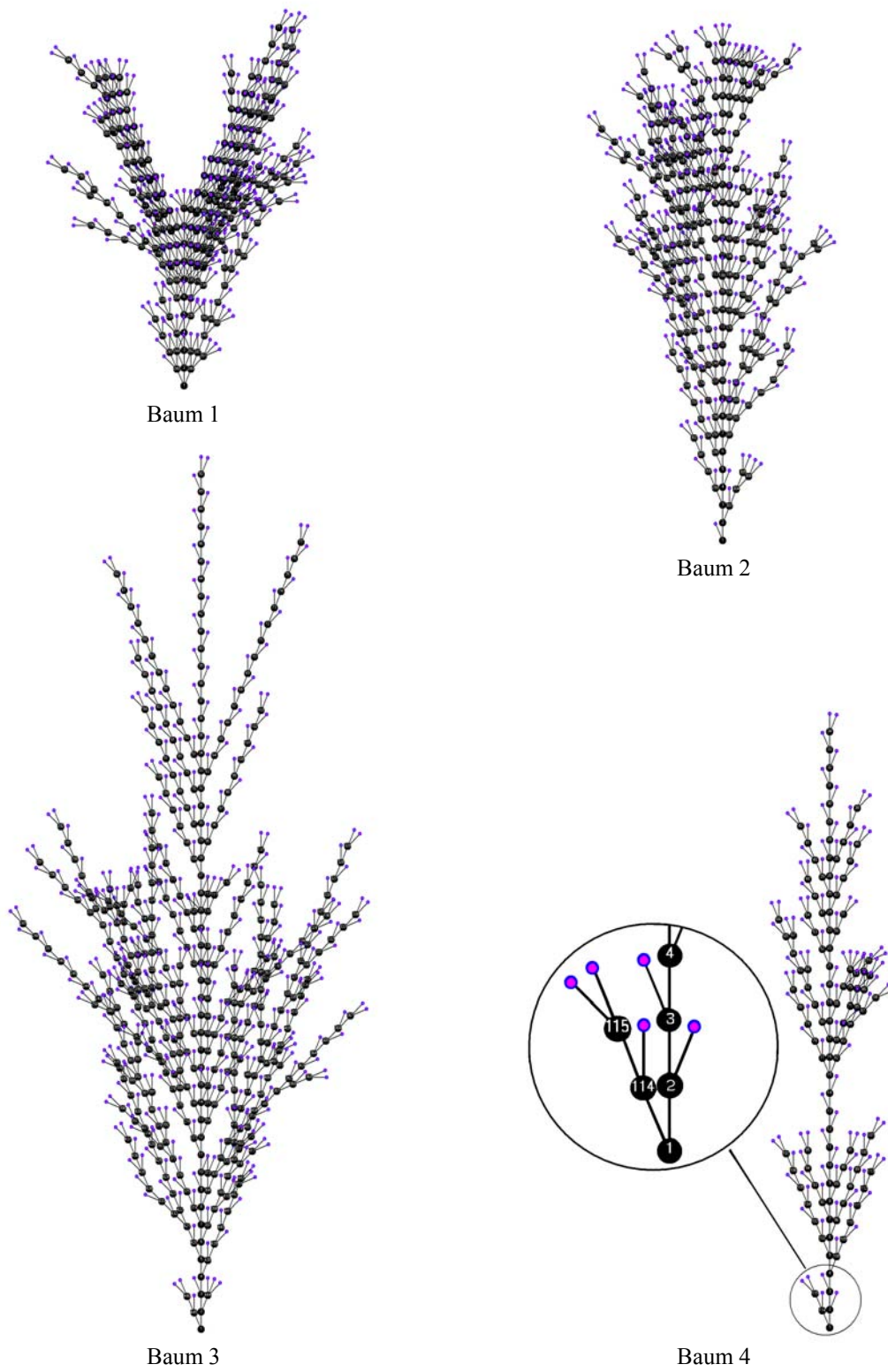


Abb. 5.1: Zweidimensionale Darstellung der Fichten.

Die Daten über Vogelbeeren wurden in Bärenfels (Sachsen) gesammelt. In der gegenwärtigen Arbeit wurden Daten von vier jungen Bäumen benutzt. Die Information entspricht Durchmesser, Blattbiomasse und Blattfläche jedes Segmentes am Baum (Abbildung 5.2).

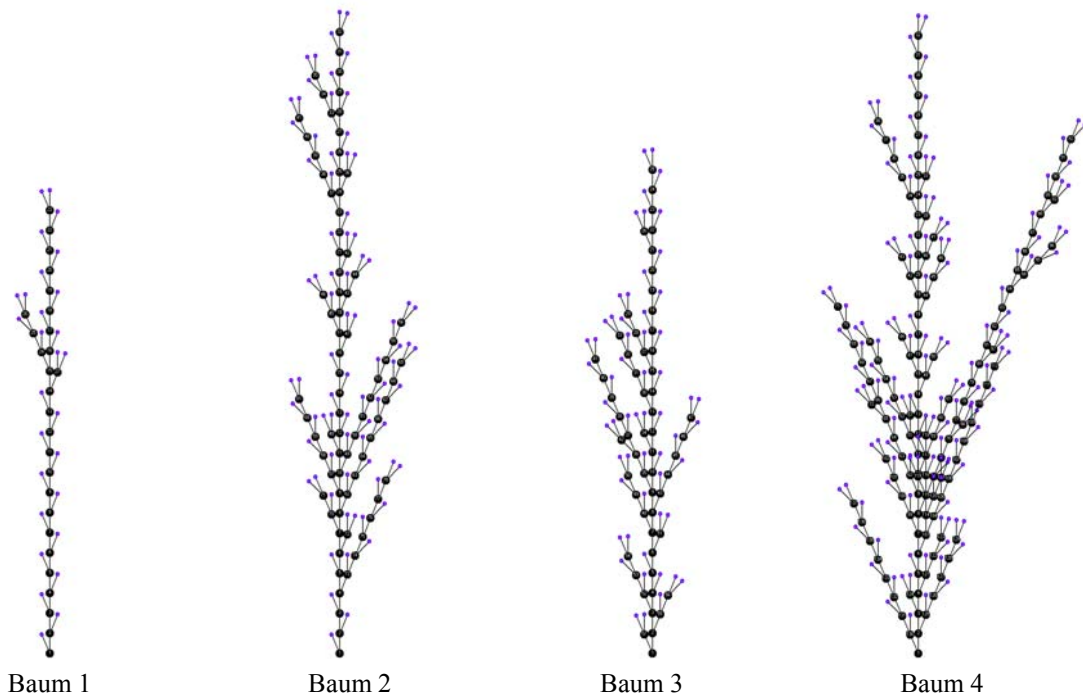


Abb. 5.2: Zweidimensionale Darstellung der Vogelbeeren.

Die Daten über Kiefern kommen aus Messungen, die in zwei reinen gleichaltrigen (14- und 29-jährige) Plantagen bei Cholguán (VIII-Región, Chile) realisiert wurden. Hier wurden Bäume am Rand sowie innerhalb des Bestands gemessen. An jedem Baum wurde die Lage (Höhe über dem Boden), der Durchmesser an der Astbasis und die Länge jedes Astes, sowie das gesamte Gewicht jedes fünften Astes registriert. Die fehlenden Gewichte wurden durch Regression bestimmt. Später wurden die Äste nach Quirlen getrennt. In der gegenwärtigen Arbeit wurden Daten von vier Bäumen je Bestand und zwar zwei am Rand und zwei innerhalb jedes Bestands benutzt (Abbildungen 5.3 und 5.4).

Für manche Analysen wurden Bäume ohne Hauptstamm gebraucht, die mindestens einen Stichprobenumfang von 6 Primäreinheiten erlauben und Primäreinheiten besitzen, die sich weiter verzweigen. Die vier Fichten und drei der Vogelbeeren erfüllten diese Bedingungen (Abbildungen 5.5 und 5.6).

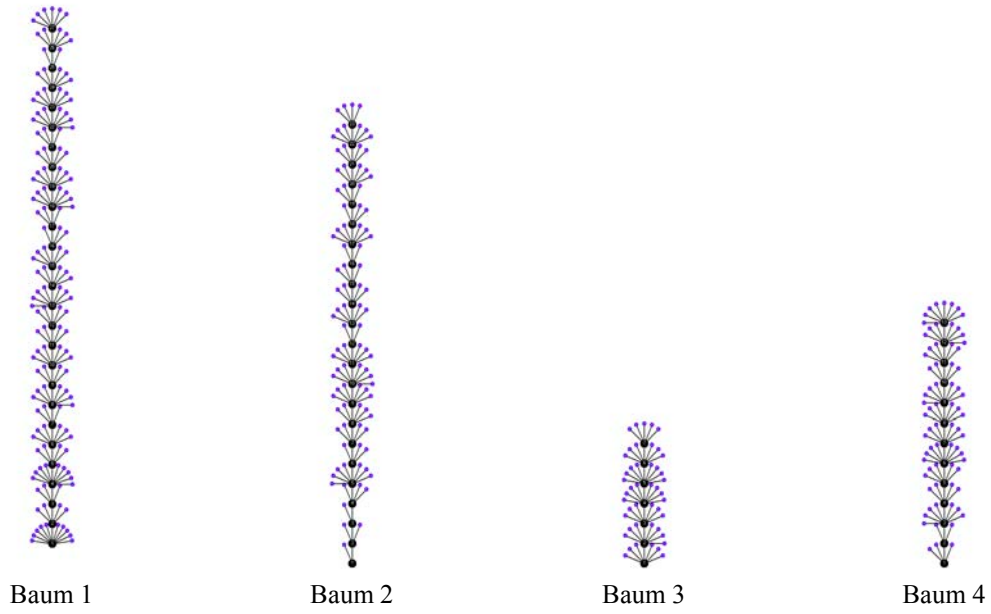


Abb. 5.3: Zweidimensionale Darstellung der jungen Kiefern.

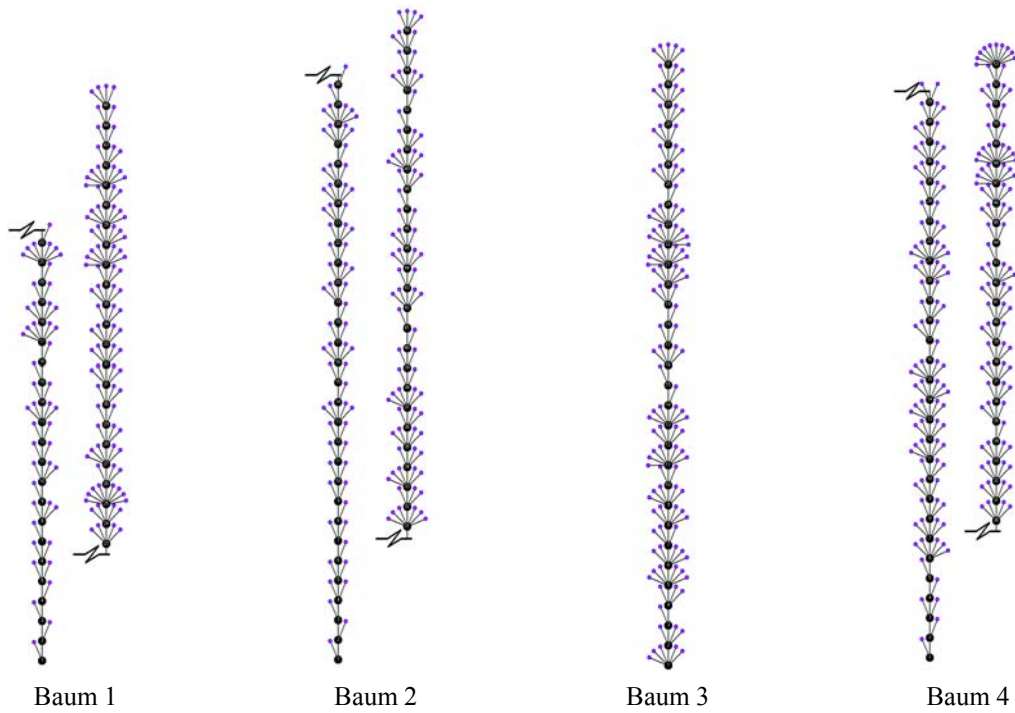


Abb. 5.4: Zweidimensionale Darstellung der alten Kiefern.

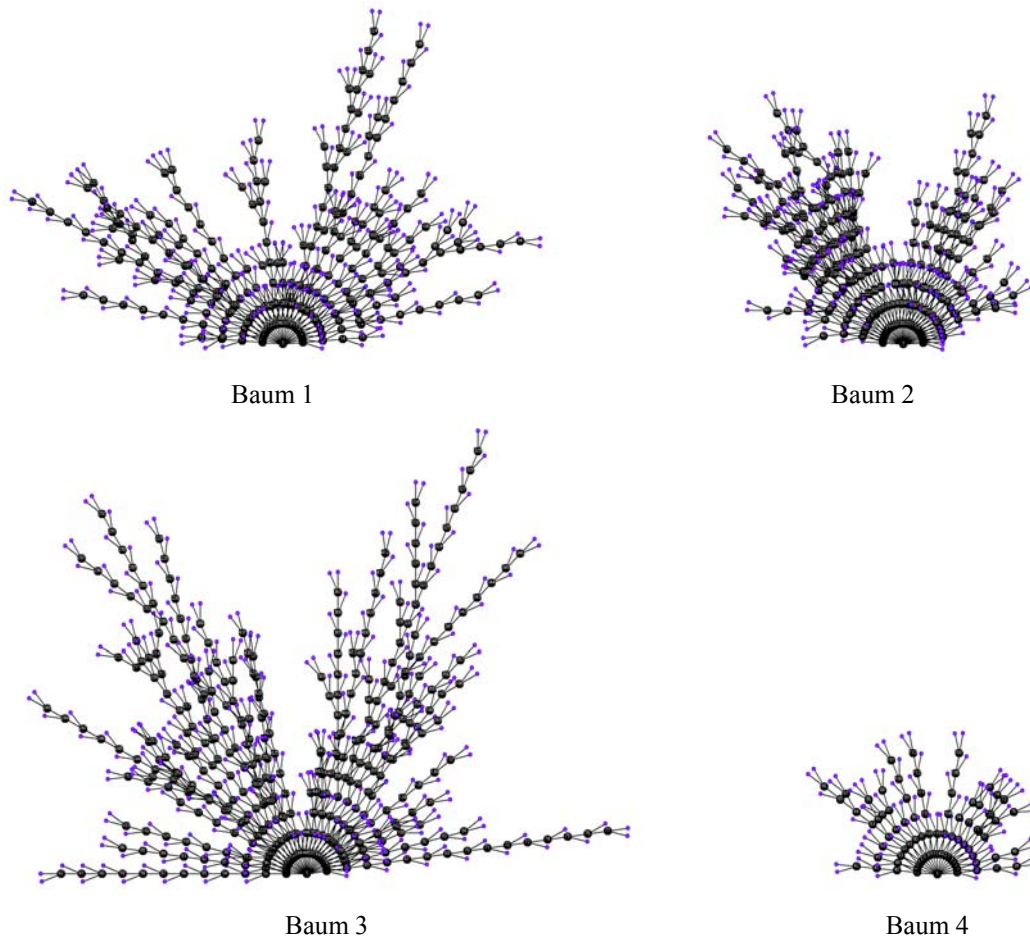


Abb. 5.5: Zweidimensionale Darstellung der Fichten ohne Hauptstamm.

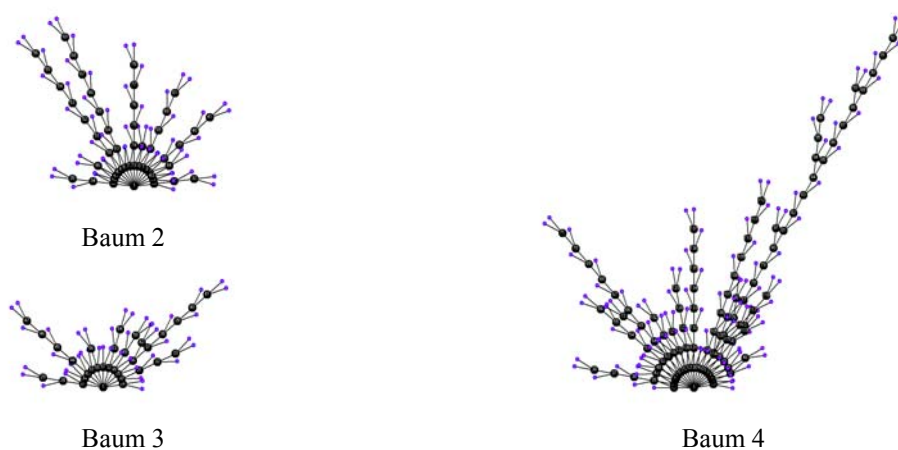


Abb. 5.6: Zweidimensionale Darstellung der Vogelbeeren ohne Hauptstamm.

Eine Zeitstudie wurde in Bärenfels (Sachsen) an neun Vogelbeeren durchgeführt, die innerhalb von gemischten Beständen gewachsen sind. Diese Bäume weisen vergleichbare

Größen zu den vollständig gemessenen Vogelbeeren auf, die für die Analyse zur Verfügung stehen (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2. Eigenschaften der Vogelbeeren in der Zeitstudie

Baum	Alter (Jahre)	BHD (cm)	Höhe (m)	Baum	Alter (Jahre)	BHD (cm)	Höhe (m)
1	16	2,5	4,1	6	26	3,8	6,4
2	16	4,2	5,1	7	19	6,0	6,6
3	16	1,9	3,1	8	19	4,3	7,8
4	26	5,8	7,3	9	19	8,3	6,9
5	26	3,3	7,2				

5.2 Das BRANCH-Programm

Um die unterschiedlichen Anforderungen an das Projekt zu erfüllen, wurde ein Computerprogramm (Delphi 5.0) angefertigt. Im Programm (BRANCH) wurden alle bekannten RBS-Verfahren eingebaut und können zur Entnahme von Stichproben im Wald oder zur Analyse von vollständig gemessenen Bäumen benutzt werden. Von speziellem Interesse sind die Optionen, die BRANCH zur Analyse von vollständigen Bäumen zur Verfügung stellt. Das Programm ist sehr einfach durch benutzerfreundliche Oberflächen zu bedienen und liefert Ergebnisse in Tabellen und Grafiken. Hier werden mittels Beispielen die Probeentnahme und die Arbeit mit vollständigen Bäumen (Diagnose, Simulation und Modifizierung der Struktur der Baumkrone) präsentiert.

5.2.1 Probeentnahme

Im Wald kann man Stichproben nach einem bestimmten RBS-Verfahren auswählen und, sobald die Werte der Zielgröße an den ausgewählten Segmenten zur Verfügung stehen, den Schätzer und die entsprechende Varianz berechnen. In Abbildung 5.7 ist die Oberfläche dargestellt, die Branch zur Definition der Eigenschaften der Stichprobe präsentiert. Im folgenden Beispiel wird eine Stichprobe von drei Primäreinheiten (ZoZ) und zwei Sekundäreinheiten (ZmZ) je ausgewählte Primäreinheit gezogen.

Stratum	Auswahlmethode	Primäreinheit	Sekundäreinheit	Tertiäreinheit	Stratenanzahl
1	ZoZ_ZmZ...	3	2	1	1

Abb. 5.7: Oberfläche zur Definition der Eigenschaften der Stichprobe.

Zur Auswahl der Stichprobe benutzt man die Oberfläche, die unter dem Begriff „Knoten“ zur Verfügung steht (Abbildung 5.8). Die Auswahl beginnt am ersten Knoten am Baum; dazu fügt man in der Tabelle links die Anzahl von Segmenten ein, die vom Knoten ausgehen, und in der Mitte die entsprechenden Werte der Hilfsgröße oder Angaben zu ihrer Berechnung (hier: Durchmesser). Gemäß dieser Hilfsgröße kalkuliert BRANCH die Auswahlwahrscheinlichkeit jedes Segmentes am Knoten, realisiert die Auswahl und zeigt die ausgewählten Segmente (hier: Segmente 3, 4 und 5) in der Spalte „Auswahl“ an. Als Hilfsmittel zur Probeentnahme generiert Branch ein Bild der Struktur der Stichprobe (Abbildung 5.8, rechts). In diesem Beispiel hat man bislang am Knoten 1 drei Segmente ausgewählt. Die Fortsetzung der Probeentnahme soll am Ende des Segmentes Nummer 3 erfolgen; wenn dort ein neuer Knoten existiert, wird er eingeführt und die ganze beschriebene Prozedur wiederholt sich. Die Einfügung von Knoten, die Auswahl von Segmenten und das Ende von Pfaden kontrolliert man durch Knöpfe (Abbildung 5.8, unten links). Die Zielgröße (hier Biomasse) fügt man später in der Tabelle ein, die Branch zu diesem Zweck schrittweise vorbereitet (Abbildung 5.8, unten Mitte).

The screenshot shows the 'Knoten' software interface. It features a menu bar with 'Allgemein', 'Knoten', 'Geschichte', 'Pfad Aufbau', and 'Wahrscheinlichkeiten (ZoZ)'. Below the menu bar are two main tables and a control panel.

Table 1: Segmente je Knoten

Knoten Nr.	Anz. Segmente
0	1
1	7

Table 2: Angaben der Segmente zur Auswahl, Hilfsgröße: Que

Knoten Nr.	Segment N	Durchmesser	Querschnitt	qi	Auswahl
1	1	15	176.714587	0.229	0
1	2	12	113.097336	0.147	0
1	3	10	78.539816	0.102	1
1	4	14	153.93804	0.200	1
1	5	13	132.73229	0.172	1
1	6	8	50.265482	0.065	0
1	7	9	63.617251	0.082	0

Table 3: Liste der ausgewählten Segmente

Zeile	Stufe	Knoten N	Segment N	Code	Biomasse
1	0	0	1	1-000-001	
2	1	1	3	1-001-003	
3	1	1	4	1-001-004	
4	1	1	5	1-001-005	

Below the tables is a control panel with buttons: 'Knoten hinzufügen', 'Knoten akzeptieren', 'Segmente auswählen', 'Pfad beenden', and 'neues Stratum'. To the right of the tables is a small tree diagram showing a root node with three branches.

Abb. 5.8: Oberfläche zur Entnahme der Stichprobe.

Sobald die Aufnahme beendet wird und alle Werte der Zielgröße zur Verfügung stehen, kann die Schätzung stattfinden. Dazu benutzt man das Menü „Schätzung“ oder drückt den entsprechenden Knopf. Die endgültige Stichprobe für das Beispiel ist in Abbildung 5.9 (links) dargestellt. Die Zahlen an den Segmenten signalisieren die Auswahlfrequenz der Segmente (wenn > 1); ein Segment am Knoten 2 und ein Segment am Knoten 3 wurden hier zwei Mal gezogen. Die Schätzung der Biomasse des Baumes aufgrund dieser Stichprobe wird in Abbildung 5.9 (rechts) präsentiert.

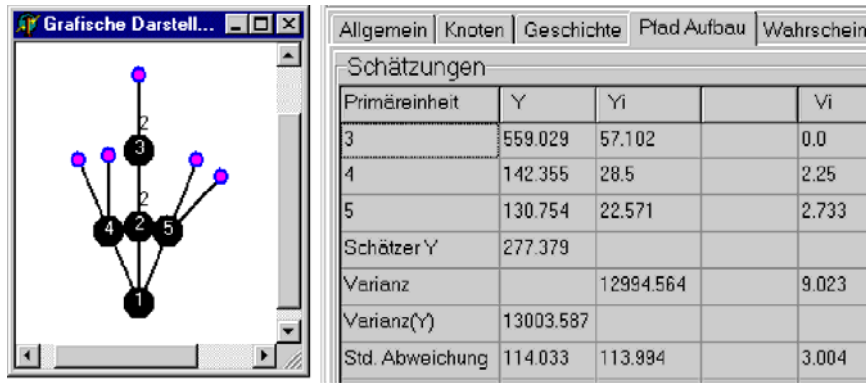


Abb. 5.9: Die endgültige Stichprobe und die entsprechenden Schätzungen.

5.2.2 Analyse von vollständigen Bäumen

Wenn vollständig gemessene Bäume zur Verfügung stehen, kann man Simulation oder Diagnose realisieren. Durch die Simulation sieht man, was man in der Praxis mit der wiederholten Anwendung eines RBS-Verfahrens erwarten kann. Durch die Diagnose erkennt man die Wirkung der Wahl der Hilfsgröße, des Löschens von Segmenten und der Stratifizierung der Baumkrone auf die Präzision des Schätzers. In den folgenden Beispielen werden die Daten einer jungen Kiefer (Baum 2, Abbildung 5.3) benutzt, an der die Durchmesser an den Astbasen und die frische Biomasse der Äste gemessen wurden.

5.2.2.1 Diagnose

Die Wahl der Hilfsgröße, das Löschen von Segmenten und die Stratifizierung der Baumkrone sind mit den Auswahlwahrscheinlichkeiten und daher mit der Varianz des Schätzers eng verbunden. Das ist eindeutig im Fall der Hilfsgröße, da jede Hilfsgröße eine Menge von Auswahlwahrscheinlichkeiten produziert, und daher die Werte des Schätzers (und der Varianz des Schätzers) bestimmt. BRANCH erlaubt die Auswahl von unterschiedlichen Variablen als Hilfsgröße, wie z.B. Querschnitt oder Durchmesser (Abbildung 5.10, links).

Die Präzision des Schätzers hängt von der Beziehung zwischen der Zielgröße oberhalb der Segmente und den bedingten Wahrscheinlichkeiten der Segmente ab. Proportionalität, die sich durch eine Gerade durch den 0-Punkt darstellt, bedeutet eine hohe Präzision. Am Beispielbaum kommt der Querschnitt diesem Ziel näher (Abbildung 5.10, unten) als der Durchmesser (Abbildung 5.10, oben) und führt zu präziseren Schätzungen.

Das Löschen von Segmenten ändert die Struktur der Baumkrone. Wenn ein Knoten am Ende des gelöschten Segmentes existiert, wird er gelöscht und alle seine Segmente werden im

vorangehenden Knoten eingegliedert. In der Praxis nimmt das gelöschte Segment nicht an der Auswahl teil, seine Zielgröße muss aber gemessen und am Ende zum Schätzer addiert werden, d.h. das Segment bekommt die Auswahlwahrscheinlichkeit 1. Wenn ein Segment gelöscht wird, werden die unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten der Segmente oberhalb des gelöschten Segmentes vergrößert. Die Vergrößerung der unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten der Segmente bedeutet eine Verringerung der entsprechenden Beiträge zur Schätzung der Zielgröße, die eine Verringerung der Varianz der Schätzungen zur Folge haben kann.

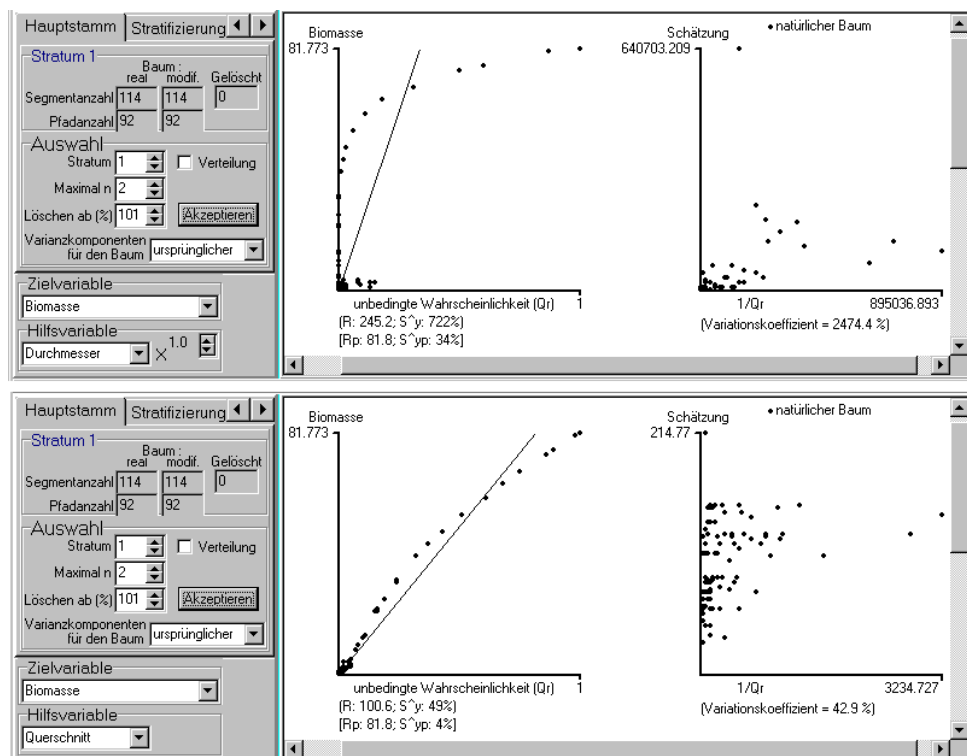


Abb. 5.10: Beziehung zwischen der Zielgröße oberhalb des Segmentes und der unbedingten Wahrscheinlichkeit des Segmentes (links) und Beziehung zwischen der Schätzung und dem Reziprok der unbedingten Wahrscheinlichkeit der Pfade (rechts) für zwei verschiedene Hilfsgrößen (oben: Durchmesser; unten: Querschnitt). Die Linie repräsentiert die Steigung (R) der Beziehung zwischen der Zielgröße und der Wahrscheinlichkeit. In Klammern ist der entsprechende Variationskoeffizient der Zielgröße ausgegeben.

BRANCH präsentiert Ergebnisse sowohl für den ursprünglichen als auch für den modifizierten Baum (Abbildung 5.11). Die Ergebnisse des Löschens von Segmenten für zwei unterschiedliche Niveaus von unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten werden am Beispielbaum demonstriert: ab 0,35 (oben) und ab 0,06 (unten; d.h. Entfernung des gesamten Hauptstammes). Das Löschen ab 0,35 (35%) reduziert den Variationskoeffizient um 32% (von 42,9% auf 29,2%). Die Entfernung des gesamten Hauptstammes führt zu noch präziseren Schätzungen.

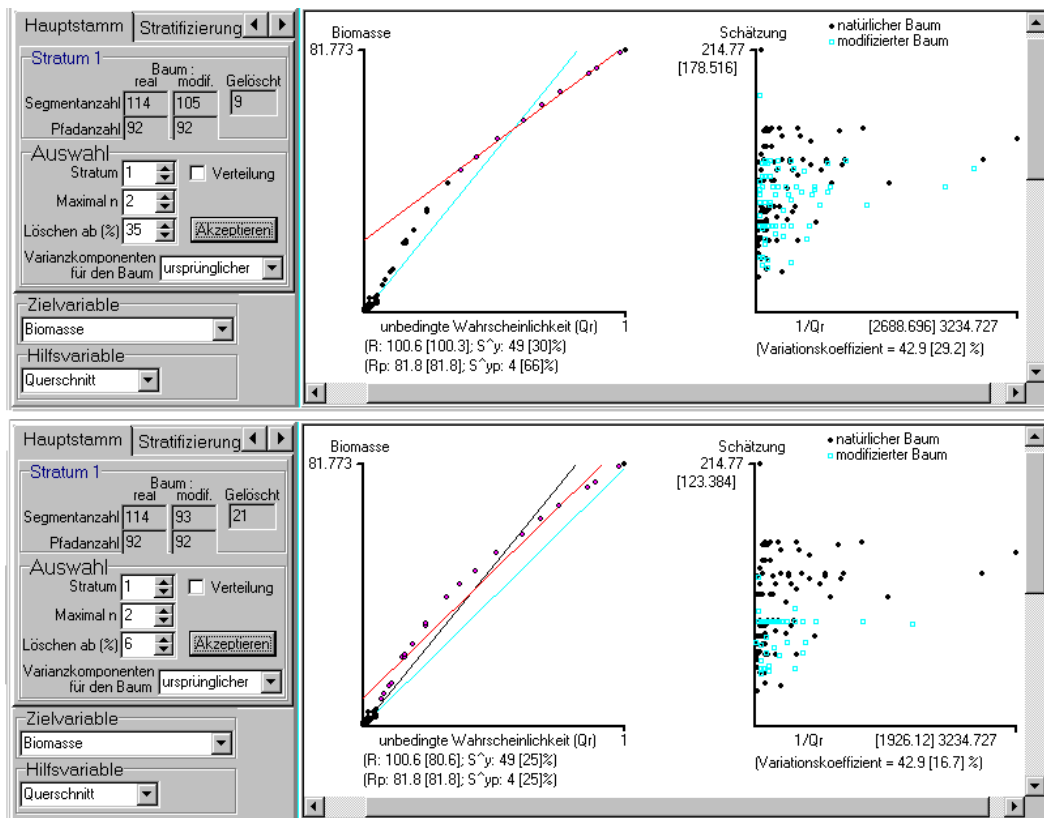


Abb. 5.11: Das Löschen von Segmenten an der Kiefer (links) und die Beziehung zwischen der Schätzung und dem Reziprok der unbedingten Wahrscheinlichkeit der Pfade (oben: Löschen ab unbedingten Wahrscheinlichkeiten von 0,35; unten: ab 0,06). Die gelöschten Segmente sind rote gekennzeichnet. Die Linien repräsentieren die Steigung (R) der Beziehung zwischen der Zielgröße und der Wahrscheinlichkeit (schwarz: ursprünglicher Baum; hellblau: modifizierter Baum; rot: gelöschte Segmente). In eckigen Klammern stehen die Werte für den modifizierten Baum.

Die Stratifizierung der Baumkrone ändert auch die Struktur der Baumkrone und produziert eine Vergrößerung der unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten der Segmente oberhalb des Schnittpunkts. Das hat eine Verringerung der entsprechenden Beiträge zur Schätzung der Zielgröße zur Folge, die eine Verringerung der Varianz der Schätzungen bewirken kann (Abbildung 5.12). Je länger der Pfad desto größer ist die Schätzung am Beispielbaum. Die Variabilität des Schätzers ist im oberen Teil der Baumkrone größer (Abbildung 5.12, oben). Die Stratifizierung der Baumkrone reduziert die großen Werte des Schätzers und seine Variabilität (Abbildung 5.12, unten).

BRANCH erlaubt auch die Anwendung des Löschens von Segmenten zusammen mit der Stratifizierung der Baumkrone (Abbildung 5.13). Am Beispielbaum, führt die Stratifizierung der Baumkrone zusammen mit dem Löschen von Segmenten zur weiteren Verbesserung der Präzision der Schätzung. Die Schätzung ohne Hauptstamm ist präziser als die Schätzung mit Hauptstamm in beiden Straten.

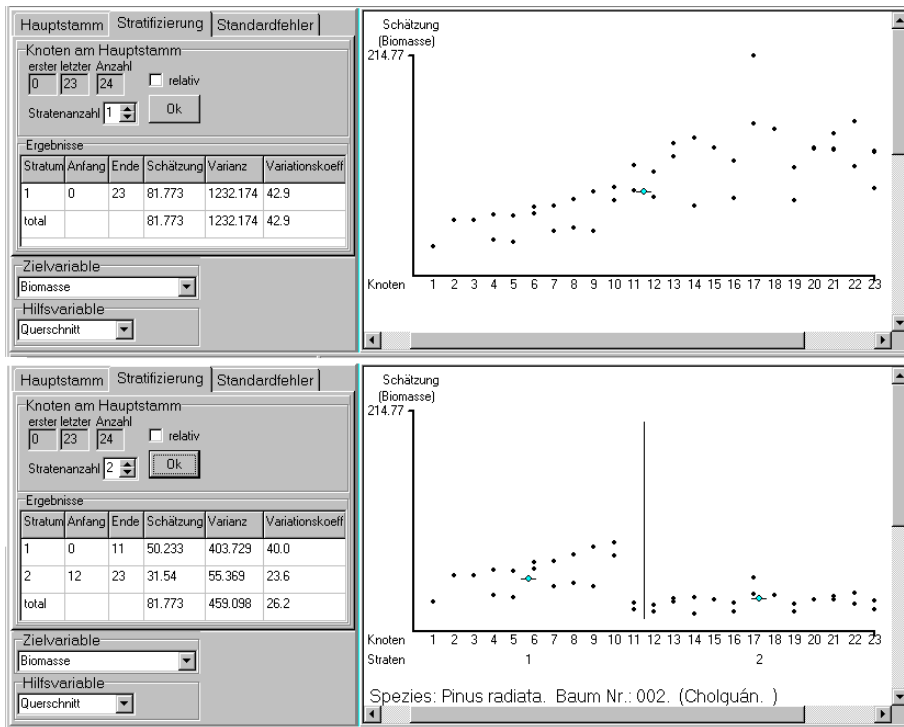


Abb. 5.12: Verteilung der Schätzungen entlang des Hauptstammes der Kiefer ohne Stratifizierung (oben) und geteilt in zwei Straten (unten). In den Tabellen links findet man die entsprechenden Schätzer.

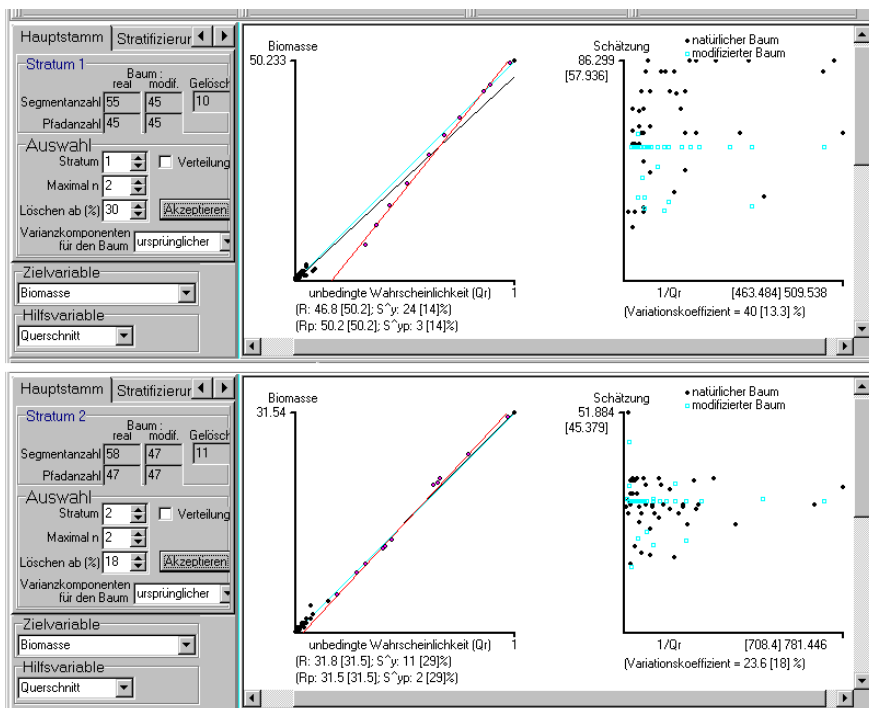


Abb. 5.13: Anwendung des Löschens von Segmenten zusammen mit der Stratifizierung der Baumkrone (oben: Stratum 1; unten: Stratum 2). Die Linien repräsentieren die Steigung (R) der Beziehung zwischen der Zielgröße und der Wahrscheinlichkeit (schwarz: ursprünglicher Baum; hellblau: modifizierter Baum; rot: gelöschte Segmente).

BRANCH liefert Tabellen und Abbildungen des Standardfehlers für unterschiedliche Stichprobenumfänge, für den unstratifizierten Baum oder je Stratum (Abbildung 5.14). Am

Beispielbaum ergibt das Ziehen ohne Zurücklegen präzisere Schätzungen als das Ziehen mit Zurücklegen in beiden Straten, und das Löschen von Segmenten in beiden Straten ab 30% bzw. ab 18% führt ebenfalls zu einer Varianzverringering.

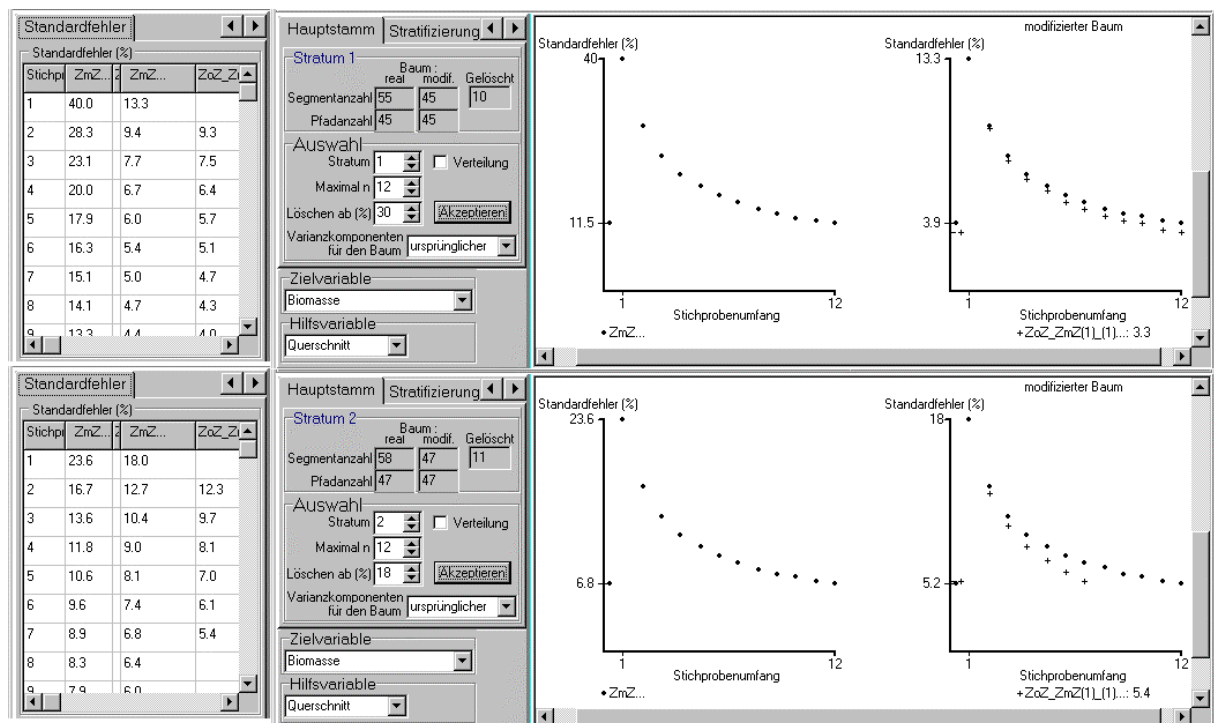


Abb. 5.14: Standardfehler für unterschiedliche Stichprobenumfänge je Stratum (Stratum: 1 oben, 2 unten), sowie für das ursprüngliche und das durch Löschen von Segmenten modifizierte Straten.

5.2.2.2 Simulation

Um eine Simulation durchzuführen, sind die Eigenschaften der Stichproben zu definieren, eine Hilfsgröße auszuwählen und die gewünschte Anzahl unabhängiger Stichproben festzulegen. Die Oberfläche, die BRANCH dazu bietet, erreicht man durch den Untermenüpunkt „Stichprobe“ im Menü „Schätzung“ oder durch den entsprechenden Knopf (Abbildung 5.15). Nach der Auswahl der Zielgröße realisiert man die Simulation.

Als Ergebnisse der Simulation liefert BRANCH den Schätzer und die Varianzschätzer jeder Stichprobe, sowie Durchschnitte dieser Werte, zusammen mit den wahren Parametern (Abbildung 5.16, links) und einem Bild der beobachteten Verteilung der Pfade entlang des Hauptstammes (Abbildung 5.16, rechts) und der Häufigkeit ihrer Auswahl. Am Beispielbaum spielt wieder die Hilfsgröße eine wichtige Rolle sowohl für die Präzision des Schätzers als auch für die Verteilung der Stichproben entlang des Hauptstammes. Der Querschnitt als Hilfsgröße bringt präzisere Schätzungen und eine bessere Verteilung der Stichproben

(Abbildung 5.16, oben) als der Durchmesser (Abbildung 5.16, unten). Mit dem Durchmesser als Hilfsvariable werden Pfade, die im oberen Stambereich enden, seltener ausgewählt als mit dem Querschnitt.

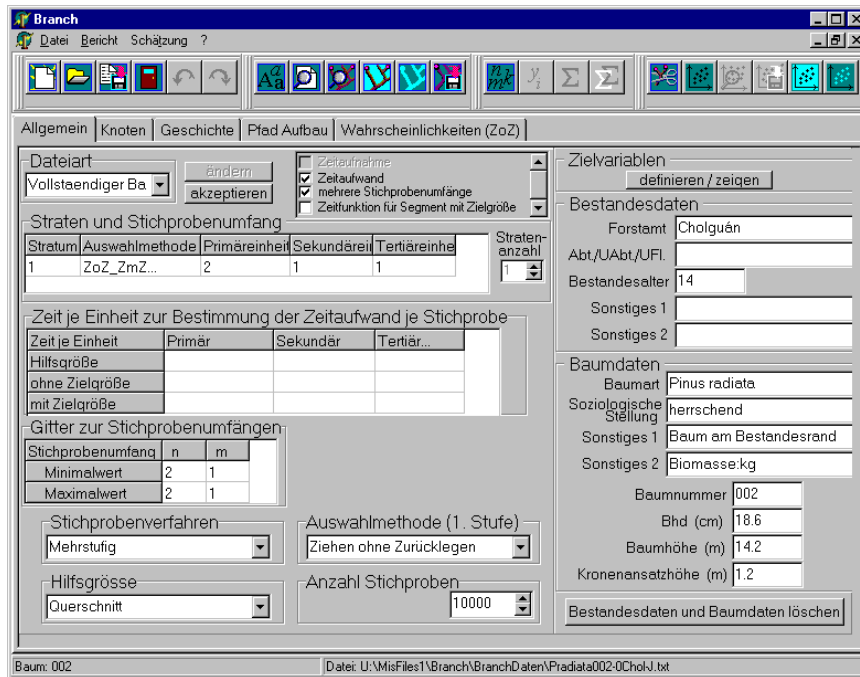


Abb. 5.15: Oberfläche zur Definition der Eigenschaften der Simulation.

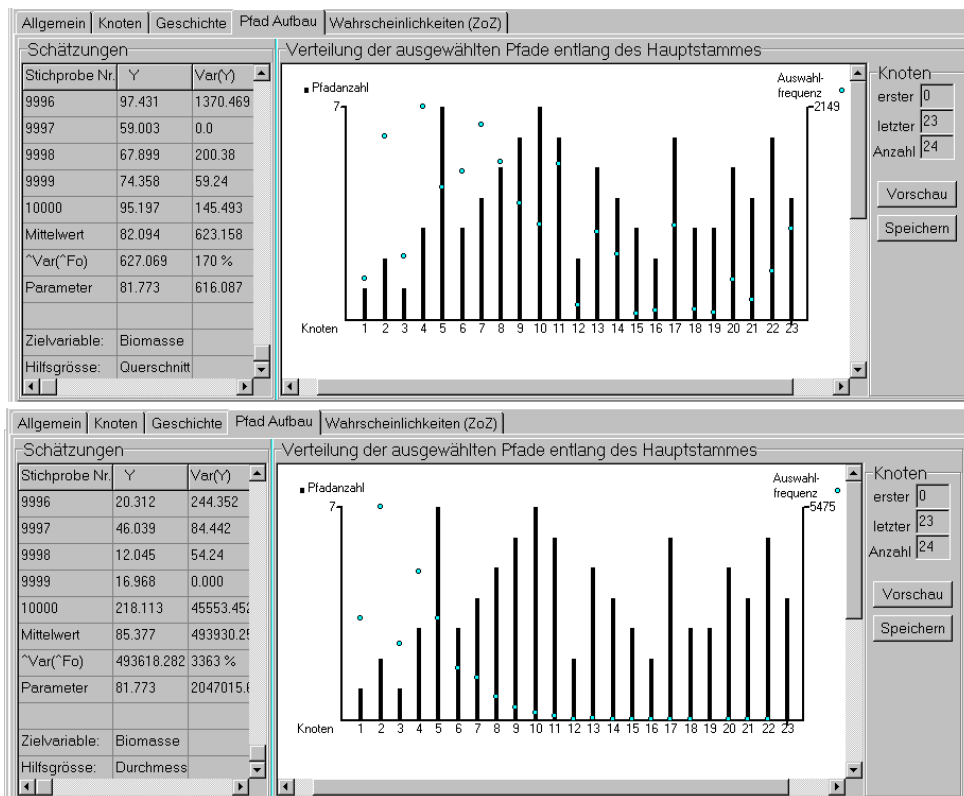


Abb. 5.16: Ergebnisse der Simulation für zwei unterschiedliche Hilfsgrößen (oben: Querschnitt; unten: Durchmesser).

5.2.2.3 Modifizierung der Struktur der Baumkrone

BRANCH bietet auch die Möglichkeit, die Struktur der Baumkrone völlig umwandeln zu können. Diese Option kann man benutzen, um z.B. die Segmente des Hauptstammes oder ein anderes gewünschtes Segment vor einer Simulation zu löschen, oder Mengen von Segmenten zu verschieben (Abbildung 5.17).

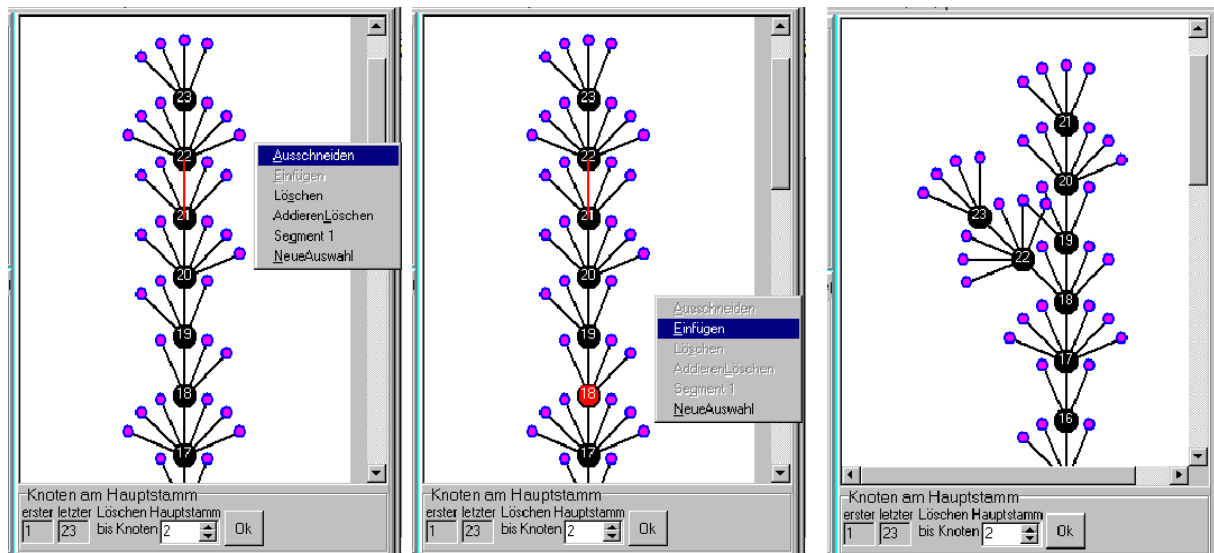


Abb. 5.17: Versetzung eines Segmentes innerhalb der Baumkrone.

5.3 Zielorientierte Analyseverfahren

Für alle Ziele wurde übernommen, dass jeder Baum auf einem einzigen Basissegment steht, das zu einem Knoten 0 (null) gehört. Dieses Segment, das einzige am Knoten 0, bekommt immer eine Auswahlwahrscheinlichkeit gleich 1, d.h. es wird in jedem Pfad eingeführt. Die Probeentnahme fängt am Knoten 1 an, der am Ende des Basissegments liegt. Bei der Stratifizierung der Baumkrone beginnt jedes Stratum an einem Knoten 0.

5.3.1 Aufwirkung der Wahl der Hilfsgröße und der Baumkronenstruktur auf die Varianz des Schätzers

Die Analyse der Auswirkungen der Wahl der Hilfsgröße und der Baumkronenstruktur auf die Varianz des Schätzers realisiert man aufgrund der erwarteten Varianzen. Im Fall der Auswirkungen der Wahl der Hilfsgröße, konzentriert sich die Analyse auf die Beziehung zwischen den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten der Segmente und den entsprechenden kumulierten Werten der Zielgröße aller zugehörigen untergeordneten Segmente (s. Kapitel 4.1). Speziell werden unterschiedliche Transformationen (Exponenten) des Durchmessers der Segmente als Hilfsgröße angewandt.

Die Analyse der Baumkronenstruktur konzentriert sich auf die Eliminierung von Segmenten mit unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten, die oberhalb eines vorgegebenen Schwellenwertes liegen, sowie auf die Stratifizierung der Baumkrone (s. Kapitel 4.2). Der Wert der Zielgröße an den eliminierten Segmenten wird zu dem einzigen Segment des Knotens 0 (null) an der Baumbasis addiert. Die Stratifizierung realisiert man entlang des Hauptstammes (oder längster Stamm am Baum). Jedes Stratum schließt einen oder mehrere Knoten am Hauptstamm und alle zugehörigen untergeordneten Knoten und Segmente ein.

5.3.2 Vergleich zwischen dem klassischen RBS und ZoZ-ZmZ bezüglich der Präzision

Der Vergleich zwischen dem klassischen RBS (ZmZ) und ZoZ-ZmZ (Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe und Ziehen mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen) wird aufgrund der wahren Varianzen sowie aufgrund der durch Simulation vieler wiederholter Stichprobenauswahlen durch BRANCH beobachteten Varianzen an Probebäumen realisiert. Der Vergleich wurde unter gleichen Bedingungen innerhalb jedes Baumes durchgeführt, d.h. gleiche Hilfsgröße und Stichprobenumfänge.

5.3.3 Analyse der annähernden Varianzschätzer für das Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit $m_i = 1$ auf Stufe 2

Die Analyse der drei annähernden Varianzschätzer, die in 4.4.2 vorgeschlagen wurden, wird aufgrund der in wiederholten Aufnahmen beobachteten Varianzen realisiert. Diese kommen aus simulierten RBS-Stichproben, die von einem bestimmten Baum aufgenommen werden, wobei jede Stichprobe eine Varianzschätzung liefert. Dazu werden Bäume ohne Hauptstamm benutzt, die mindestens einen Stichprobenumfang von 6 Primäreinheiten erlauben und Primäreinheiten besitzen, die sich weiter verzweigen. Schließlich werden die Abweichungen der Schätzungen jedes alternativen Varianzschätzers von der wahren Varianz analysiert.

5.3.4 Zeitstudie

Im Feld wurde eine Zeitstudie an 9 Vogelbeeren durchgeführt, die innerhalb von gemischten Laub-Nadelbeständen gewachsen sind. Zuerst wurde an jedem gefallenem Baum mit Hauptstamm eine Stichprobe vom Umfang 6 nach dem klassischen RBS-Verfahren genommen. Danach wurde die Baumkrone in zwei Straten geteilt und wurden Stichproben nach dem Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe und Ziehen mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen genommen. In jedem Stratum des Baumes ohne Hauptstamm wurden 3 Primäreinheiten mit je einer Einheit auf den folgenden Stufen genommen. Die Straten

wurden bezüglich der Beleuchtung der Krone definiert. Das untere Stratum entspricht der Schattenkrone und das obere Stratum der Lichtkrone.

Zur Zeitstudie wurden an jedem Knoten zwei unterschiedliche Zeiten definiert, nämlich die Zeit zur Arbeit am Knoten und die Zeit zur Arbeit an den ausgewählten Segmenten. Die Zeit zur Arbeit am Knoten entspricht der Zählung der Segmente am Knoten, die Messung ihrer Hilfsgröße, die Auswahl der (ein oder mehrere) Segmente und die Markierung der (ein oder mehrere) ausgewählten Segmente am Knoten. Die Zeit zur Arbeit an den ausgewählten Segmenten entspricht der Messung oder Entnahme der Zielgröße am Segment. Aus den genommenen Zeiten wurden die mittlere Zeit je Einheit zur Entnahme der Hilfsgröße und die mittlere Zeit an den ausgewählten Einheiten mit und ohne Zielgröße ermittelt. Die Zeiten wurden je Stufe genommen und später zur Bestimmung des Zeitaufwandes (Kosten) von simulierten Stichproben angewandt.

Die Bestimmung des Zeitaufwandes (Kosten) von simulierten Stichproben wurde gemäß der Formel $K = nk_1 + nmk_2$ durchgeführt, wobei K die gesamte Zeit (Kosten) zur Entnahme einer Stichprobe von n Primär- und m Sekundäreinheiten mit einer Einheit auf allen folgenden Stufen sind; k_1 sind die Kosten zur Entnahme einer Primäreinheit und k_2 sind die Kosten zur Entnahme der übrigen Segmente eines Pfades (ab Stufe 2). BRANCH bestimmt K auf Grund jeder Einheit in der Stichprobe, berechnet die mittlere Zeit je Pfad durch $k_0 = K/(nm)$ und k_2 durch [5.1].

$$k_2 = k_0 - \frac{k_1}{m} \quad [5.1]$$

Der Vergleich zwischen dem klassischen RBS (ZmZ) und ZoZ-ZmZ bezüglich Zeitaufwand wurde auf Grund von simulierten Werten durchgeführt, die unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen erlangt wurden (ZmZ: $n=2$ bis 36; ZoZ-ZmZ: $n=2$ bis 6, $m=1$ bis 6). Für jedes Verfahren wurden Spline-Funktionen zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs, der eine bestimmte Präzision sichert, und zur Bestimmung des entsprechenden Zeitaufwands für ein vorgegebenes Präzisionsniveau angepasst. Der Zeitaufwand zur Erlangung eines bestimmten Präzisionsniveaus wurde schließlich zwischen den Verfahren verglichen.

6. Technische Details zur Programmentwicklung

Das Programm BRANCH wurde in der Programmierumgebung Delphi (Version 5.0, Compilierung 5.62) angefertigt. Diese ist ein visuelles Interface, welches die Benutzung des Pascal-Programmierungskodes unter *Windows* ermöglicht. Die Befehle sind in Pascal kodiert und werden innerhalb von Prozeduren eingesetzt. Jede Prozedur kann von einem visuellen Objekt auf dem Bildschirm oder von anderen Prozeduren aktiviert werden. Die wichtigsten sichtbaren Objekte zum Entwurf der Windows-Bedienungsoberfläche sind Formulare und Komponenten, wie z.B. *Button* (Knopf), *Edit* (Textfelder), *Label* (Bezeichnungsfeld), *Stringgrid* (Gitter) usw. Diese Objekte verfügen über Eigenschaften (z.B. Größe, Farbe), Methoden (Funktionen und Prozeduren) sowie über Ereignisse (z.B. das Anklicken mit der Maus), auf welche sie reagieren können. Das Formular fungiert als Container für alle Komponenten und sogar für andere Formulare.

BRANCH besteht aus 254 Prozeduren, die unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Im Folgenden werden manche dieser Prozeduren sowie Bilder der entsprechenden visuellen Objekte präsentiert. Die meisten Bilder zeigen die Objekte, wie sie zur Entwurfszeit aussehen. Im Kapitel 5.2 findet man Bilder der Objekte zur Laufzeit sowie ausführlichere Beschreibungen der Prozeduren zur Entnahme und Analyse von Stichproben und vollständigen Bäumen, die im folgenden beschrieben werden. Nämlich: Probeentnahme (5.2.1), Analyse von vollständigen Bäumen (5.2.2), einschließlich Simulation (5.2.2.1) und Diagnose (5.2.2.2).

6.1 Struktur und Komponenten

Das Programm BRANCH wird von 8 Formularen (grafisches *Windows*-Fenster) gebildet, deren Eigenschaften in einer **.dfm**-Datei gespeichert werden. Jedes Formular besitzt eine **.pas**-Datei, die kodierte Befehle und mathematische oder logische Funktionen enthalten kann (Abbildung 6.1). Die Branch **.dpr**-Datei enthält Informationen zur Erzeugung der Anwendung (die **.exe** Datei), erzeugt das Formular *BranchSpl* (BranchSpl.dfm, ein kurzlebiges Bild zur Identifizierung von BRANCH) und das Formular *Form1* (BranchU1.dfm), das als Container für die Formulare *Form2* und *Form3* (BranchU2.dfm bzw. BranchU3.dfm) zur Laufzeit fungiert (Abbildung 6.2). Die übrigen Formulare werden zur Laufzeit erzeugt. Die Formulare *Form2* und *Form3* besitzen Komponenten, die die grundlegenden Daten, Ergebnisse der Analyse und anderen Informationen nach ihrer Erzeugung enthalten und werden von anderen Komponenten benutzt. Deshalb ist es notwendig, zur Laufzeit immer beide Formulare zur Verfügung zu stellen. Deshalb wurden sie als untergeordnete Formulare deklariert; d.h. sie

erscheinen innerhalb der Oberfläche des Formulars *Form1* und können nicht direkt vom Benutzer zerstört werden.

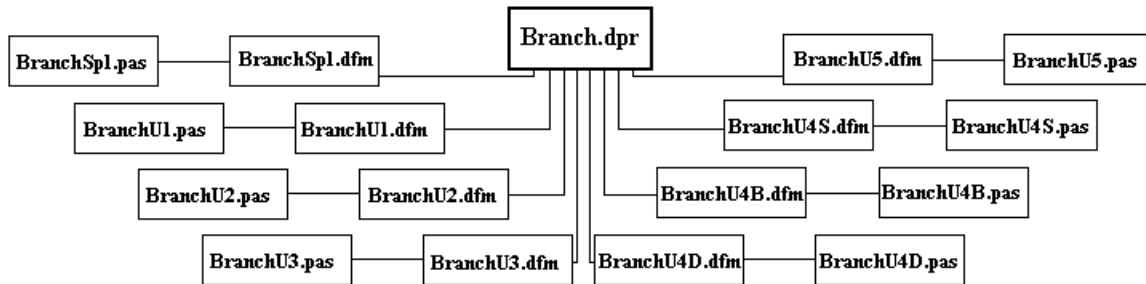


Abb. 6.1: Struktur des Programms BRANCH. Die unterschiedlichen Dateien, die Formulare und Prozeduren speichern.

```

program Branch;
uses
  Forms,
  BranchSpl in 'BranchSpl.pas' {SplashRBS},
  BranchU1 in 'BranchU1.pas' {Form1},
  BranchU2 in 'BranchU2.pas' {Form2},
  BranchU3 in 'BranchU3.pas' {Form3},
  BranchU5 in 'BranchU5.pas' {Form5},
  BranchU4B in 'BranchU4B.pas' {Form4B},
  BranchU4D in 'BranchU4D.pas' {Form4D},
  BranchU4S in 'BranchU4S.pas' {Form4S};
{$R *.RES}
begin
  SplashRBS:=TSplashRBS.Create(Application); SplashRBS.show;
  Application.Initialize; SplashRBS.Update;
  Application.CreateForm(TForm1, Form1);
  SplashRBS.Hide; SplashRBS.Free; Application.Run;
end.
  
```

Abb. 6.2: Die Branch.dpr-Datei. *Form1*, -2, -3, -5, -4B, -4D, -4S sind die Namen unter dessen die Formulare zur Laufzeit genannt werden und deren Prozedure sind in den Dateien *BranchU1.pas*, -U2.pas usw. zu finden.

Das Formular *Form1* (Abbildung 6.3) enthält das Hauptmenü und Komponenten, welche die Nummer des Baumes und den Name der entsprechenden Datei (*StatusBar*), sowie den Lauf von dauerhaften Prozessen (*ProgressBar*) zur Laufzeit anzeigen. Die „unsichtbaren Komponenten“ sind nur zur Entwurfszeit sichtbar und dienen zum Zeichnen oder zur Konfiguration anderer Komponenten. Z.B. dient die *MainMenu*-Komponente zur Erzeugung des Hauptmenüs, d.h. zum Einfügen und Löschen von Menü- und Untermenüpunkten und zur Zuordnung einer bestimmten Prozedur der entsprechenden **.pas**-Datei zu jedem Menü- und Untermenüpunkt.

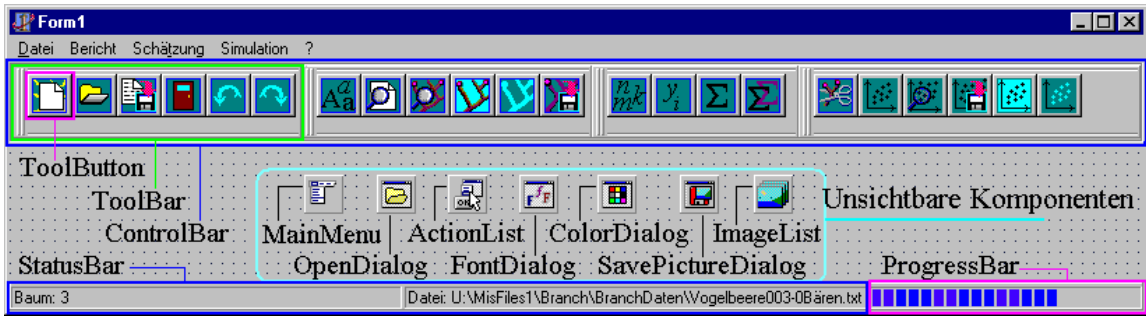


Abb. 6.3: Das Formular *Form1* des Programms BRANCH. Sichtbare und unsichtbare Komponenten.

Das Formular *Form2* enthält ein *TabbedNotebook* mit fünf Seiten, die mehrere Komponenten zum Austausch von Informationen zwischen dem PC und dem Benutzer tragen. Die Seite „Allgemein“ enthält Komponenten zur Definition der Eigenschaften der Entnahme und zur Einfügung von Daten des Bestandes und des Baumes, sowie zur Definition des Szenarios der Diagnose und Simulation (Abbildung 6.4). Welche der Komponenten zur Laufzeit sichtbar sind, hängt vom Prozess ab, der durch BRANCH durchgeführt wird. Die sichtbaren Komponenten werden zur Laufzeit durch Mausklicke ausgewählt und behandelt. Die Textfelder und Gitter wurden zur Einfügung von Information durch die Tastatur konfiguriert.

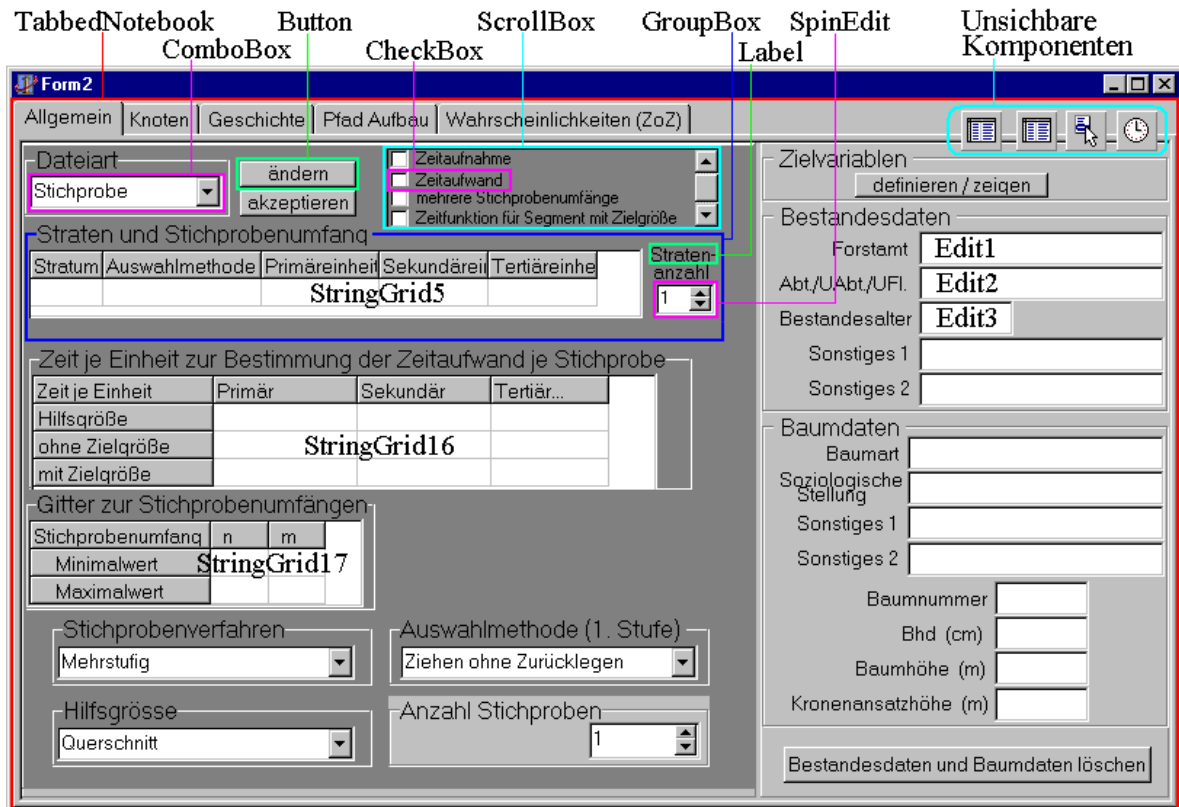


Abb. 6.4: Die Seite „allgemein“ der *TabbedNotebook*-Komponente des Formulars *Form2*. Komponenten zur Definition der Datenentnahme und Simulation (Gitter) und zur Einfügung von allgemeinen Informationen des Bestandes (Textfelder).

Die Seite „Knoten“ des Formulars *Form2* enthält Komponenten zur Datenaufnahme (Abbildung 6.5). Die Aufnahme wird durch Knöpfe gesteuert, die bestimmte Prozeduren zur Durchführung der Aufnahme laufen lassen. In die Gitter 1 und 3 werden die Daten eingefügt und im Gitter 4 werden die ausgewählten Segmente angezeigt. Die Eigenschaften der ausgewählten Segmente werden in Gitter 14 kopiert, in dem eine Spalte für jede definierte Zielgröße zur Verfügung hergestellt wird. Alle eingefügten Daten werden zur Seite „Geschichte“ (Abbildung 6.6) übertragen. Während der Aufnahme einer stratifizierten Stichprobe wird das Bild der Aufnahme (*Image1* in Abbildung 6.5) nach *Image2* (in Abbildung 6.8) geschickt, sobald ein Stratum beendet ist. Jedes Mal, wenn das Bild der Aufnahme vergrößert wird, wird das Bild in *Image2* nach *Image1* zurückgeschickt.

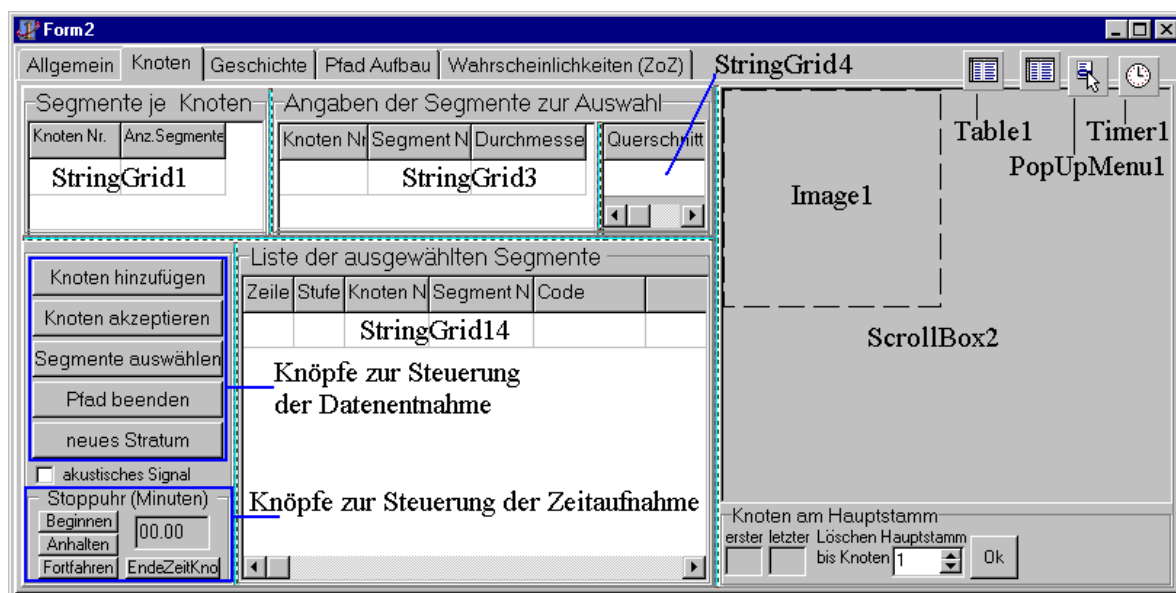


Abb. 6.5: Die Seite „Knoten“ der *TabbedNoteBook*-Komponente des Formulars *Form2*. Knöpfe zur Steuerung der Datenentnahme und Gitter zur Einfügung von Daten. Auf der Oberfläche *Image1* wird ein Bild der Aufnahme erzeugt. Die *ScrollBar*-Komponente erlaubt das Zeichnen eines Bildes größer als der verfügbare Platz auf dem Bildschirm.

Die Seite „Pfad Aufbau“ des Formulars *Form2* enthält Komponenten zur Verarbeitung von Daten (Abbildung 6.7). Im Gitter 9 werden alle Pfade der Stichprobe (gegebenenfalls Baum) generiert. Dort wird jedes Segment des Pfades identifiziert und seine bedingte Auswahlwahrscheinlichkeit sowie der Wert der zu analysierenden Zielgröße dargestellt. Das Gitter 8 trägt für unterschiedliche Stufen die Schätzungen aus jedem Pfad zusammen mit den entsprechenden unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten. Die Ergebnisse der Schätzung für jede Stichprobe werden im Gitter 7 dargestellt. Wenn eine Simulation durchgeführt wird, wird ein Bild der Verteilung der Pfade generiert (*Image3*). Andere Ergebnisse werden in den Komponenten der Seite „Wahrscheinlichkeiten (ZoZ)“ ausgegeben (Abbildung 6.8). Wenn

das Ziehen ohne Zurücklegen durchgeführt wird, werden die Auswahlwahrscheinlichkeiten im Gitter 15 ausgegeben. Das Gitter 2 trägt eine Zusammenfassung des Verfahrens, die am Ende der Ergebnisse im Gitter 7 (Abbildung 6.7) hinzugeführt wird. Die *QuickReport*-Komponenten dienen zur Vorbereitung von Berichten.

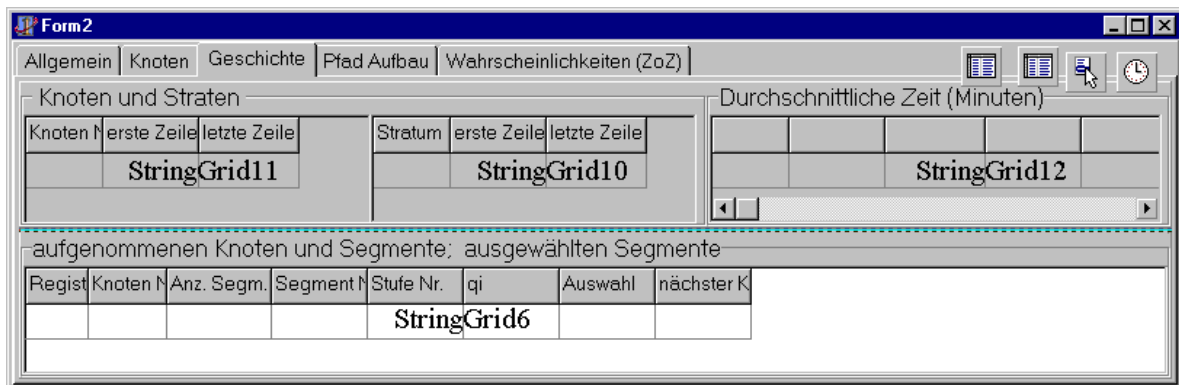


Abb. 6.6: Die Seite „Geschichte“ der *TabbedNoteBook*-Komponente des Formulars *Form2*. Gitter zur Lagerung aller entnommenen Daten.

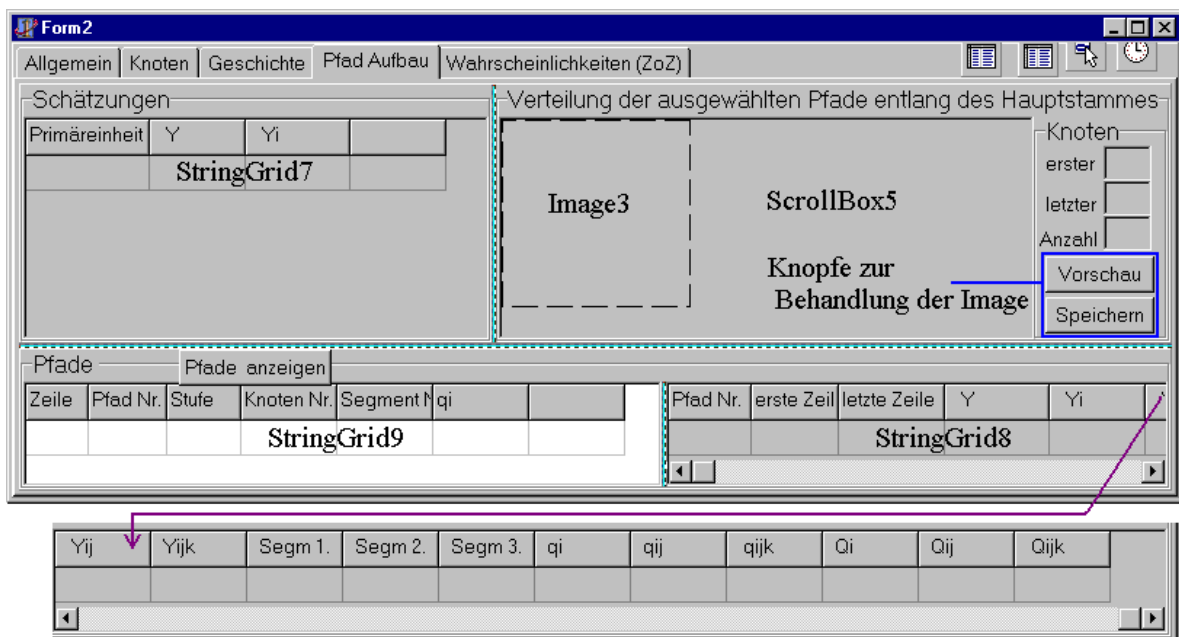


Abb. 6.7: Die Seite „Pfad Aufbau“ der *TabbedNoteBook*-Komponente des Formulars *Form2*. Gitter zur Verarbeitung von Daten und Oberfläche zur Erzeugung eines Bildes der Verteilung der ausgewählten Pfade (*Image3*), wenn eine Simulation durchgeführt wird.

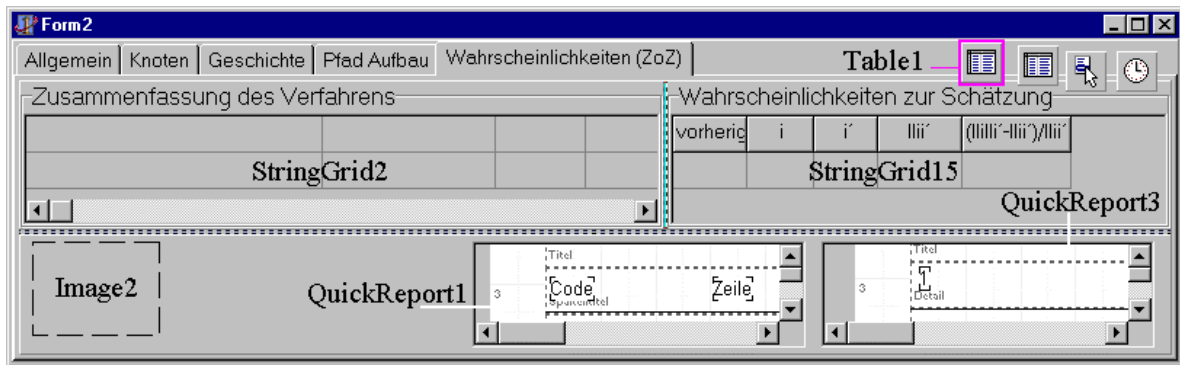


Abb. 6.8: Die Seite „Wahrscheinlichkeiten (ZoZ)“ der *TabbedNoteBook*-Komponente des Formulars *Form2*. Komponenten zur Abgabe von Ergebnissen (Gitter) und Vorbereitung von Berichten (*QuickReport*).

Das Formular *Form3* enthält Komponenten zur Durchführung von Diagnosen (Abbildung 6.9). Dort ist eine *TabbedNotebook*-Komponente mit drei Seiten eingesetzt. Die Seite „Hauptstamm“ enthält Komponenten zur Definition der Analyse (Löschen von Segmenten) und zur Abgabe der Ergebnisse (Textfelder). Die Seite „Stratifizierung“ enthält Komponenten zur Definition der Stratifizierung der Baumkrone und zur Abgabe der Ergebnisse (Gitter 1). Die Seite „Standardfehler“ zeigt die Standardfehler für unterschiedliche Stichprobenumfänge für das Ziehen mit und ohne Zurücklegen (Gitter 2). Diese und andere Ergebnisse werden auf der Oberfläche *Image1* als Bild dargestellt.

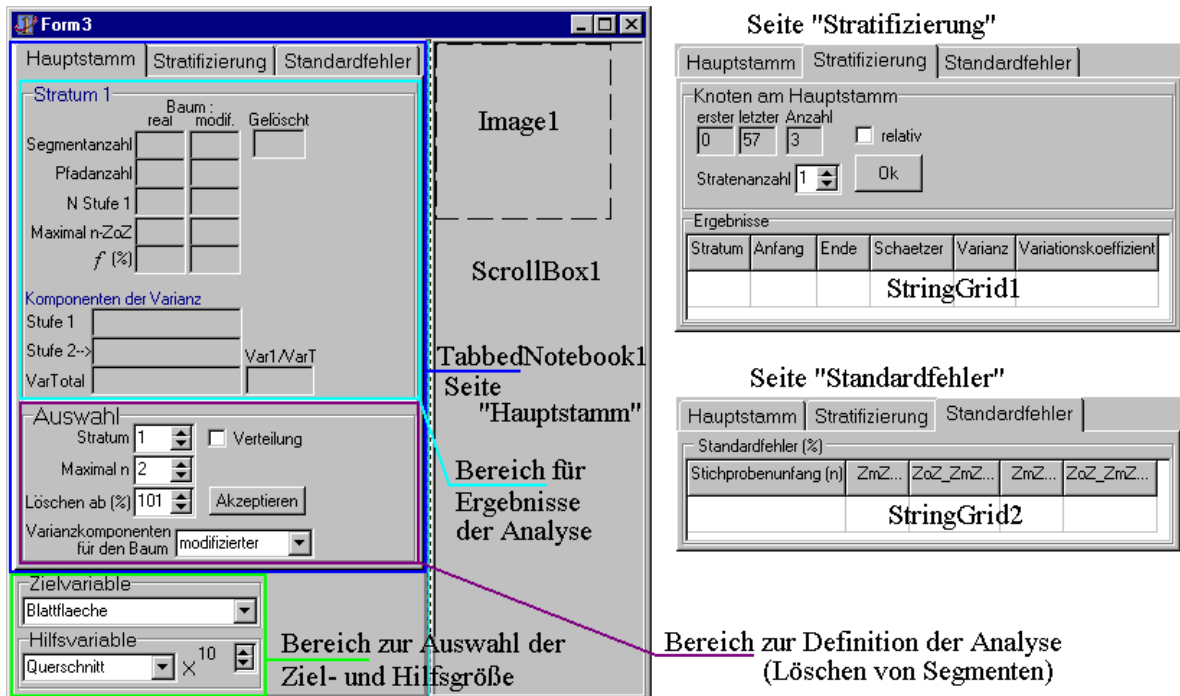


Abb. 6.9: Komponenten des Formulars *Form3*. Die drei Seiten der *TabbedNotebook*-Komponente und entsprechende Komponenten zur Definition der Analyse und Abgabe von Ergebnissen.

Die Formulare *Form4B*, *-D* und *-S* dienen als Oberfläche zur Erzeugung von unabhängigen Bildern der Entnahme oder der Ergebnisse (Abbildung 6.10). Im Formular *Form5* werden alle verfügbaren Zielgrößen zur Auswahl dargestellt (Abbildung 6.10, rechts).

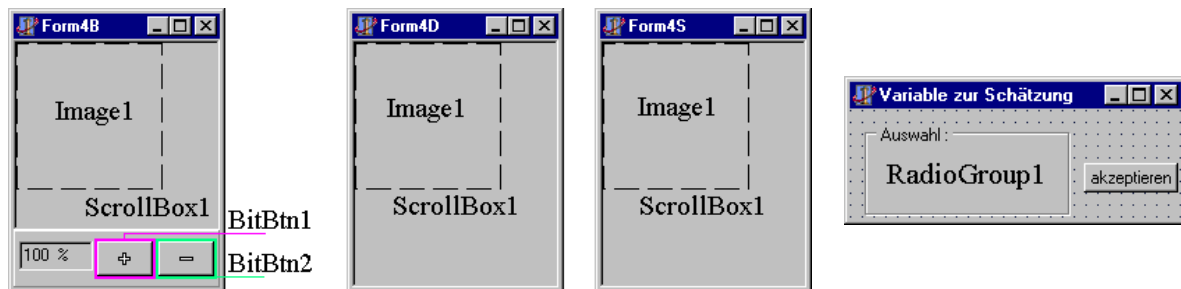


Abb. 6.10: Links: Die drei Formulare zur Darstellung von Bildern: *Form4B*: Bild der Stichprobe oder des Baumes; *Form4D*: Bild für Ergebnisse der Diagnose; *Form4S*: Bild für Ergebnisse der Simulation. Rechts: Das Formular *Form5* des Programms BRANCH, das die Auswahl der Zielgröße vor einer Schätzung oder Simulation ermöglicht.

6.2 Flußdiagramme von zielorientierten Prozeduren

BRANCH bietet zahlreiche Optionen zur Entnahme und Analyse von Daten, deren Identifizierung und Behandlung durch mehrere Variablen realisiert wird. Die Werte dieser Variablen bestimmen den Lauf der Prozesse. Manche dieser Variablen und deren Werte, die auf den Flußdiagrammen derjenigen Prozeduren erscheinen, die im folgenden dargestellt werden, werden hier beschrieben. Jede Prozedur wird durch doppelte senkrechte Linien auf den Flußdiagrammen symbolisiert.

Fall: Dient zur Identifizierung des Verfahrens. Nämlich: (1) Einstufiges Verfahren mit Ziehen mit Zurücklegen auf Stufe 1; (2) Einstufiges Verfahren mit Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1; (3) RBS-Verfahren mit Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit Zurücklegen auf allen folgenden (ZoZ-ZmZ); (4) RBS-Verfahren mit Ziehen mit Zurücklegen auf Stufe 1, ohne Zurücklegen auf Stufe 2 und mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen (ZmZ-ZoZ-ZmZ); (5) Klassisches RBS-Verfahren mit Ziehen mit Zurücklegen auf allen Stufen; und (6) Aufnahme eines vollständigen Baumes. **HVar:** 0: Alle Werte der Hilfsgröße sind verfügbar. **NTU:** Anzahl von Segmenten eines Knotens. **Simul:** Dient zur Identifizierung der Art der Berechnung. Nämlich: (0) Schätzung aus einer im Feld entnommenen Stichprobe; (1) Durchführung einer Simulation; (2) Durchführung einer Diagnose. **SPU:** Anzahl von Segmenten, die an einem Knoten ausgewählt werden sollen. **StichPUA:** Anzahl von Stichproben, die während der Simulation ausgewählt werden sollen. **ZVar:** 0: Alle Werte der Zielgröße sind verfügbar.

6.2.1 Erzeugung einer neuen Datei

Die Erzeugung einer neuen Datei beginnt mit dem Mausklick auf den entsprechenden Knopf oder Untermenüpunkt im Hauptmenü. Das ruft im Formular *Form1* die Prozedur **NeueDateiErzeugen** an, welche die Prozedur **ReinigenObjekte** im Formular *Form2* laufen lässt (Abbildung 6.11, links). Diese Prozedur leitet die Vorbereitung aller Objekte und Variablen zur Einfügung von neuen Daten. Dies schließt die Reinigung von Gittern (**ReinigenGitter**), Textfeldern (**ReinigenTextFelder**) und Variablen (**ReinigenVarWerte**) und die Zuweisung eines grundlegenden Entnahmeszenarios (**AuswahlMethode**, **BaumOderStichprobe** usw.) ein.

Die Definition des Entnahmeszenarios beginnt mit dem Klick auf den Knopf „ändern“, der in der Seite „allgemein“ im Formular *Form2* eingesetzt ist. Das ruft im Formular *Form2* die Prozedur **EntnahmeDefinieren** auf, welche die notwendigen Objekte zur Definition des Entnahmeszenarios vorbereitet (Abbildung 6.11, oben rechts). Nach Beendigung der Definition und Klicken auf den Knopf „akzeptieren“ wird eine Prozedur zur Anerkennung der Eigenschaften der Entnahme (**EntnahmeAkzeptieren**) aufgerufen (Abbildung 6.11, unten rechts). Diese bestimmt auch in Abhängigkeit vom Entnahmeszenario die Sichtbarkeit der Objekte (**SichtbareObjekte**) und kontrolliert die Anpassung der Stichprobenumfänge zur definierten Auswahlmethode (**KtrllStpUmfStraten**).

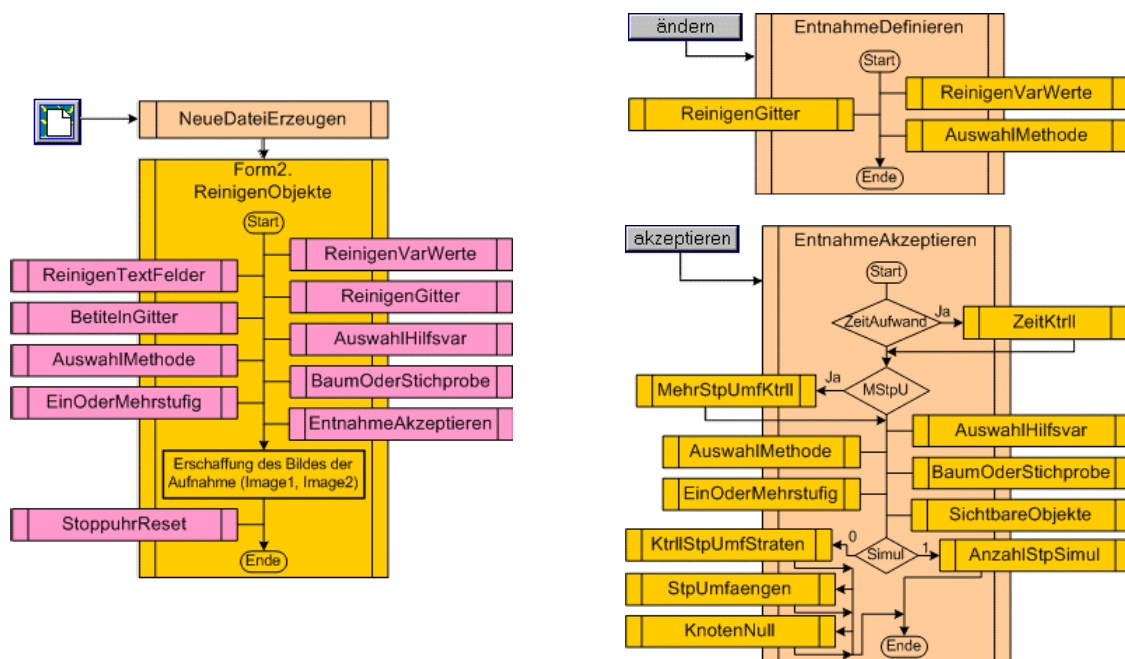


Abb. 6.11: Die Erzeugung einer neuen Datei (links), die Definition des Entnahmeszenarios (rechts) und die daran beteiligten Prozeduren.

6.2.2 Einfügung von Daten

Der Fortgang der Einfügung von Daten wird durch die Knöpfe der Seite „Knoten“ im Formular *Form2* kontrolliert. Der Klick auf den Knopf „Knoten hinzufügen“ ruft im Formular *Form2* die Prozedur **HinzufuegenKnoten** an, die den Befehl zur Einfügung eines Knotens erteilt (Abbildung 6.12, links). Nach dem Mausklick auf dem Knopf wird ein neuer Platz für den Knoten im Gitter 1 zur Einfügung der Anzahl von Segmenten am Knoten generiert. Nach der Einfügung der Anzahl von Segmenten im Gitter 1 drückt man den Knopf „Knoten akzeptieren“, der die Prozedur **AkzeptierenKnoten** aktiviert, die eine Zeile für jedes Segment im Gitter 3 generiert (Abbildung 6.12, rechts).

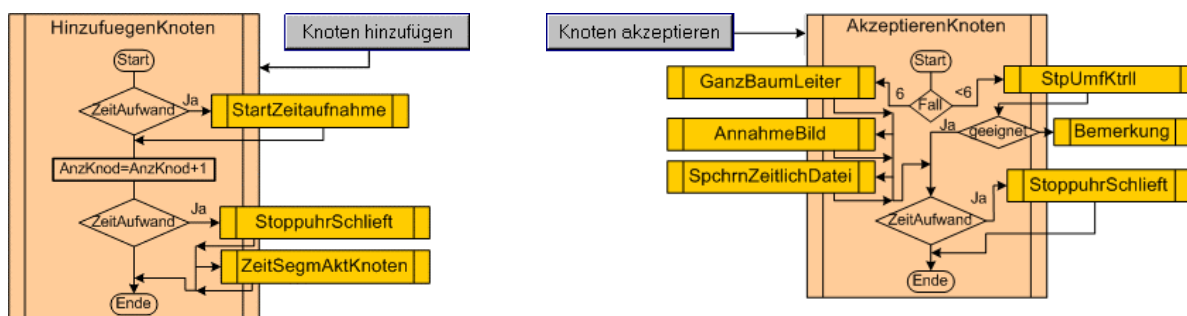


Abb. 6.12: Die Einfügung (links) und das Akzeptieren eines Knotens (rechts) und die daran beteiligten Prozeduren.

Nach der Einfügung im Gitter 3 des Wertes der Hilfsgröße jedes Segmentes drückt man den Knopf „Segmente auswählen“, der die Prozedur **AuswahlenSegmente** aktiviert, welche die Berechnung der Auswahlwahrscheinlichkeit jedes Segmentes, die Auswahl der Segmente, die Übertragung der eingefügten Informationen zur Seite „Geschichte“ (Abbildung 6.6), die Übertragung der ausgewählten Segmente zum Gitter 14 und das Zeichnen eines Bildes (*Image1*) der Entnahme steuert (Abbildung 6.13).

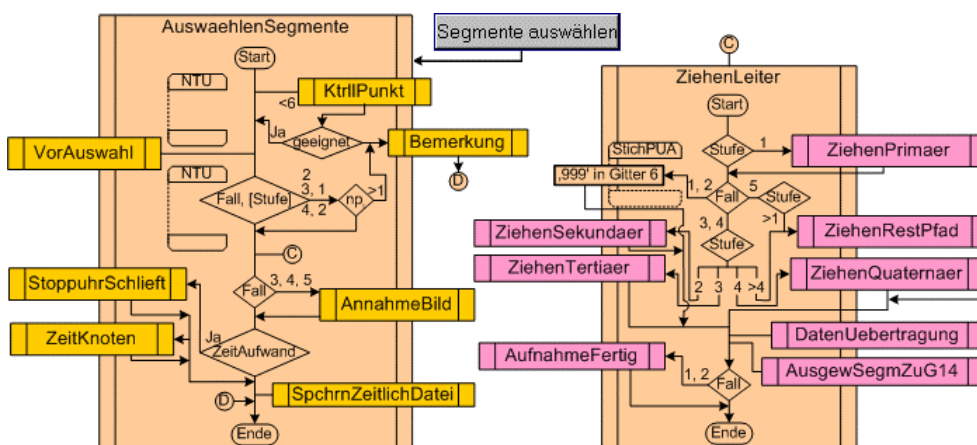


Abb. 6.13: Die Auswahl der Segmente an einem Knoten und die daran beteiligten Prozeduren.

Die Auswahl der gewünschten Anzahl von Segmenten an einem Knoten wird sequentiell durch die Prozedur **AuswählenSegmente** geleitet. Für jedes eingefügte Segment die Prozedur (a) kontrolliert, ob der Wert der Hilfsgröße mehr als einen Dezimalpunkt besitzt (**KtrllPunkt**); (b) berechnet die Auswahlwahrscheinlichkeit (**VorAuswahl**) und (c) kontrolliert in Abhängigkeit von der Auswahlmethode und Stufe, ob die Beschränkung $n \cdot q_i < 1$ erfüllt wird. Die Auswahl der Segmente eines bestimmten Knotens wird der Prozedur **ZiehenLeiter** übertragen, welche die Auswahl leitet. Sie wird dazu von den Prozeduren **ZiehenPrimaer** (Auswahl der Primärstichprobe), **ZiehenSekundaer** (Auswahl der Sekundärstichprobe), **ZiehenTertiaer** (Tertiärstichprobe), **ZiehenQuaternaer** (Quaternärstichprobe) und **ZiehenEnde** (Auswahl auf den folgenden Stufen) unterstützt (Abbildung 6.14).

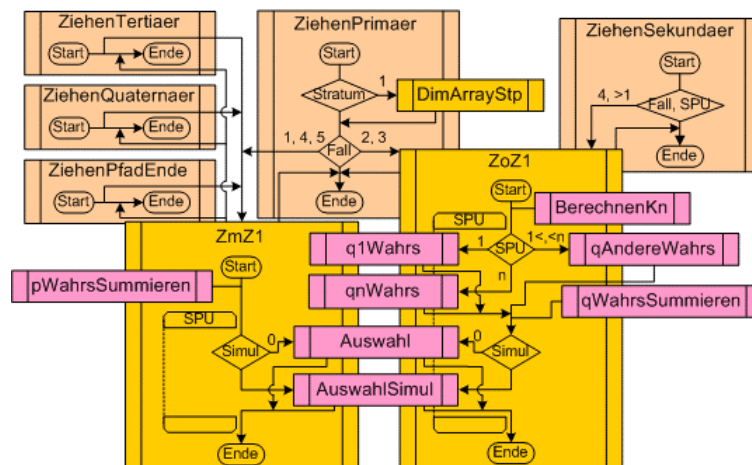


Abb. 6.14: Die Auswahl der Segmente auf den unterschiedlichen Stufen und die daran beteiligten Prozeduren.

Die Auswahlen ohne und mit Zurücklegen werden von den Prozeduren **ZoZ1** bzw. **ZmZ1** übernommen. Für einen bestimmten Stichprobenumfang n steuert **ZoZ1** die Berechnung der Konstante K (**BerechnenKn**) und der Auswahlwahrscheinlichkeiten für jedes Ziehen gemäß der Methode Sampfords (Prozedure **q1Wahrs**, **qAndereWahrs** und **qnWahrs**) und leitet die Auswahl der Einheiten (Prozedur **Auswahl** während einer Entnahme oder **AuswahlSimul** während einer Simulation).

Nach der Auswahl werden die ausgewählten Segmente angezeigt und in Gitter 14 kopiert. Danach werden alle eingefügten Daten zu den Gittern in der Seite „Geschichte“ übertragen (**DatenUebertragung**, Abbildung 6.13). Die Prozedur **AuswählenSegmente** steuert auch das Zeichnen des Bildes der Entnahme (Prozedure **AnnahmeBild**) und signalisiert am Ende des ersten ausgewählten Segmentes des aktuellen Knotens die Lage für einen neuen

potentiellen Knoten. Auf dem Bild der Entnahme wird am Ende des Segmentes, für welches eine Entscheidung getroffen werden soll, ein roter Kreis, der die Nummer des Segmentes einschließt, dargestellt. Der Benutzer muss entscheiden, ob am Ende des Segmentes ein neuer Knoten eingefügt werden muss oder das Segment ein Endsegment ist. Zur Einfügung eines neuen Knotens wird die gesamte beschriebene Methodik wiederholt.

Wenn das Ende eines Pfades erreicht wird, drückt man den Knopf „Pfad beenden“, der die Prozedur **BeendenPfad** zur Steuerung der Suche nach dem nächsten ausgewählten Segment aktiviert (Abbildung 6.15, links). Die Suche beginnt am Knoten, an dem der letzte Pfad beendet wurde. Steht am Knoten ein ausgewähltes Segment zur Verfügung, das keinen Teil eines beendeten Pfades bildet, wird dies signalisiert, und der Benutzer muss wieder die oben genannte Entscheidung treffen. Steht am Knoten kein ausgewähltes Segment mehr zur Verfügung, wird die Suche am darunterliegenden Knoten fortgesetzt, von dem das Segment, an dessen Ende der aktuelle Knoten liegt, verzweigt. Das gesamte Verfahren wird wiederholt bis zum Abschluss der Stichprobe (oder vollständiger Baum), d.h. wenn kein ausgewähltes Segment mehr am ersten Knoten des Baumes (Knoten 1) zur Verfügung steht. Jeder beendete Pfad wird mit dem Code „999“ in der Spalte „nächster Knoten“ des Gitters 6 gekennzeichnet (Abbildung 6.6).

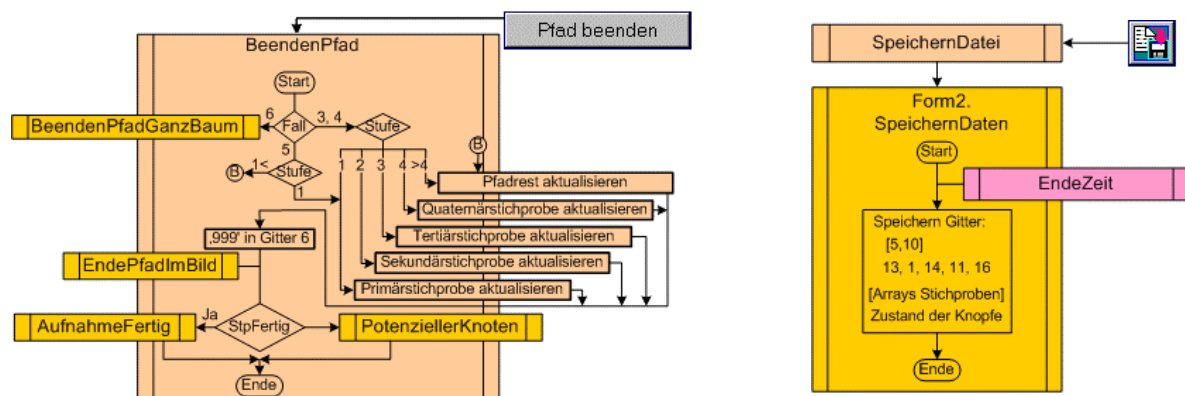


Abb. 6.15: Diagramme der Beendigung eines Pfades (links) und Speicherung der Daten (rechts) und die daran beteiligten Prozeduren. Die Gitter 5 und 10 und die Felder (Arrays), welche die Segmente der Stichprobe identifizieren, werden nur gespeichert, wenn es sich um die Entnahme einer Stichprobe handelt.

Die Speicherung der Daten darf nach der Auswahl der Segmente an irgendwelchen Knoten stattfinden. Dazu drückt man den entsprechenden Knopf oder Untermenüpunkt, welcher die Prozedur **SpeichernDatei** und **SpeichernDaten** aktiviert (Abbildung 6.15, rechts). Gleichzeitig wird damit die Zeitaufnahme beendet (**Endezeit**) und die entnommenen Daten gespeichert.

6.2.3 Durchführung von Schätzungen

Zur Durchführung einer Schätzung aus einer simulierten oder einer auf dem Feld entnommenen Stichprobe ist die gewünschte Zielgröße auszuwählen. Die Auswahl beginnt mit dem Mausklick auf den entsprechenden Knopf oder Untermenüpunkt im Hauptmenü. Das ruft im Formular *Form1* die Prozedur **ZielVarSchaetzung** an, welche die Prozeduren **NameZielVarZuG14** und **VerZielVar** im Formular *Form2* laufen lässt, die bestätigen, ob mindestens eine Zielgröße definiert wurde. Wenn mindestens eine Zielgröße zur Verfügung steht, wird das Formular *Form5* hergestellt und die darin existierende **ZeigenAlleZielVar**-Prozedur aktiviert (Abbildung 6.16, links). Ihre Funktion besteht darin, die Namen aller definierten Zielgrößen zu zeigen und in der Komponente *RadioGroup1* zur Auswahl (Abbildung 6.10, rechts) zu stellen.

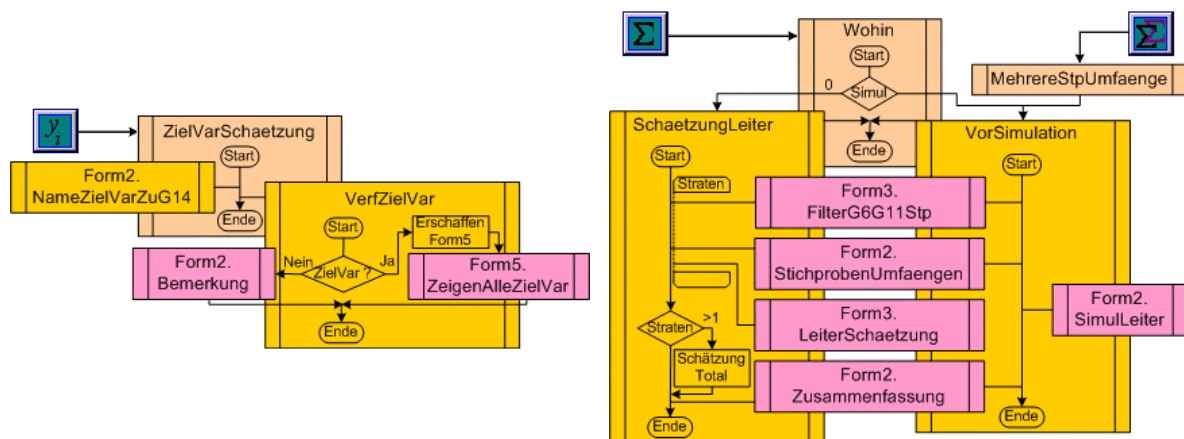


Abb. 6.16: Auswahl der Zielgröße (links), Durchführung der Schätzung (rechts) und die daran beteiligten Prozeduren.

Nach der Auswahl der Zielgröße drückt man auf den entsprechenden Knopf oder Untermenüpunkt zur Durchführung der Schätzung. Die Schätzung für jedes Stratum einer Stichprobe wird von der Prozedur **SchaetzungLeiter** gesteuert, welche zuerst das Kopieren der Daten aus den Gittern 6 und 11 in den Feldern *ArrayG6* bzw. *ArrayG11* (**FilterG6G11Stp** in *Form3*) befiehlt. Danach leitet sie das Lesen der Stichprobenumfänge aus dem Gitter 5 (Primär, Sekundär usw.) mit der Prozedur **StichprobenUmfaengen** in *Form2* und die Berechnung des Schätzers und der Varianz der Stichprobe jedes Stratum (**LeiterSchaetzung** in *Form3*; Abbildung 6.16, rechts) ein.

Die Prozedur **LeiterSchaetzung** aktiviert die Prozedur **PfadeAufbau**, welche im Gitter 9 alle möglichen Pfade der Stichprobe herstellt. Dazu benutzt sie die Daten des Gitters 6, woran sie am Code „999“ das Ende eines Pfades erkennt. Dann werden die Werte der Zielgröße der

Segmente vom Gitter 14 zum Gitter 9 übertragen (**WerteZielVarG14zuG9**). Danach wird die Verantwortung des Prozesses gemäß der Eigenschaften der Stichprobe auf die Prozedur übertragen (Abbildung 6.17), die durch den Wert der Variable „Fall“ bestimmt ist (s. Kapitel 6.2). Z.B. wird die Prozedur **LeiterFall5** angerufen, wenn es sich um eine durch das klassische RBS-Verfahren ausgewählte Stichprobe handelt. Diese ruft die Prozedur **SchaetzungPfad** an, welche die Schätzung aus jedem Pfad für bestimmte Stufen (0 bis 3, s. Abbildung 6.7) realisiert und im Gitter 8 einfügt. Aus diesen Werten werden der Schätzer und die Varianz der Zielgröße für den ganzen Baum ermittelt. Die selbe Prozedur nimmt auch im Zusammenhang mit anderen Prozeduren an der Schätzung von anderen Verfahren teil. Im Fall 3 (ZoZ-ZmZ) werden zuerst die Berechnungen der Variable K (**BerechnenKn** in *Form2*) und der Auswahlwahrscheinlichkeiten (**WahrsZoZ**) gemäß der Methode Sampfords durchgeführt. Danach findet die Schätzung je Pfad und Stufe statt (**SchaetzungPfad**). Am Ende werden die Schätzer für die Stufen 2 und 1 (**SchStufe1und2**) und für den ganzen Baum ermittelt.

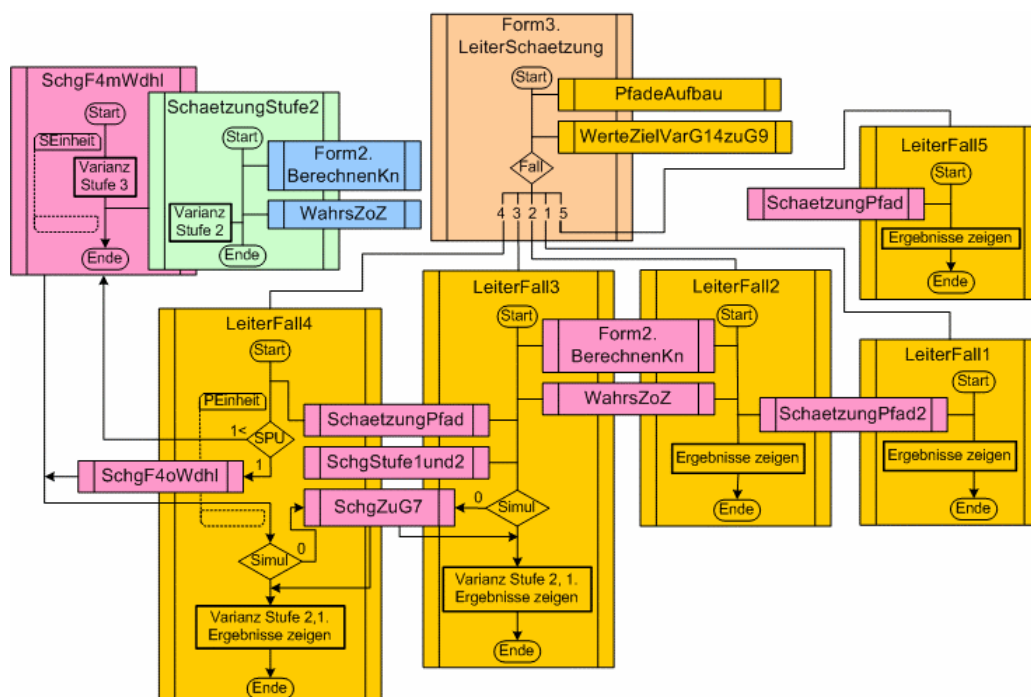


Abb. 6.17: Diagramm der Schätzung und die daran beteiligten Prozeduren.

6.2.4 Durchführung von Simulationen

Die Durchführung einer Simulation beginnt mit der Definition des Szenarios. Dazu drückt man den entsprechenden Knopf oder Untermenüpunkt im Formular *Form1*, welcher Komponenten des Formulars *Form2* zu diesem Zweck vorbereitet (s. Abbildung 6.4). Dort sind die Eigenschaften der Stichprobe und die Anzahl der Stichproben zu definieren. Außerdem muss man entscheiden, ob der Zeitaufwand (*CheckBox* „Zeitaufnahme“)

festgehalten werden soll. Wenn dieser der Fall ist, muss man die Zeiten (Kosten) im Gitter 16 einfügen. Man muss auch entscheiden, ob es sich um eine simple oder eine Simulation mit mehreren Stichprobenumfängen handelt. Wenn das letztere der Fall ist, muss man im Gitter 17 die gewünschten Grenzen der Stichprobenumfänge einfügen. In diesem Fall werden die mittleren Ergebnisse für jede Simulation in einer Datei gespeichert.

Die Definition des Simulationszenarios wird mit dem Mausklick auf dem Knopf „akzeptieren“ der Seite „Allgemein“ im Formular *Form2* (Abbildung 6.11, unten rechts) beendet. Die Folge von Ereignissen, die der Knopf „akzeptieren“ auslöst, wurden schon im Kapitel 6.2.1 beschrieben. Nach der Definition des Simulationszenarios wählt man die Zielgröße aus und drückt den geeigneten Knopf oder Untermenüpunkt zur Durchführung der gewünschten Simulation (Abbildung 6.16; s. Kapitel 6.2.3). Wenn es sich um eine Simulation mit mehreren Stichprobenumfängen handelt, wird die Prozedur **MehrereStpUmfange** zur Steuerung des Prozesses angerufen, welche für jeden möglichen Stichprobenumfang die Prozedur **VorSimulation** aktiviert. Diese bereitet *alle* Objekte zur Simulation vor und aktiviert die Prozedur **SimulLeiter**, welche die Auswahl jeder Stichprobe und die entsprechende Schätzung leitet (Abbildung 6.18).

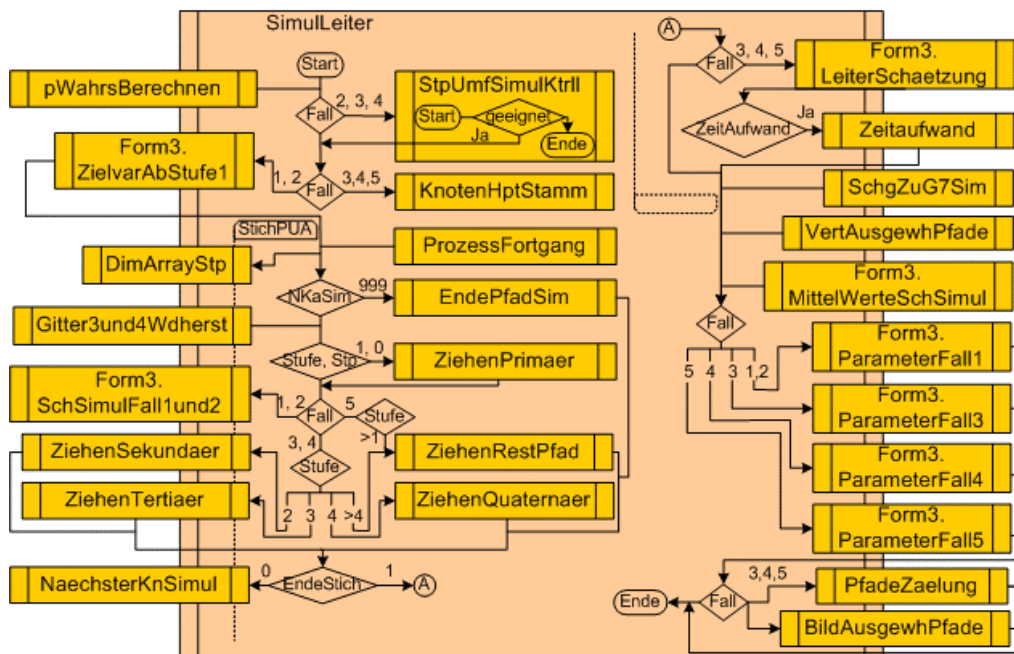


Abb. 6.18: Diagramm der Prozedur, welche die Simulation leitet und die daran beteiligten Prozeduren.

Vor der Auswahl der Stichproben befiehlt die Prozedur **SimulLeiter** die Berechnung der grundlegenden Wahrscheinlichkeiten jedes Segmentes des Baumes gemäß der Hilfsgröße mit den Daten des ArrayG6s (**pWahrsBerechnen**), kontrolliert, ob sich die Stichprobenumfänge

und definierten Auswahlverfahren an die verfügbaren Daten anpassen (**StpUmfSimulKtrll**) und bestimmt die Knoten, die den Hauptstamm bilden (**KnotenHptStamm**), wenn es sich um ein RBS-Verfahren handelt. Zur Auswahl werden die selben Komponenten zur Auswahl einer Stichprobe wie auf dem Feld benützt. Der Unterschied liegt darin, dass jetzt die Daten für jedes Segment in den Gittern 3 und 4 nicht vom Benutzer, sondern aus dem ArrayG6 kommen. Die **Gitter3und4Wdherst**-Prozedur nimmt die Daten der Segmente jedes Knotens aus dem ArrayG6 und kopiert sie in die Gitter 3 und 4. Danach wird die Auswahl der gewünschten Anzahl von Segmenten mit Hilfe der Prozeduren **ZiehenPrimaer** usw. durchgeführt, wie schon im Kapitel 6.2.2 beschrieben wurde (s. Abbildung 6.14). Wenn ein Endsegment ausgewählt wird, wird die Prozedur **EndePfadSim** aktiviert (Abbildung 6.18). Wenn ein ausgewähltes Segment kein Endsegment ist, wird der Knoten am Ende des Segmentes von der Prozedur **NaechsterKnSimul** gesucht und dessen Segmente von der **Gitter3und4Wdherst**-Prozedur in die Gitter 3 und 4 kopiert. Wenn die Auswahl einer Stichprobe beendet wird (d.h., wenn **EndStich=1**), wird die Steuerung des Prozesses der Prozedur **Leiterschaetzung** überlassen (s. Abbildung 6.17). Danach wird der Zeitaufwand für die Stichprobe bestimmt (**ZeitAufwand**) und die Schätzungen zum Gitter 7 übertragen (**SchZuG7Sim**). Die ganze beschriebene Methodik wird für jede Stichprobe wiederholt. Zum Schluss wird die Verteilung der ausgewählten Pfade ermittelt (**VertAusgewhPfade**) und die Mittelwerte der Stichproben (**MittelWerteSchSimul**) und die Parameter der Zielgröße am Baum berechnet (**ParameterFall1** usw.). Am Ende wird das Bild der Verteilung der ausgewählten Pfade generiert (**BildAusgewhPfade**).

6.2.5 Durchführung von Diagnosen (Löschen und Stratifizierung)

Zur Durchführung einer Diagnose drückt man auf dem Formular *Form1* den entsprechenden Knopf (Abbildung 6.19). Der Knopf aktiviert die Prozedur **VorbereitungDiagnose**, die das Formular *Form3* (s. Abbildung 6.9) erzeugt (**Form3Erschaffen**), eine Oberfläche für das Bild der Diagnose vorbereitet, alle verfügbaren Zielgrößen zur Verfügung stellt (**ZeigenZielVar**) und die Knoten bestimmt (**KnotenHptStamm**), die den Hauptstamm bilden.

Auf der Seite „Hauptstamm“ des Formulars *Form3* (s. Abbildung 6.9) definiert man das Löscheszenario (hauptsächlich die unbedingte Wahrscheinlichkeit, ab der die Segmente gelöscht werden sollen) und drückt den Knopf „Akzeptieren“, der eine Prozedur zur Steuerung der Diagnose (**DiagnoseLeiter**) aktiviert (Abbildung 6.19, rechts). Diese kontrolliert, ob alle Werte der ausgewählten Ziel- und Hilfsgröße zur Verfügung stehen

(**KtrlZielVar** bzw. **KtrlHilfsVar**), akzeptiert die Grenzen des aktuellen Stratums (**GrenzStratenKtrl**), kopiert alle Daten, die dem Stratum angehören (**FilterG6G11**) in die Felder **ArrayG6** und **ArrayG11**, berechnet die kumulierte Zielgröße ab jedem Segment (**ZielVarAbSegment**) und bestimmt den Wert von dessen Hilfsgröße (**WertHilfsVar**). Dann befiehlt sie die Erzeugung aller Pfade des Stratums (**PfadeAufbau**), die Berechnung ihrer Auswahlwahrscheinlichkeiten (**WahrsQri**), die Berechnung der Varianzen zwischen den Primäreinheiten und ab Stufe 2 (**VarKomponenten**) und berechnet den Standardfehler (**StdFehler**) für den ursprünglichen Baum. Danach bestimmt sie die Beziehung zwischen der Zielgröße ab den Segmenten und deren unbedingte Auswahlwahrscheinlichkeiten sowohl für den ursprünglichen als auch für den modifizierten Baum (**BeziehungZgQr**), berechnet den Variationskoeffizient für den modifizierten Baum (**VarKoeffMod**) und generiert ein Bild mit den Ergebnissen (**AchsenBildDiagnose**, **BildDiagnose**, **BildStdFehler**). Am Ende aktiviert sie die Prozedur **FilterAG6AG11**, die die Daten, die dem Stratum angehören und wegen ihrer Größe nicht eliminiert werden sollen, in die Felder **ArrayG6** und **ArrayG11** kopiert. Diese Daten bilden die neue Struktur der Baumkrone, die die Berechnung des Standardfehlers am modifizierten Baum erlaubt. Dazu aktiviert **FilterAG6AG11** die Prozeduren **WertHilfsVar**, **PfadeAufbau**, **StdFehler** und **BildStdFehler**.

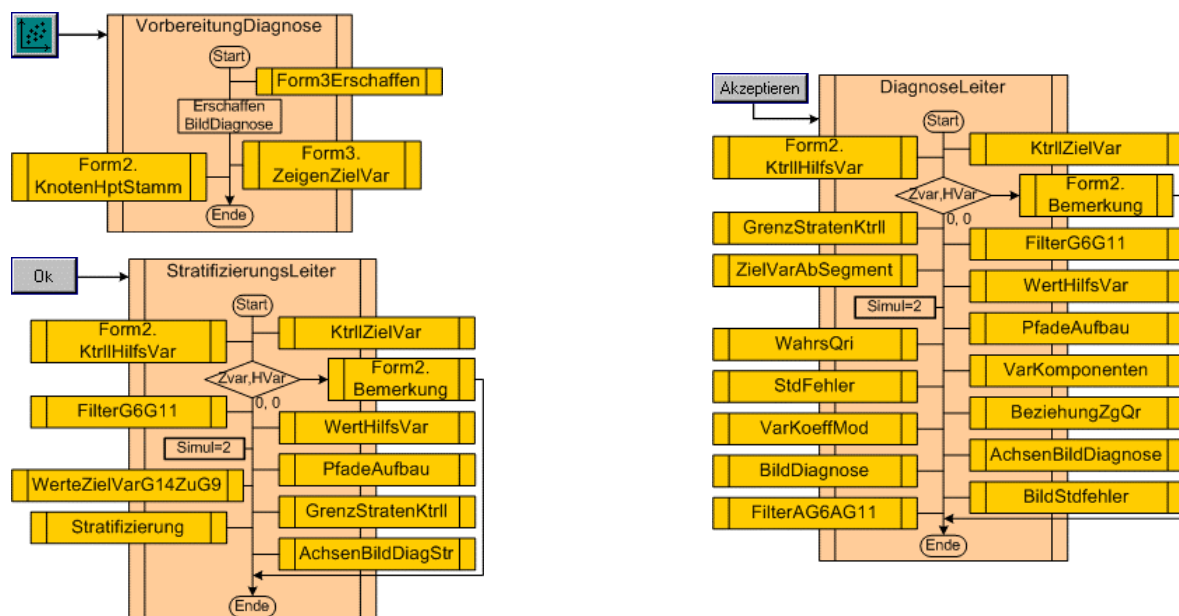


Abb. 6.19: Diagramme der Durchführung einer Diagnose mit den daran beteiligten Prozeduren.

Zur Stratifizierung der Baumkrone benutzt man die Seite „Stratifizierung“ des Formulars *Form3* (s. Abbildung 6.9). Dort ist die Anzahl der Straten und der letzte Knoten jedes Stratums zu definieren (Spalte „Ende“ im Gitter 1). Wenn man den Knopf „Ok“ drückt, wird

die Prozedur **StratifizierungsLeiter** zur Steuerung der Stratifizierung aktiviert (Abbildung 6.19, unten links). Diese Prozedur kontrolliert, ob alle Werte der ausgewählten Ziel- und Hilfsgröße zur Verfügung stehen (**KtrlZielVar** bzw. **KtrlHilfsVar**), kopiert alle Daten des Baumes in die Felder ArrayG6 und ArrayG11 (**FilterG6G11**) und bestimmt den Wert der Hilfsgröße der Segmente (**WertHilfsVar**). Dann befiehlt sie die Erzeugung aller Pfade des Baumes (**PfadeAufbau**), die Zuweisung der Zielgröße (**WerteZielVarG14ZuG9**), kontrolliert die Grenzen der Straten (**GrenzStratenKtrl**) und überlässt die Steuerung des Prozesses der Prozedur **Stratifizierung**. Diese Prozedur bestimmt die Pfade jedes Stratum und berechnet die entsprechenden Schätzer. Am Ende wird ein Bild mit den Ergebnissen der Stratifizierung hergestellt (**AchsenBildDiagStr**).

6.2.6 Laden von Daten

Das Laden von Daten aus einer Datei beginnt mit dem Mausklick auf den entsprechenden Knopf oder Unterpunkt im Hauptmenü (Formular *Form1*). Das ruft im Formular *Form1* die Prozedur **Oeffnendatei** an, welche die Vorbereitung aller Objekte und Variablen zum Laden von Daten leitet. Diese Prozedur ruft im Formular *Form2* eine Prozedur zur Reinigung der Objekte (**ReinigenObjekte**), lädt die Daten, bestimmt die Sichtbarkeit der Objekte (**SichtbareObjekte**), berechnet die mittleren Zeitaufwände (**MittlereZeit**), wenn die Datei solche Informationen einschließt, und erzeugt ein Bild der Entnahme (**BildBaumAusDatei**) (Abbildung 6.20).

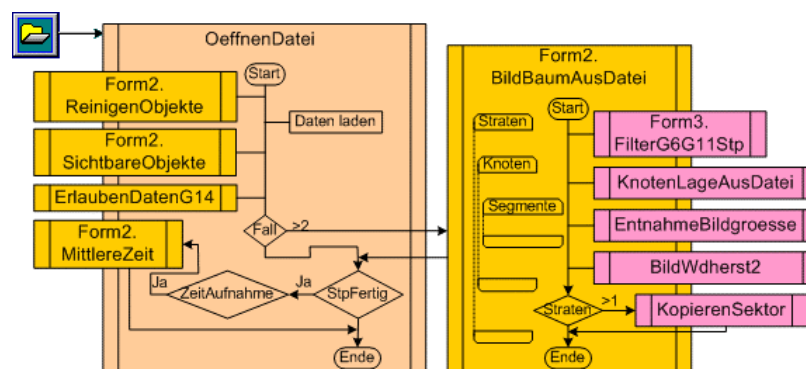


Abb. 6.20: Das Laden einer Datei und die daran beteiligten Prozeduren.

7. Experimentelle Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Analyse präsentiert. Zuerst werden die Auswirkungen der Wahl der Zielgröße, des Löschens von Segmenten und der Stratifizierung der Baumkrone anhand Präzision des Schätzers dargestellt, danach die Ergebnisse des Vergleichs zwischen den RBS-Verfahren. Die Ergebnisse folgen aus Diagnose und Simulation, wobei die Durchmesser oder Funktionen der Durchmesser als Hilfsgröße berücksichtigt werden.

7.1 Auswirkungen der Wahl der Hilfsgröße auf die Varianz des Schätzers

Jede Hilfsgröße produziert eine Menge von Auswahlwahrscheinlichkeiten, die eine bestimmte Beziehung zur Zielgröße haben. Die Straffheit der Beziehung zwischen der Zielgröße oberhalb jedes Segmentes und den unbedingten Wahrscheinlichkeiten der Segmente ist abhängig von der ausgewählten Hilfsgröße (Abbildung 7.1).

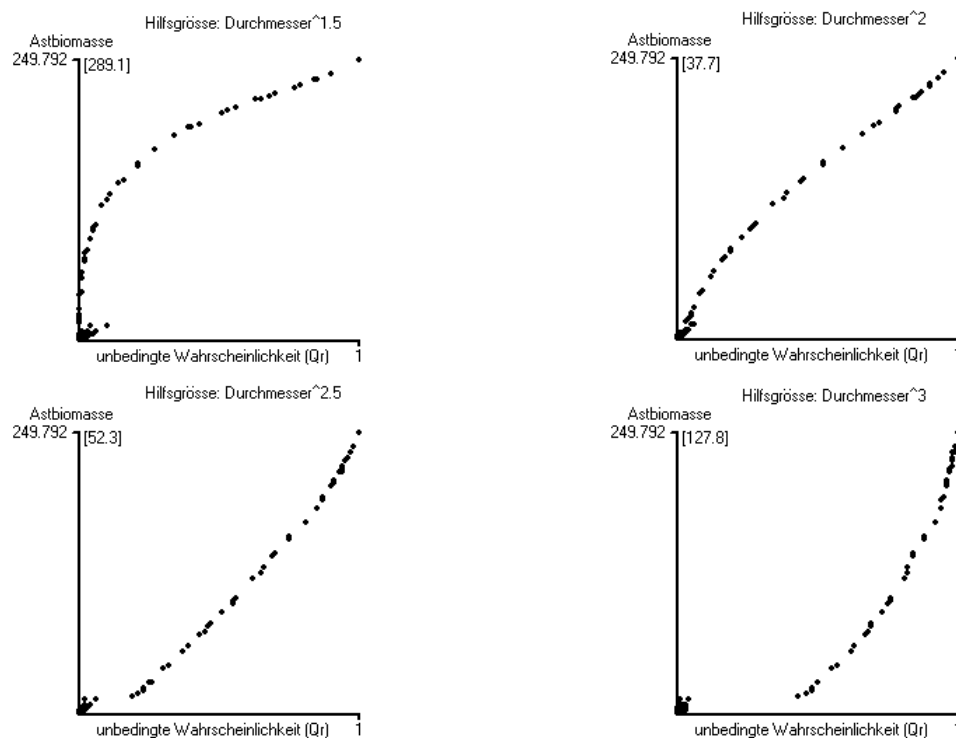


Abb. 7.1: Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Wahrscheinlichkeiten der Segmente für unterschiedliche Funktionen des Durchmessers der Segmente (D) als Hilfsgröße an einer alten Kiefer (Hilfsgröße: D^{Exponent}). In Klammern ist der Variationskoeffizient der Zielgröße (%) ausgegeben.

Je mehr die Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Wahrscheinlichkeiten sich einer Gerade durch den Nullpunkt annähert desto präziser ist die Schätzung (s. Kapitel 4.1). In Abbildung 7.1 werden als Beispiel die Ergebnisse von vier unterschiedlichen

Funktionen des Durchmessers als Hilfsgröße an einer Kiefer präsentiert. Für den Beispielbaum sind für einen Exponent zwischen 2 und 2,5 die präzisesten Schätzungen zu erwarten (Abbildung 7.2).

Die Präzision des Schätzers weist eine breite Variabilität aus, wenn Funktionen des Durchmessers als Hilfsgröße definiert werden. Hier können Faktoren wie die Spezies, das Alter und die Behandlung des Bestandes Einfluss haben. Im Fall der Spezies und Variablen, die in dieser Studie berücksichtigt wurden, wurden die besten Ergebnisse mit einem Exponenten von etwa 2,05 an den jungen Kiefern, 2,25 an den alten Kiefern, 2,0 an den Fichten und 2,55 an den Vogelbeeren erreicht (Abbildung 7.2). In der Nähe dieser optimalen Exponenten sind kleinere und zum Teil auch deutliche Unterschiede zwischen den Variationskoeffizienten der einzelnen Bäume festzustellen.

Die beste Funktion des Durchmessers unterscheidet sich deutlich vom Querschnitt (Exponent der Funktion gleich 2) an den alten Kiefern und den Vogelbeeren (Abbildung 7.2). An diesen Spezies bringt die Benutzung der besten Funktion des Durchmessers als Hilfsgröße präzisere Ergebnisse als der Querschnitt. Bei den alten Kiefern ist die Krümmung der Beziehung zwischen dem Variationskoeffizient der Zielgröße und dem Exponent des Durchmessers am größten. D.h. eine Abweichung vom optimalen Exponenten provoziert eine deutlichere Verringerung der Präzision als bei jeder anderen Spezies.

Die Wahl der Hilfsgröße beeinflusst auch die Verteilung der Stichproben innerhalb der Baumkrone. Eine bessere Verteilung wird erreicht, wenn als Hilfsgröße eine Variable ausgewählt wird, die eine enge Beziehung mit der zu schätzenden Zielgröße ausweist. In Abbildung 7.3 werden Ergebnisse von zwei Simulationen präsentiert, die mit unterschiedlichen Hilfsgrößen an einer Kiefer realisiert wurden. Der Querschnitt, eine Hilfsvariable die eine enge Beziehung mit der Zielgröße ausweist (s. Abbildungen 7.1 und 7.2), verteilt die Stichprobe entlang des ganzen Hauptstammes. Der Durchmesser, eine Hilfsvariable mit schwächerer Beziehung zur Zielgröße, verteilt die Stichprobe nur im unteren Bereich des Hauptstammes (Abbildung 7.3).

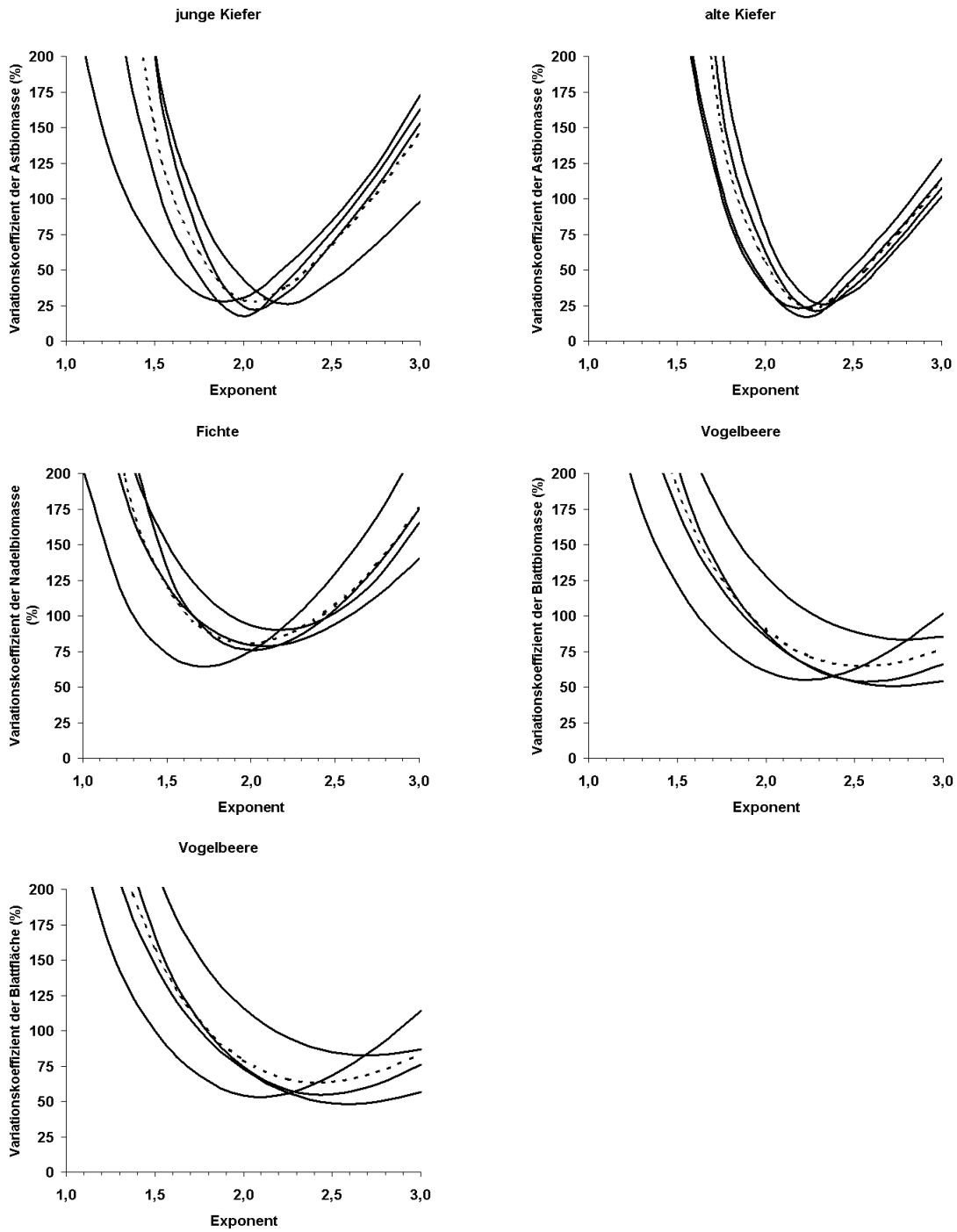


Abb. 7.2: Variationskoeffizient der Zielgröße für unterschiedliche Funktionen des Durchmessers (D) der Segmente als Hilfsgröße (Hilfsgröße: D^{Exponent}). Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume. Für die Vogelbeere werden zwei Zielgrößen betrachtet: Blattbiomasse und Blattfläche.

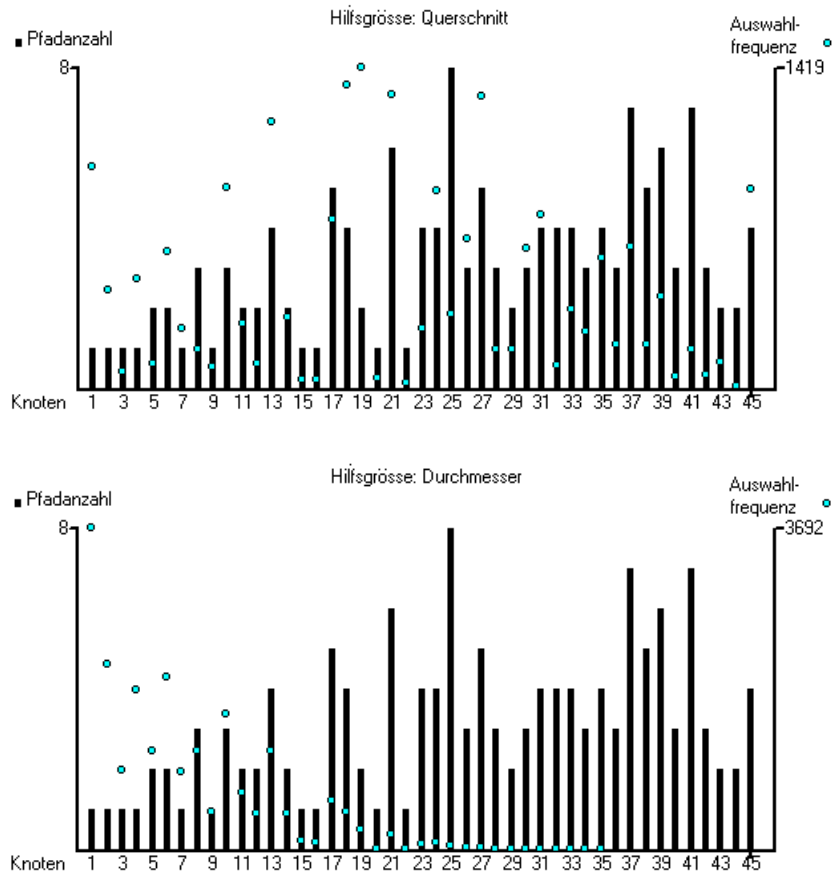


Abb. 7.3: Verteilung der ausgewählten Pfade entlang des Hauptstammes (letzter Knoten des Pfades, der am Hauptstamm liegt) einer alten Kiefer (Baum 1, Abb. 5.4) für zwei verschiedene Hilfsgrößen (Klassisches RBS: 10000 Stichproben von Umfang 2).

7.2 Auswirkung der Kronenstruktur auf die Varianz des Schätzers

7.2.1 Auswirkungen des Löschens von größeren Segmenten

Das Löschen von Segmenten ändert die Struktur der Baumkrone und provoziert eine Reihe von Effekten, die mit der Auswahlwahrscheinlichkeit der Segmente zusammenhängen.

Im Beispiel der Kiefer, die in Abbildung 7.4 präsentiert wird, bemerkt man, dass Segmente mit größerer unbedingter Auswahlwahrscheinlichkeit (d.h. vor allem die Segmente des Hauptstammes) nicht die selbe Beziehung zwischen der Zielgröße und der unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeit aufweisen wie die kleineren Segmente. Der Unterschied hängt jedoch von der Wahl der Hilfsgröße ab. Wichtig ist aber nicht die Beziehung am ursprünglichen Baum, sondern die Beziehung zwischen der Zielgröße und der unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeit am modifizierten Baum mit den verbleibenden Segmenten. Am Beispielbaum erlaubt der Querschnitt (d.h. Durchmesser²), trotz der engen Beziehung, die die Funktion Durchmesser^{2,25} im ursprünglichen Baum bringt, am modifizierten Baum (d.h. der

Baum ohne Hauptstamm) eine präzisere Schätzung. D.h. das Löschen von Segmenten beeinflusst die Wahl der optimalen Hilfsgröße.

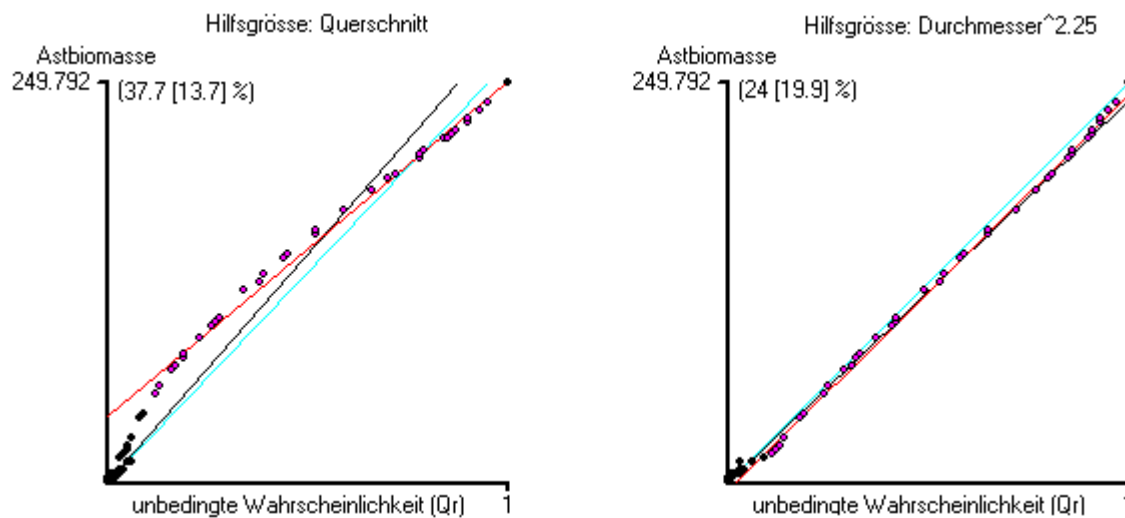


Abb. 7.4: Das Löschen von Segmenten gemäß zweier verschiedener Hilfsgrößen an einer alten Kiefer. Die gelöschten Segmente sind rot gekennzeichnet (Löschen ab 10%). Die Linien repräsentieren die Steigung der Beziehung zwischen der Zielgröße und der Wahrscheinlichkeit (schwarz: ursprünglicher Baum; hellblau: modifizierter Baum; rot: gelöschte Segmente). In Klammern stehen die Werte der Variationskoeffizienten für den natürlichen bzw. modifizierten Baum.

Die Änderung der Wahrscheinlichkeitsverteilung des Schätzers ist ein weiterer Effekt des Löschens von Segmenten. Am Beispiel der alten Kiefer wird die unbedingte Auswahlwahrscheinlichkeit der verbleibenden Segmente vergrößert und der Wert des Schätzers verkleinert. Diese Änderungen verringern also die Varianz des Schätzers (Abbildung 7.5).

Der Effekt des Löschens von Segmenten hängt sowohl von der Spezies als auch von der Straffheit des Löschens ab. Bei allen Spezies außer Fichte gilt: je stärker das Löschen desto präziser ist die Schätzung (Abbildung 7.6). Dieser Effekt ist am größten bei den alten Kiefern, Bäumen die eine sehr lange Krone ausweisen.

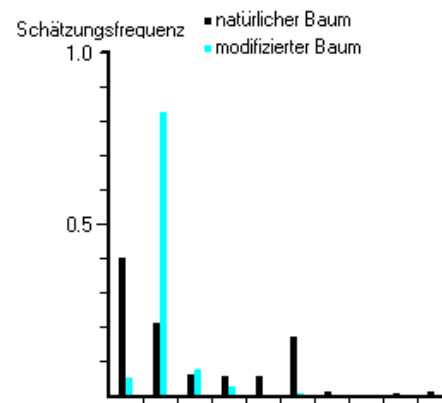
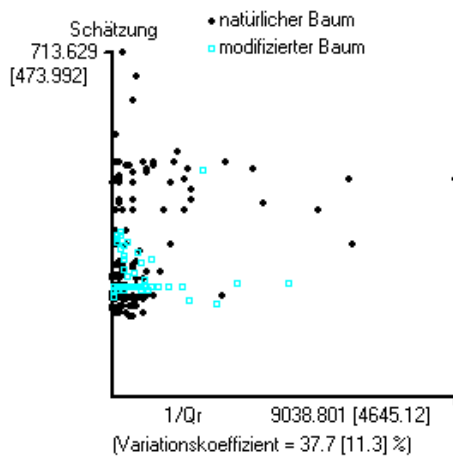
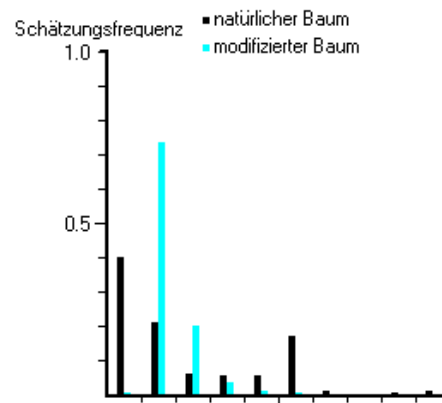
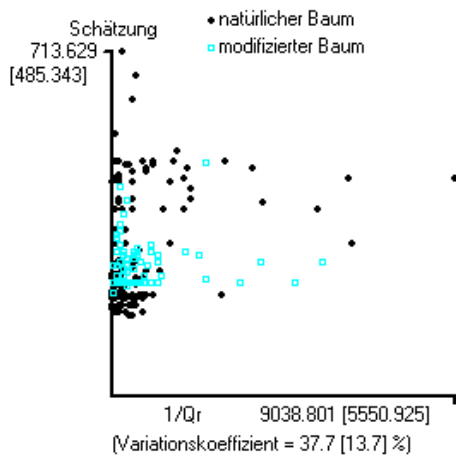


Abb. 7.5: Schätzungen in Beziehung zur reziproken unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeit der Pfade (links) und Verteilung des Schätzers (rechts) einer alten Kiefer (Hilfsgröße: Querschnitt). Oben: Löschen von größeren Segmenten ab 10% unbedingter Auswahlwahrscheinlichkeit, unten: Löschen ab 5%.

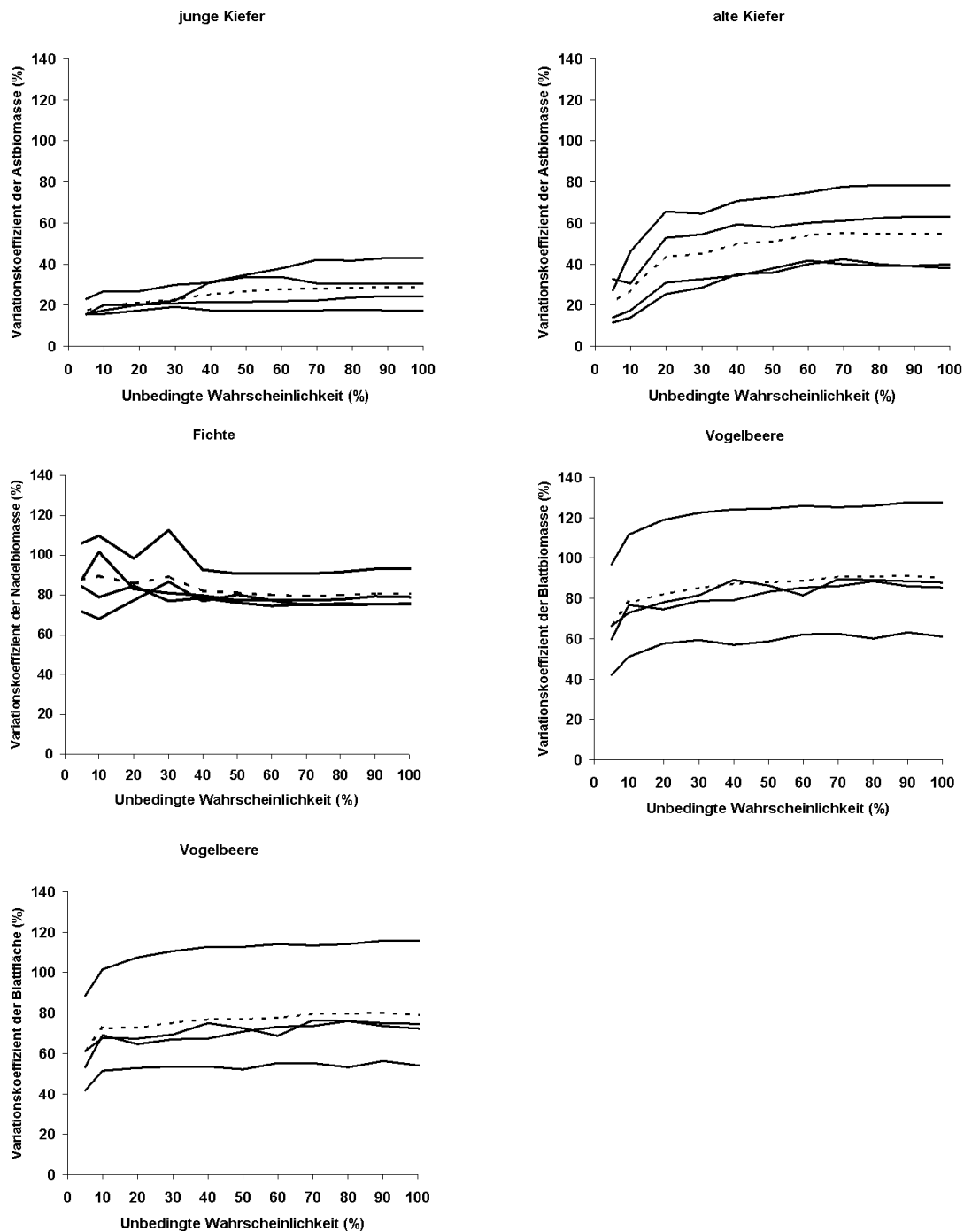


Abb. 7.6: Variationskoeffizient der Zielgröße nach dem Löschen von größeren Segmenten (Hilfsgröße: Querschnitt). Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume.

Der maximal mögliche Stichprobenumfang des ZoZ wird von der Auswahlwahrscheinlichkeit des größten Segmentes am Knoten bestimmt. Diese Beschränkung impliziert, dass am ersten Knoten von natürlichen Bäumen normalerweise kaum einen Stichprobenumfang größer als 1 erlaubt ist. Durch das Löschen von größeren Segmenten wird der maximal mögliche

Stichprobenumfang für ZoZ vergrößert (Abbildung 7.7). Je stärker das Löschen desto größer ist der maximal mögliche Stichprobenumfang durch die Entnahme der extrem starke Segmente und der damit einhergehenden Homogenisierung der bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten.

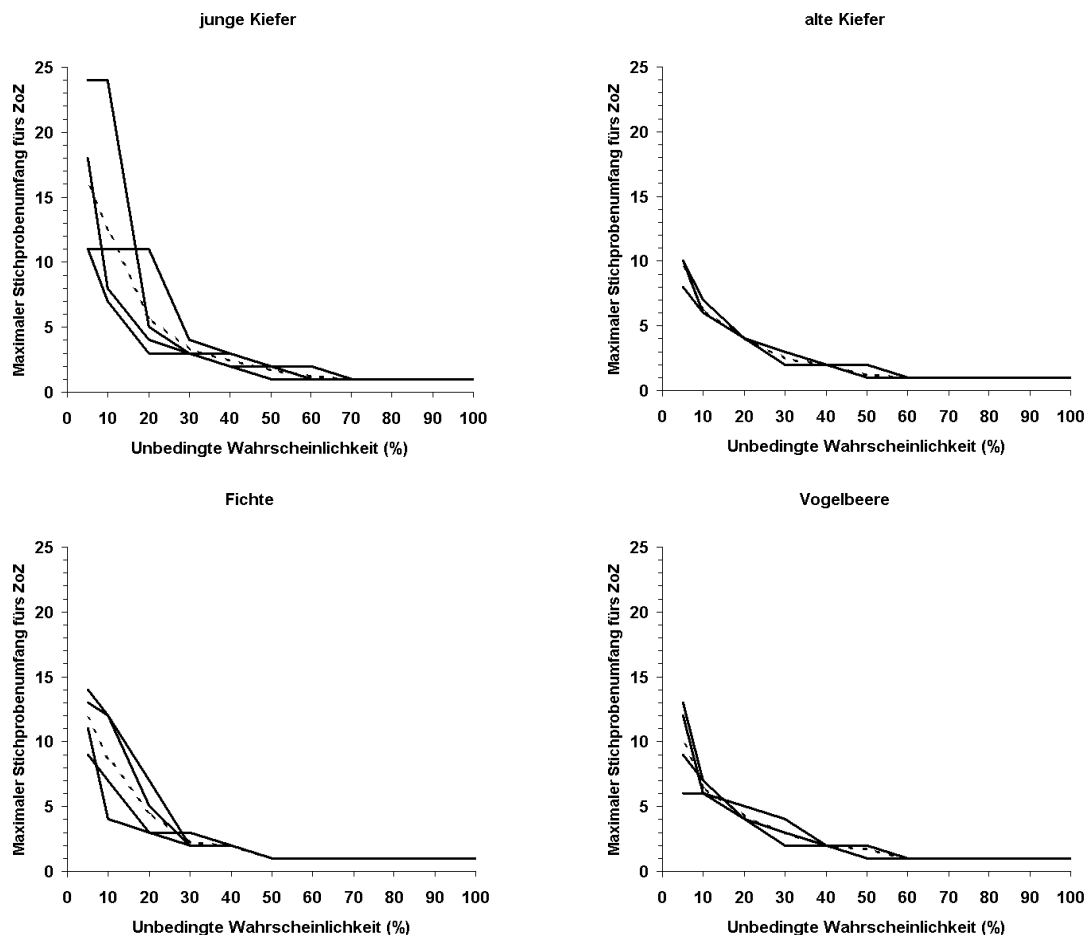


Abb. 7.7: Effekt des Löschens von größeren Segmenten auf den maximal möglichen Stichprobenumfang des Ziehens ohne Zurücklegen (Hilfsgröße: Querschnitt). Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume.

Alle bislang beschriebenen Effekte des Löschens von Segmenten können als „positive“ genannt werden. Es gibt jedoch auch „negative“ Effekte. Wenn am Ende eines gelöschten Segmentes ein Knoten existiert, wird er gelöscht und alle seine Segmente werden im vorangehenden Knoten eingegliedert. So bildet sich ein großer Knoten mit zahlreichen Segmenten, wenn der Hauptstamm gelöscht wird. In der Praxis nehmen die gelöschten Segmente nicht an der Auswahl teil, aber ihre Zielgröße muss gemessen und am Ende zum Schätzer addiert werden. D.h. zum einen existiert eine obligatorische Messung der Zielgröße an den gelöschten Segmenten, die mehr Zeitaufwand bedeuten kann, wenn dort ein Beitrag zur Zielgröße geleistet wird. Zum anderen muss man mehr Zeit verwenden, um die Hilfsgröße

aller Segmente, die den neuen größeren Knoten bilden, zu entnehmen. In Abbildung 7.8 wird der Beitrag der zwingend zu messenden Segmente zur gesamt gemessenen Zielgröße in Abhängigkeit von der Menge der gelöschten Segmente dargestellt.

Der Nachteil, den die obligatorische Messung repräsentiert, hängt von der zu analysierenden Zielgröße und ihrer Verteilung auf die Segmente des Baumes ab. Wenn z.B. die Astbiomasse der alten Kiefern analysiert wird, ist die Entfernung des Hauptstammes kein Nachteil. Im Fall der jungen Kiefern ist die größere zwingend zu messende Astbiomasse, die manche Bäume ausweisen, mit dem Löschen von Endsegmenten verbunden, da für diese Bäume sehr bald Äste gelöscht werden, die dicker als Teile des Hauptstammes sind (s. Kapitel 5.1). Da die zwingend zu messende Zielgröße sowohl zwischen Spezies als auch zwischen Bäumen einer Spezies variiert, wäre es sinnvoll, die Bäume vor der Entnahme von Stichproben nach der Kronenstruktur zu klassifizieren.

Allgemein sind die Variationskoeffizienten unter Verwendung einer annähernd optimalen Hilfsgröße meist kleiner als mit dem Querschnitt als Hilfsgröße. Dies gilt unabhängig vom Grad des Löschens von Segmenten (vgl. Abbildung 7.9 und 7.6). Diese Ergebnisse sind besonders an den alten Kiefern und weniger an den Vogelbeeren zu bemerken, Spezies deren optimale Funktionen des Durchmessers sich deutlich vom Querschnitt unterscheiden (s. Abbildung 7.2). Gerade bei den alten Kiefern ist dieser starke Effekt zu erwarten, da an dieser Spezies die Beziehung zwischen dem Variationskoeffizient der Zielgröße und dem Exponent des Durchmessers am stärksten gekrümmt ist. D.h. ein bestimmter Abstand vom optimalen Exponent wirkt sich stärker auf die Präzision aus als an jeder anderen Spezies (s. Abbildung 7.2).

Außerdem zeigt sich, dass das Löschen von Segmenten kaum noch zu einer Verringerung des Variationskoeffizienten führt, wenn der optimale Exponent verwendet wird.

Je stärker gelöscht wird (z.B. ab 5%) desto kleiner ist der Unterschied zwischen den Variationskoeffizienten der Zielgröße, die auf dem Querschnitt bzw. der besten Funktion des Durchmessers als Hilfsgrößen basieren (vgl. Abbildungen 7.6 und 7.9).

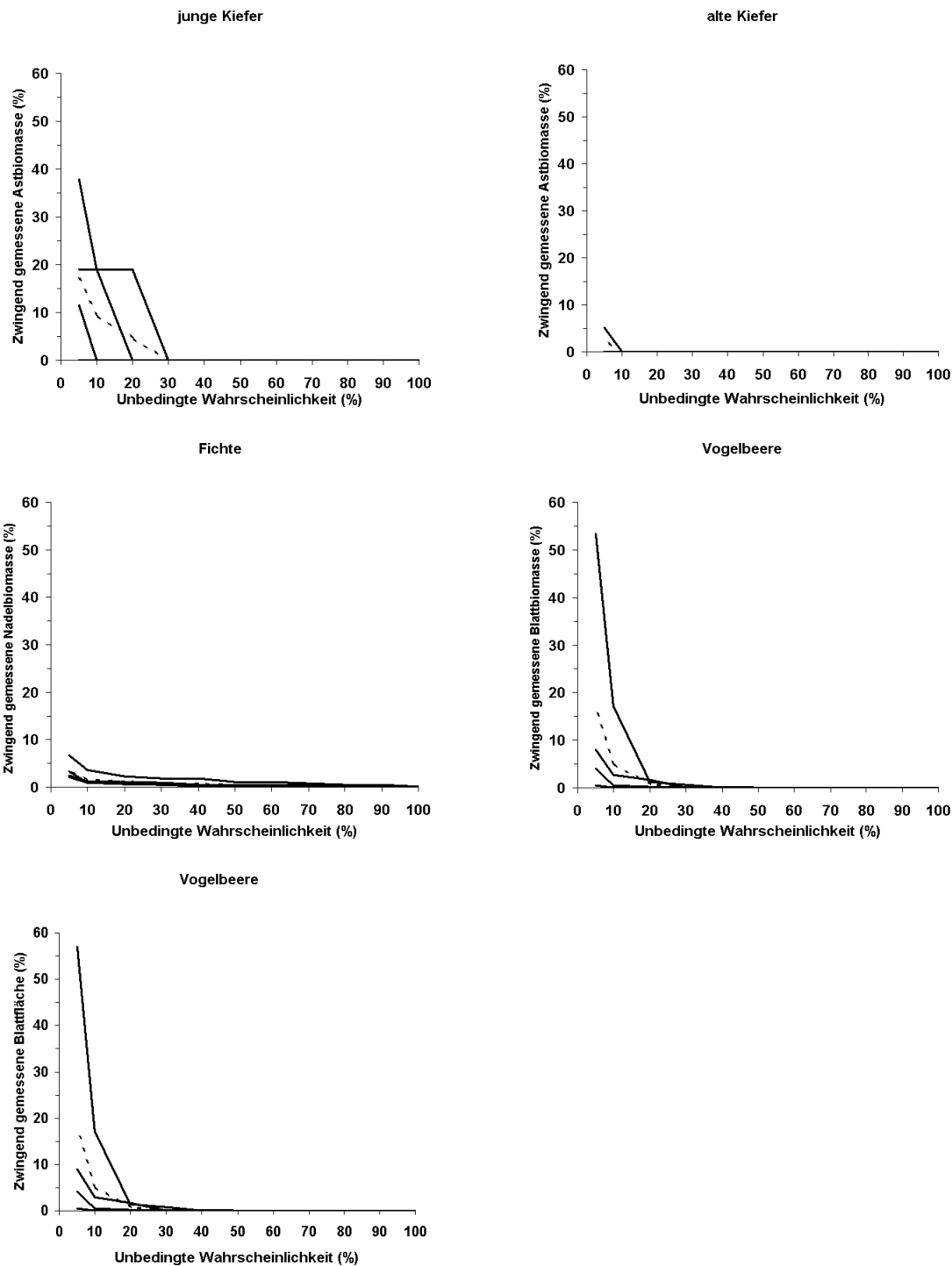


Abb. 7.8: Zwingend zu messende Zielgröße nach dem Löschen von größeren Segmenten (Hilfsgröße: Querschnitt). Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume.

Die beste Funktion des Durchmessers als Hilfsgröße erlaubt größere Stichprobenumfänge für das ZoZ als der Querschnitt für die Kiefern und Vogelbeeren (vgl. Abbildung 7.10 und 7.7). Dieser Effekt ist an den Fichten nicht festzustellen.

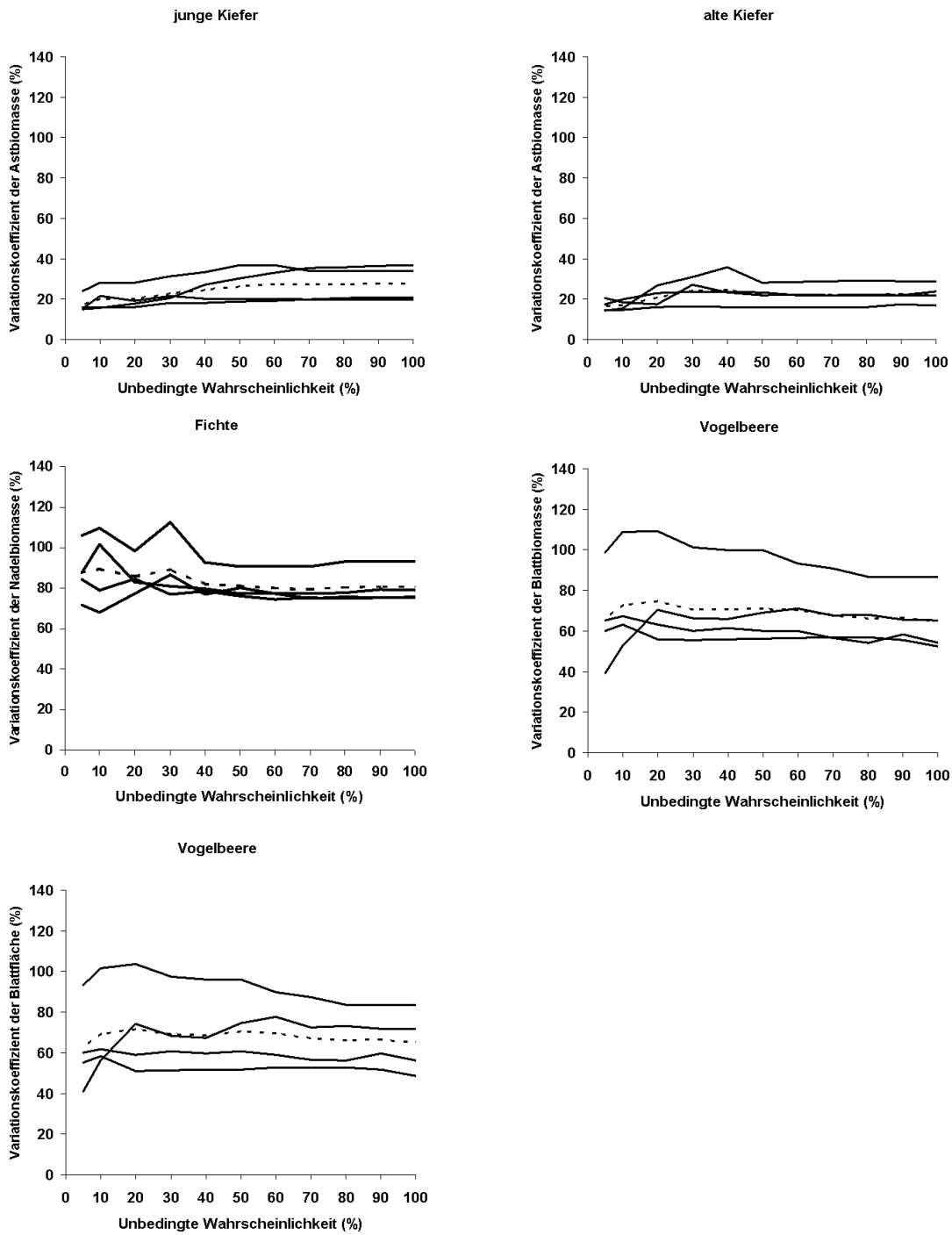


Abb. 7.9: Variationskoeffizient der Zielgröße nach dem Löschen von größeren Segmenten (Hilfsgröße: Durchmesser^{Exponent}, Exponent: junge Kiefer, 2,05; alte Kiefer, 2,25; Fichte, 2,0; Vogelbeere, 2,55). Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume.

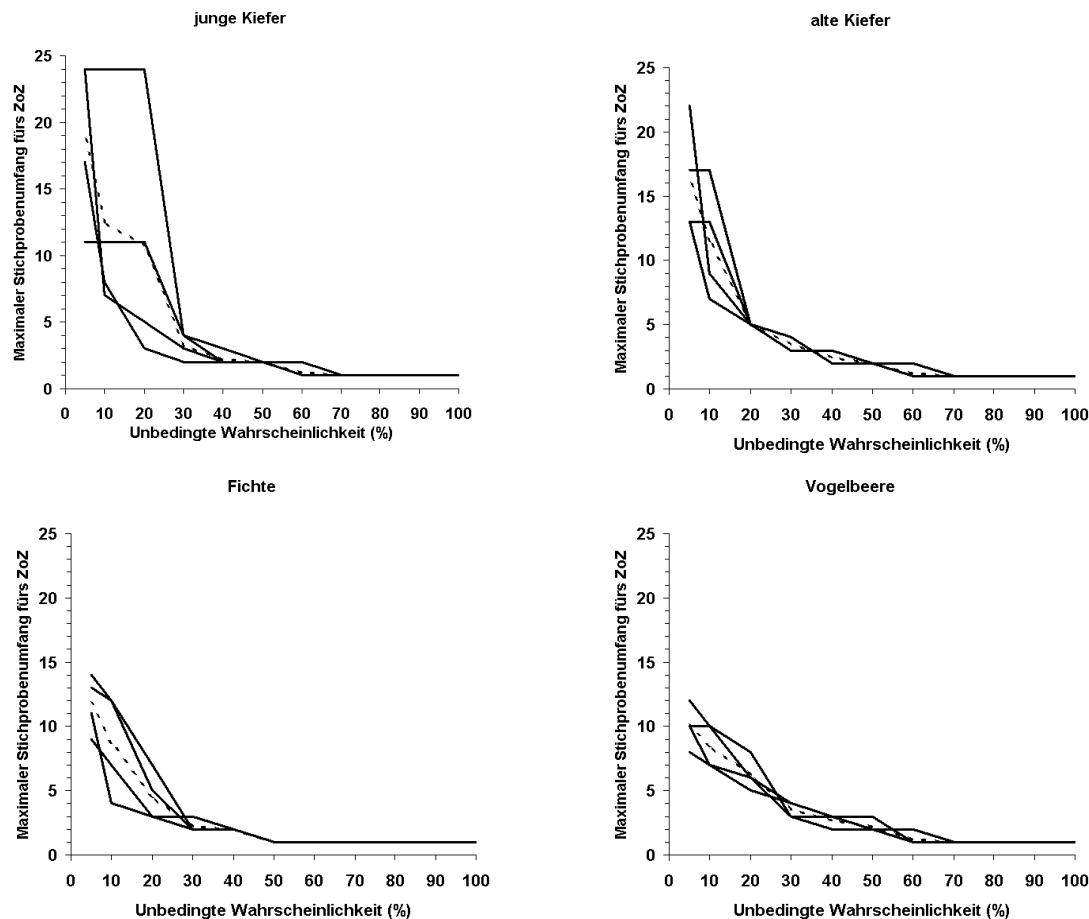


Abb. 7.10: Effekt des Löschens von größeren Segmenten auf den maximal Stichprobenumfang für das ZoZ (Hilfsgröße: $\text{Durchmesser}^{\text{Exponent}}$; Exponent: junge Kiefer, 2,05; alte Kiefer, 2,25; Fichte, 2,0; Vogelbeere, 2,55). Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume.

7.2.2 Auswirkungen der Stratifizierung der Baumkrone und des Löschens von größeren Segmenten

Die Stratifizierung der Baumkrone bedeutet eine Bildung von mindestens zwei Straten, deren Größe und Variabilität wichtig sind für die Probeentnahme und die Präzision des Schätzers. Im allgemeinen gilt, je größer das Stratum desto mehr unterscheiden sich die Einheiten voneinander und desto variabler ist die Zielgröße innerhalb des Stratums. So ist also eine geeignete Aufteilung der ursprünglichen Population zu finden, die die Varianz des Schätzers klein macht. Im folgenden wird die Stratifizierung im Zusammenwirken mit dem Löschen von Segmenten anhand der Variabilität des Schätzers analysiert. Danach wird die Analyse je Stratum präsentiert.

Im allgemeinen gilt an unstratifizierten Bäumen: je länger der Pfad desto größer ist der zugehörige Schätzer. So kann man größere Schätzer im Bereich der Kronenspitze als im unteren Bereich der Krone erwarten. Das ist klar in Abbildung 7.11 (oben) zu sehen, wo auch

die größere Variabilität des Schätzers im Bereich der Kronenspitze deutlich wird. Am Beispielbaum reduziert die Stratifizierung der Baumkrone sowohl alle Werte der Schätzungen der Pfade oberhalb des Schnittpunktes als auch die Variabilität der Schätzungen erheblich.

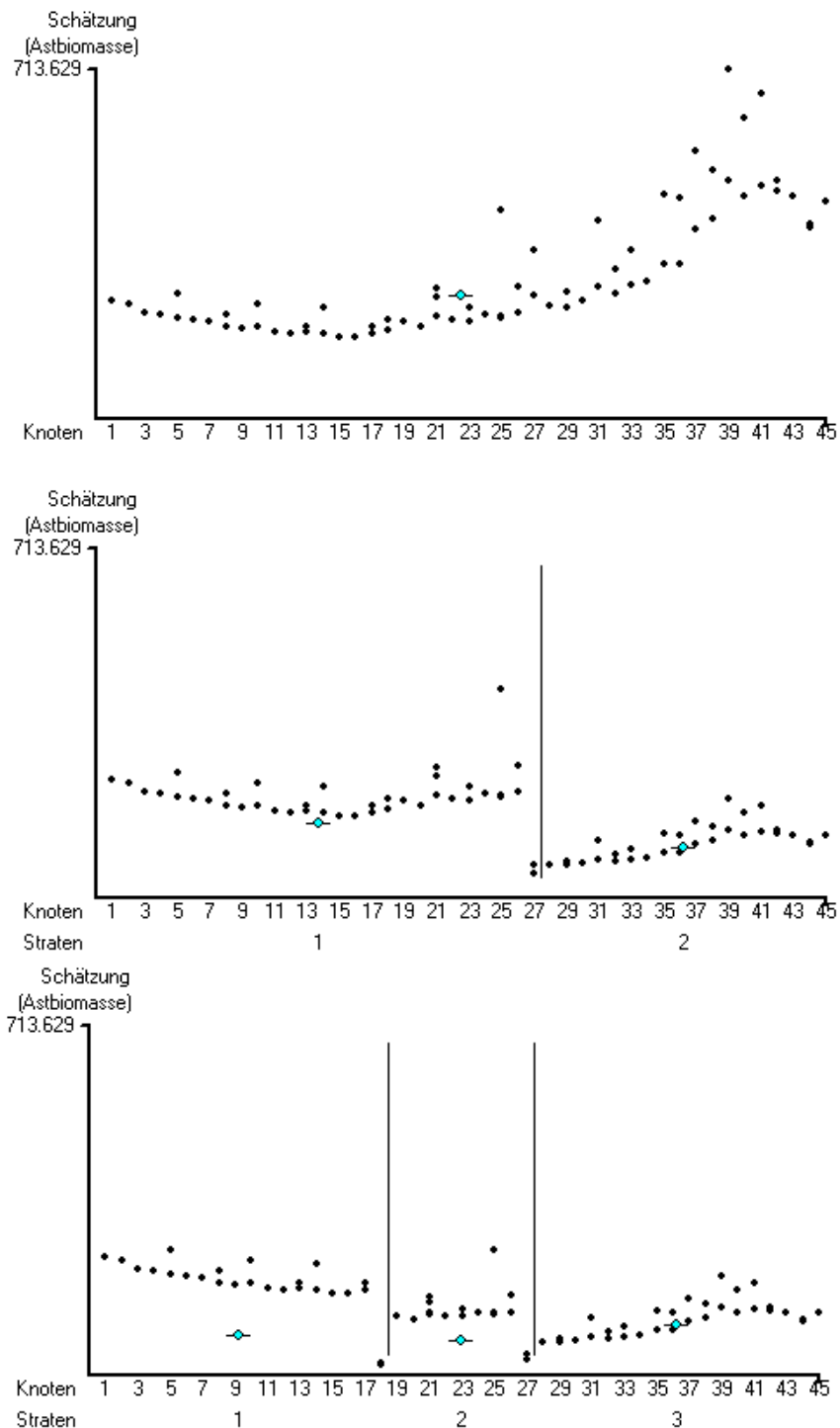


Abb. 7.11: Schätzungen entlang des Hauptstammes einer alten Kiefer (oben) und Wirkung der Stratifizierung der Baumkrone in zwei (Mitte) bzw. drei Straten (unten). Die Stratifizierung wurde aufgrund der Anzahl von Knoten am Hauptstamm realisiert (Hilfsgröße: Querschnitt). Der hellblaue Punkt repräsentiert die wahre Zielgröße des Baumes bzw. des Stratums.

Im Fall des RBS-Verfahrens bedeutet die Stratifizierung nicht nur eine Aufteilung der ursprünglichen Population von Pfaden auf die Straten sondern auch eine neue Struktur mancher Pfade entlang des Hauptstammes. Dieser Effekt ist an allen Pfaden des oberen Stratum, die verkürzt sind, zu sehen, sowie an den Pfaden des unteren Stratum, welche die verbleibende Segmente² des letzten Knotens des Stratum teilen. Die Verringerung an den Werten des Schätzers oberhalb des Schnittpunktes ist das Resultat der neuen Struktur der Pfade oberhalb des Teilungspunktes.

An stratifizierten Bäumen hängt die Präzision des Schätzers von der Beziehung zwischen der Zielgröße oberhalb der Segmente und den unbedingten Wahrscheinlichkeiten der Segmente innerhalb jedes Stratum ab. Nach der Stratifizierung bleiben die Auswahlwahrscheinlichkeiten fast aller Segmente innerhalb des ersten Stratum unverändert, aber die Zielgröße oberhalb der Segmente am Hauptstamm wird reduziert. Das produziert ein neues kleineres Verhältnis zwischen der Zielgröße und den unbedingten Wahrscheinlichkeiten im Vergleich zum Verhältnis am unstratifizierten Baum. Die gleiche Verringerung des Verhältnisses kann man innerhalb des oberen Stratum erwarten. In diesem Stratum bleibt die Zielgröße oberhalb der Segmente unverändert, aber die unbedingten Wahrscheinlichkeiten aller Segmente werden proportional vergrößert (s. Abbildungen 7.12 und 7.13; vgl. Abbildungen 7.13 und 7.4 links).

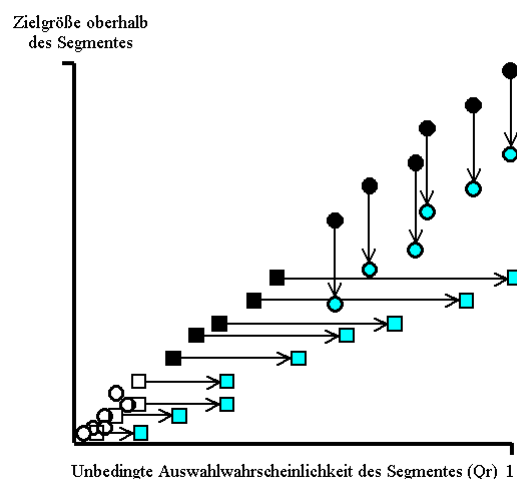
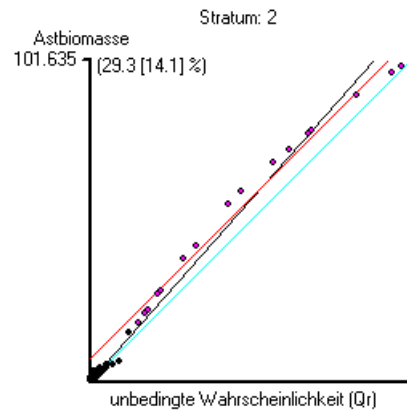
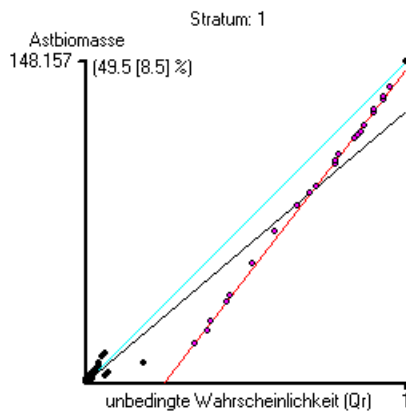


Abb. 7.12: Diagramm der Segmente am unteren (Kreis) bzw. oberen Stratum (Quadrat) und Verschiebung von Punkten, wenn die Baumkrone in zwei Straten geteilt wird. Die Segmente am Hauptstamm sind dunkel gekennzeichnet, alle übrigen hell. Die verschobenen Punkte sind hellblau gekennzeichnet.

² Während der Stratifizierung wird das Segment des Hauptstammes des letzten Knotens des unteren Stratum als Teil des folgenden Stratum berücksichtigt und vom Knoten entfernt. Das bedeutet eine höhere Auswahlwahrscheinlichkeit für die am Knoten verbleibende Segmente.

2 Straten



3 Straten

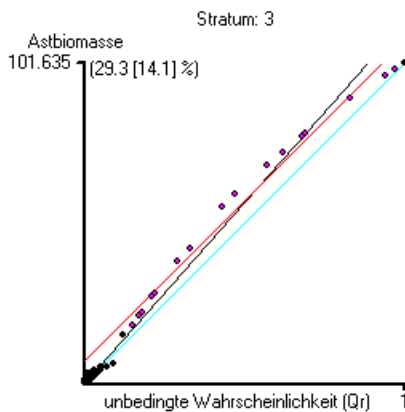
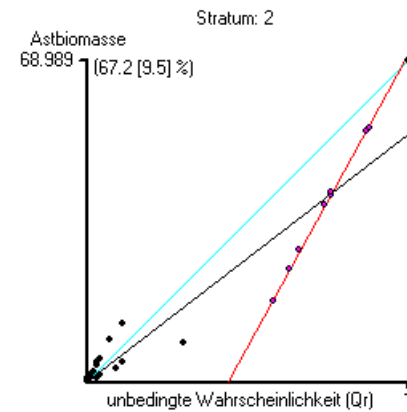
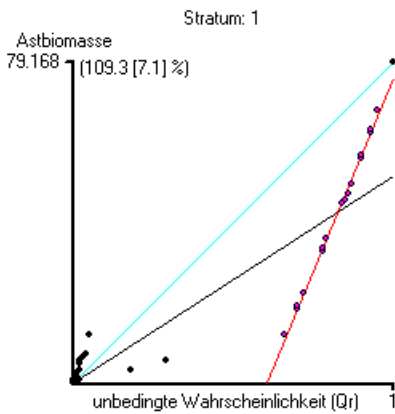


Abb. 7.13: Das Löschen von Segmenten nach der Teilung (Stratifizierung) der Baumkrone einer alten Kiefer in zwei (oben) bzw. drei Straten (unten). Die Linien repräsentieren die Steigung der Beziehung zwischen der Zielgröße und der Wahrscheinlichkeit (schwarz: ursprünglicher Baum; hellblau: modifizierter Baum; rot: gelöschten Segmente). Die gelöschten Segmente sind rot gekennzeichnet (Hilfsgröße: Querschnitt).

Die Verschiebung der Punkte in Abbildung 7.12, welche die Stratifizierung der Baumkrone verursacht, hat nur Effekte auf die Variabilität des Schätzers innerhalb des (der) unteren Stratum (Straten). Dort wird die Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit durch die Verschiebung der Punkte des Hauptstammes im allgemeinen schlechter und die Variabilität

des Schätzers größer. Es gibt jedoch Fälle, in denen die Verschiebung der Punkte zur Verbesserung der Beziehung und zur Verringerung der Varianz des Schätzers führen kann. Diese sind Fälle mit einer schwachen Beziehung, die die Segmente am Hauptstamm verursachen, wenn es oberhalb dieser Segmente eine proportional größere Zielgröße gibt. Im oberen Stratum bleiben sowohl die Straffheit der Beziehung als auch die Variabilität des Schätzers unverändert. Dort produziert die Stratifizierung eine proportionale Vergrößerung der unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten aller Segmente oberhalb des Schnittpunkts. Das hat eine proportionale Verringerung der entsprechenden Beiträge zur Schätzung der Zielgröße als Folge, aber die Varianz der Schätzungen bleibt unverändert. Die Verringerung der Variabilität des gesamten Schätzers entsteht im wesentlichen durch die Stratifizierung, da am stratifizierten Baum die Abweichung der Schätzungen von Stratenmittelwert und nicht vom Gesamtmittelwert betrachtet wird.

Das Löschen von Segmenten zusammen mit der Stratifizierung der Baumkrone führt zu einer weiteren Verbesserung der Präzision der Schätzung (Abbildung 7.13). Die Schätzung ohne Hauptstamm ist in allen Straten des Beispielbaumes präziser als die Schätzung mit Hauptstamm.

Die Wirkung der Stratifizierung auf die Präzision des Schätzers ist zwischen den unterschiedlichen Spezies sehr variabel, wenn die Baumkrone in zwei (Abbildung 7.14) oder drei Straten geteilt wird (Abbildung 7.15). Die Wirkung der Stratifizierung kann positiv, negativ oder nichtig sein, in Abhängigkeit von Spezies, Baum und Teilungspunkt am Hauptstamm (s. Tabellen C.3 und C4 im Anhang C). An Bäumen mit Hauptstamm und geteilt in zwei Straten, sind an allen Spezies außer den jungen Kiefern und Fichten präzisere Schätzungen zu beobachten. An den jungen Kiefern, ist die Schätzung an drei der stratifizierten Bäume schlechter als an den unstratifizierten Bäumen. Die beste Teilungsstelle wäre in 20% der Anzahl von Knoten am Hauptstamm³, die einen Variationskoeffizient bringt, der im Durchschnitt ca. 20% höher als der von unstratifizierten Bäumen ist. An diesen Bäumen wird die Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit der Segmente innerhalb des ersten Stratum durch die Stratifizierung verschlechtert. An den Fichten bringt die Stratifizierung fast den selben Variationskoeffizient wie an den unstratifizierten Bäumen. Hier ist die Variabilität des Schätzers unabhängig von der Teilungsstelle.

³ Das erste Stratum im unteren Teil der Baumkrone schließt 20% der Anzahl der Knoten am Hauptstamm ein. Das zweite Stratum schließt die 80% obersten Knoten ein.

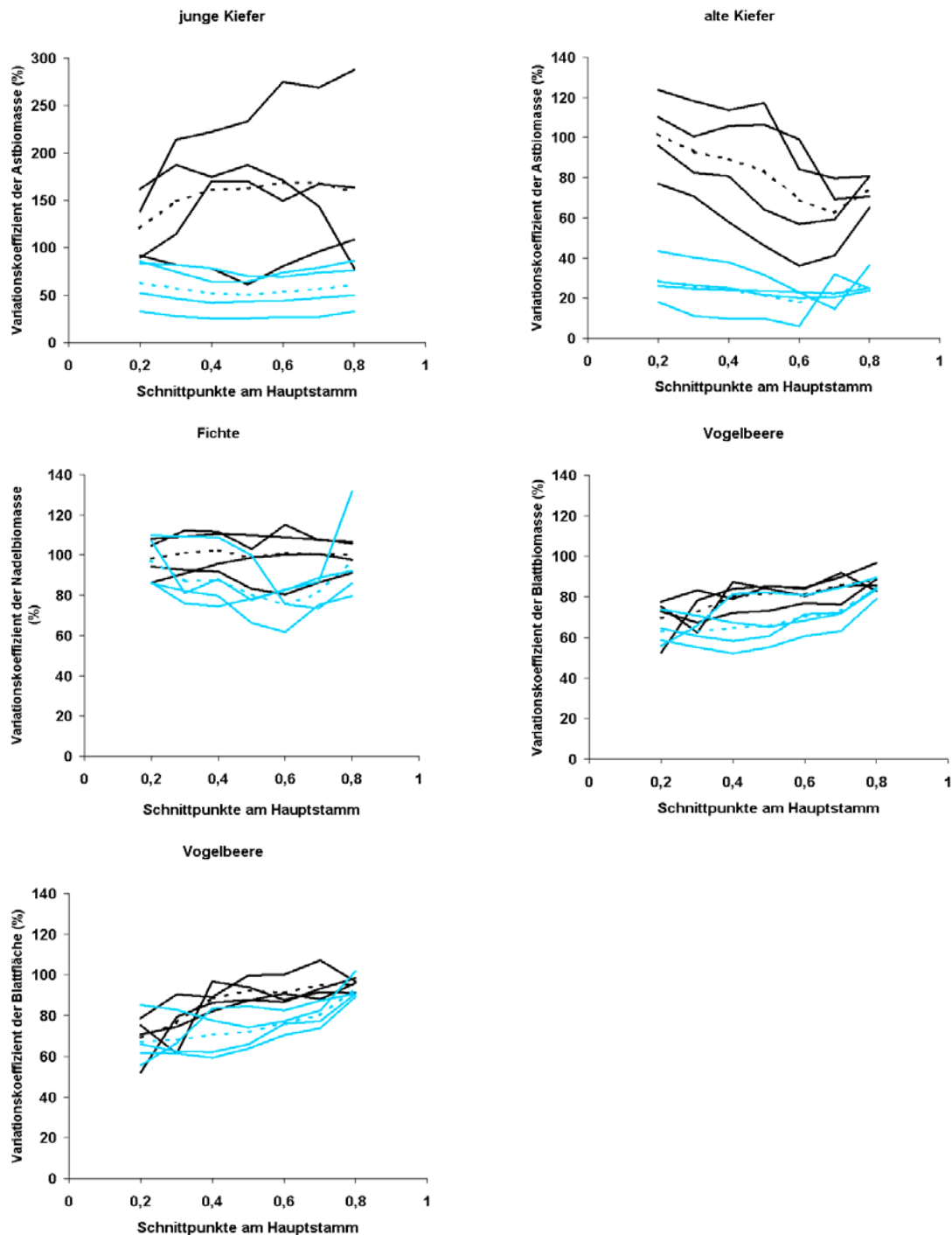


Abb. 7.14: Variationskoeffizient der Zielgröße am Baum mit und ohne Hauptstamm (schwarze bzw. hellblaue Linien) nach der Teilung (Stratifizierung) der Baumkrone in zwei Straten (im Vergleich zum Variationskoeffizient ohne Stratifizierung). Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume. Der Variationskoeffizient der Zielgröße des vollständigen Baumes wurde als 100% berücksichtigt (Hilfsgröße: Querschnitt).

An den alten Kiefern wird eine eindeutige Verringerung des Variationskoeffizienten der Zielgröße durch die Stratifizierung erreicht. An diesen längeren Bäumen wird der Variationskoeffizient um ca. 40% reduziert, wenn die Baumkrone in 70% der Anzahl der Knoten am Hauptstamm geteilt wird. Bis zu dieser Teilungsstelle am Hauptstamm ist die

Schätzung umso präziser je höher der Teilungspunkt ist. An Vogelbeere liegt die Verringerung des Variationskoeffizienten zwischen 10% und 30% für die Blattbiomasse und zwischen 5% und 30% für die Blattfläche. Den größten Vorteil erreicht man bei einer Teilung in 20% der Anzahl der Knoten.

Das Löschen des Hauptstammes in beiden Straten an den stratifizierten Bäumen führt zu noch präziseren Schätzungen. Die Schätzung der Zielgröße ohne Hauptstamm ist immer präziser als mit Hauptstamm an allen Spezies. Der Vorteil der Arbeit ohne Hauptstamm ist größer an den Kiefern als an den anderen Spezies. An den alten Kiefern verringert die Stratifizierung bei 60% der Anzahl der Knoten am Hauptstamm zusammen mit dem Löschen des Hauptstammes den Variationskoeffizient um 80% gegenüber dem von unstratifizierten Bäumen. An den jungen Kiefern erreicht die Reduktion 50%, wenn man die Baumkrone in 50% der Anzahl der Knoten am Hauptstamm teilt. An den Fichten erbringt die Teilung in 60% einen 25% kleineren Variationskoeffizient als an den unstratifizierten Bäumen. An den Vogelbeeren liegt die Verringerung des Variationskoeffizienten zwischen 15% und 40% für die Blattbiomasse und zwischen 10% und 35% für die Blattfläche. Wieder wird der größte Vorteil bei einer Teilung in 20% der Anzahl der Knoten am Hauptstamm erreicht.

Bei Bäumen mit drei Straten sind die gleichen Tendenzen bezüglich der Variationskoeffizienten wie bei Bäumen mit zwei Straten zu bemerken (v. Abbildung 7.14 und Abbildung 7.15). Wieder sind an allen Spezies außer den jungen Kiefern und Fichten präzisere Schätzungen mit drei Straten als ohne Stratifizierung zu sehen. Dabei wurde auf das Löschen des Hauptstammes verzichtet (Abbildung 7.15). Bei den jungen Kiefern ist die Schätzung am stratifizierten Baum schlechter als am unstratifizierten Baum. Die beste Kombination von Teilungsstellen wäre 20%/40%⁴ der Anzahl der Knoten am Hauptstamm, die einen Variationskoeffizient ca. 50% höher als der von unstratifizierten Bäumen bringt, d.h. die Schätzung ist schlechter als die von Bäumen geteilt in zwei Straten. An den Fichten gibt es keinen bemerkbaren Unterschied sowohl im Vergleich mit dem unstratifizierten als auch mit dem Baum geteilt in zwei Straten.

⁴ Das erste Stratum im unteren Teil der Baumkrone schließt 20% der Anzahl der Knoten am Hauptstamm ein. Das Mittelstratum schließt weitere 20% ein. Das obere Stratum schließt die 60% obersten Knoten ein.

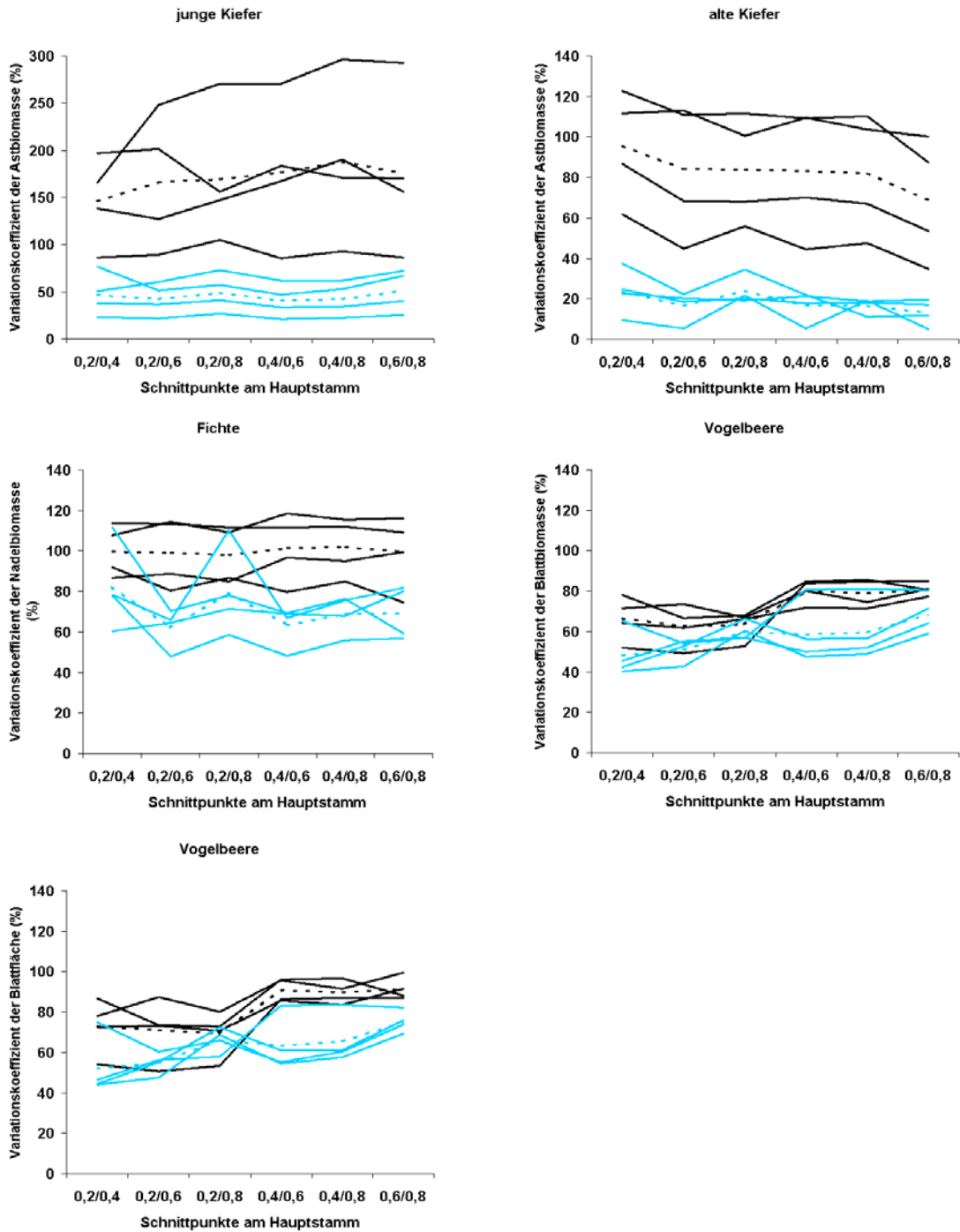


Abb. 7.15: Variationskoeffizient der Zielgröße am Baum mit und ohne Hauptstamm (schwarze bzw. hellblaue Linien) nach der Teilung (Stratifizierung) der Baumkrone in drei Straten. Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume. Der Variationskoeffizient der Zielgröße des vollständigen Baumes wurde als 100% berücksichtigt (Hilfsgröße: Querschnitt).

An den alten Kiefern wird durch die Stratifizierung der Baumkrone in drei Straten eine Verringerung des Variationskoeffizienten der Schätzung produziert. Aber keine Kombination der Teilungspunkte bringt weniger Variabilität als die Teilung der Baumkrone in zwei Straten bei 70%. An den Vogelbeeren führen drei Straten zur selben Verringerung des Variationskoeffizienten wie zwei Straten. Den größten Vorteil erreicht man durch die Teilung bei 20%/60% für die Blattbiomasse und bei 20%/80% für die Blattfläche.

Das Löschen des Hauptstammes an Bäumen mit drei Straten führt zu noch präziseren Schätzungen als an Bäumen mit zwei Straten. An den alten Kiefern bringt die Teilung der Baumkrone bei 20%/60% (oder 40%/60%) zusammen mit dem Löschen des Hauptstammes einen Variationskoeffizient, der 85% kleiner als der der unstratifizierten Bäume ist. An den jungen Kiefern erreicht die Reduktion ca. 60%, wenn man die Baumkrone bei 40%/60% teilt. An den Fichten bringt die Teilung bei 40%/60% einen Variationskoeffizient, der 40% kleiner ist als der der unstratifizierten Bäume. An Vogelbeere liegt die Verringerung des Variationskoeffizienten für beide analysierte Zielgrößen bei 50%. Wenn man die Baumkrone in drei Straten teilt, bemerkt man, dass sich der Unterschied zwischen Schätzungen mit und ohne Hauptstamm reduziert, wenn ein großes Mittelstratum gebildet wird. Dieses Ergebnis ist deutlich an den Fichten und Vogelbeeren zu sehen (Abbildung 7.15).

Das beschriebene Verhalten des Variationskoeffizienten bei der Stratifizierung und dem Löschen des Hauptstammes bezieht sich auf den Variationskoeffizient der gesamten Zielgröße am Baum, d.h. alle Straten werden zusammen berücksichtigt. Im folgenden wird die Analyse je Stratum präsentiert.

Man bemerkt eine höhere Stabilität am Variationskoeffizient der Zielgröße am Baum ohne Hauptstamm als am Baum mit Hauptstamm innerhalb von allen Straten (Abbildungen 7.16 bis 7.18). Bei der Versetzung nach oben der Teilungsstelle werden sowohl die Zielgröße als auch die Standardabweichung der Zielgröße innerhalb des ersten Stratums vergrößert. Dort ist die höhere Stabilität des Variationskoeffizienten am Baum ohne Hauptstamm das Resultat einer ähnlichen Zuwachsgeschwindigkeit beider Größen. Die deutliche Verringerung des Variationskoeffizienten am Baum mit Hauptstamm ist das Resultat eines langsameren Zuwachses der Standardabweichung der Zielgröße. Innerhalb des ersten Stratums ist die Schätzung am Baum ohne Hauptstamm präziser als am Baum mit Hauptstamm bei allen Spezies.

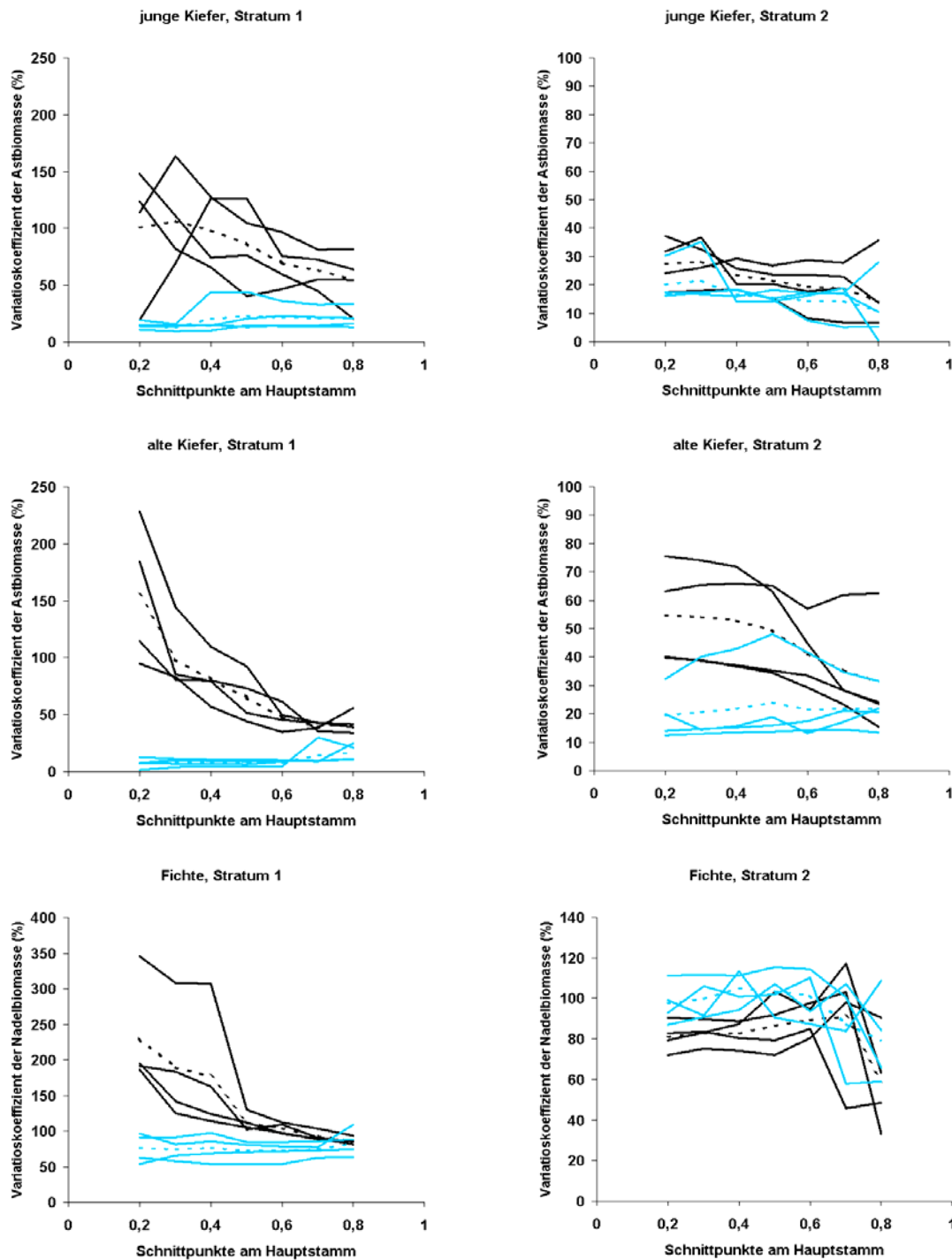


Abb. 7.16: Variationskoeffizient der Zielgröße an Kiefer und Fichte mit und ohne Hauptstamm (schwarze bzw. hellblaue Linien) je Stratum, nach der Teilung der Baumkrone in zwei Straten. Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume (Hilfsgröße: Querschnitt).

Innerhalb des oberen Stratum (Stratum 2 in Abbildungen 7.16 und 7.17) hängt der Vorteil des Arbeitens ohne Hauptstamm sowohl von der Spezies als auch von der Zielgröße ab. Der Vorteil ist besonders deutlich in Bäumen mit langer Krone (alte Kiefern). An den jungen Kiefern, trotz eines kleineren Vorteils als bei den alten Kiefern, ist die Schätzung unabhängig

vom Teilungspunkt ohne Hauptstamm präziser als die Schätzung mit Hauptstamm. Bei der Vogelbeere, wenn man die Blattbiomasse schätzt, ist die Schätzung ohne Hauptstamm präziser als die Schätzung mit Hauptstamm. Hierbei wurde eine Teilung der Baumkrone bei 70% der Anzahl von Knoten am Hauptstamm angenommen. An dieser Spezies bringt die Arbeit ohne Hauptstamm keinen Vorteil wenn man die Blattfläche innerhalb des oberen Stratum schätzt (Abbildung 7.17). Bei den Fichten ist die Schätzung mit Hauptstamm innerhalb des oberen Stratum vorteilhaft (Abbildung 7.16).

Am Mittelstratum von Bäumen mit drei Straten hängt der Vorteil der Schätzung ohne Hauptstamm sowohl von der Spezies als auch von der Größe des Stratum ab. An Kiefer, unabhängig von der Größe, ist die Schätzung ohne Hauptstamm präziser als am Baum mit Hauptstamm (Abbildung 7.18). Der Vorteil reduziert sich, wenn man ein größeres Mittelstratum bildet, z.B. durch Teilungsstellen bei 20%/80% oder 40%/80% der Anzahl von Knoten am Hauptstamm. An den anderen Spezies sollte die Bildung solcher großen Mittelstraten vermieden werden.

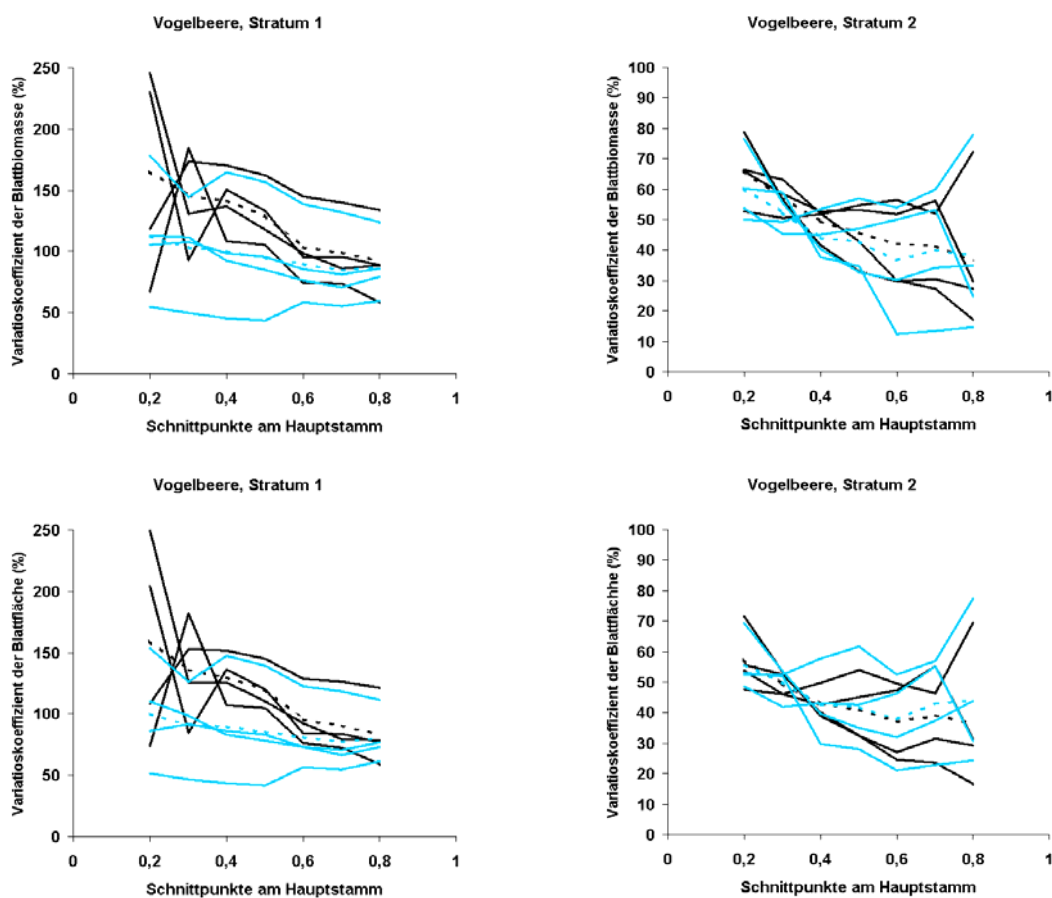


Abb. 7.17: Variationskoeffizient der Zielgröße an Vogelbeere mit und ohne Hauptstamm (schwarze bzw. hellblaue Linien) je Stratum, nach der Teilung der Baumkrone in zwei Straten. Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume (Hilfsgröße: Querschnitt).

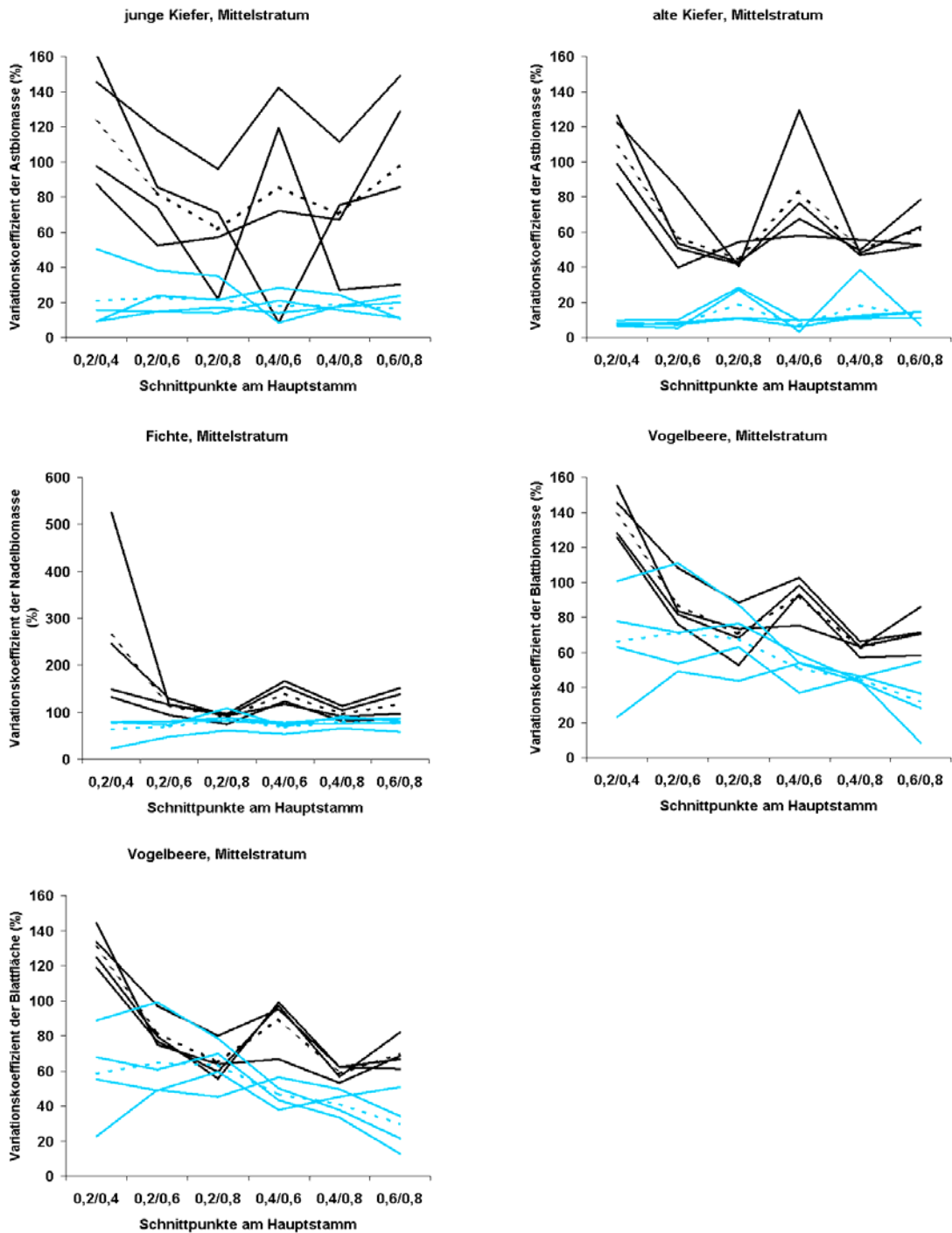


Abb. 7.18: Variationskoeffizient der Zielgröße im Mittelstratum mit und ohne Hauptstamm (schwarze bzw. hellblaue Linien) nach der Teilung (Stratifizierung) der Baumkrone in drei Straten. Jede feste Linie repräsentiert einen Baum; die gestrichelte Linie repräsentiert den Durchschnitt dieser Bäume (Hilfsgröße: Querschnitt).

7.3 Vergleich zwischen den RBS-Verfahren

Die Ergebnisse des Vergleiches zwischen dem Ziehen ohne Zurücklegen (ZoZ) und dem Ziehen mit Zurücklegen (ZmZ), die im Folgenden präsentiert werden, wurden mit der bei Vernachlässigung unterschiedlicher Kosten effizientesten Kombination von Primär- und Sekundärstichprobenumfängen für ZoZ erlangt, d.h. mit $m_i = 1$ Sekundäreinheiten je ausgewählte Primäreinheit (s. Kapitel 4.4.1).

7.3.1 Die Effizienz des Ziehens ohne Zurücklegen auf der Stufe 1 in der Praxis

Die Effizienz des ZoZ wird verbessert, wenn weniger Sekundäreinheiten je Primäreinheit und mehr Primäreinheiten ausgewählt werden (Kapitel 4.4.1). Die Verbesserung der Effizienz hängt vom Verhältnis der Varianz zwischen den Primäreinheiten zu der gesamten Varianz der Zielgröße ab (Tabelle 7.1). Je größer dieses Verhältnis desto größer ist die Verbesserung der Effizienz des ZoZ durch die Variante 3(2) und 6(1) gegenüber 2(3) (Abbildung 7.19).

Tabelle 7.1. Parameter von Fichten und Vogelbeeren und Variationskoeffizient der Biomasse aus ZoZ für unterschiedliche Kombinationen von Stichprobenumfängen für eine Stichprobe von insgesamt sechs Pfaden an Fichte und Vogelbeere (Bäume ohne Hauptstamm⁵; Hilfsgröße: Querschnitt).

Spezies	Baum	Biomasse ^a (G)	Variabilität aller Pfade (klassisches RBS mit $n=1$)					Stichprobenumfang $n (m_i)$		
			Variations- koeffizient (%)	$VarY^b$	Var1 ^c	Var2 ^d	$\frac{Var1}{VarY}$	2(3)	3(2)	6(1)
								Variationskoeffizient ZoZ (%)		
Fichte	1	17,646	86,2	231,240	42,757	188,483	0,18	40,8	37,7	34,4
	2	41,615	100,5	1749,938	657,183	1092,755	0,38	53,3	46,6	38,8
	3	99,555	61,2	3709,419	332,500	3376,919	0,09	26,9	25,6	24,6
	4	11,205	55,9	39,263	19,096	20,167	0,49	31,4	26,9	21,4
Vogelbeere	2	351,335	44,7	24701,702	8589,415	16112,287	0,35	23,3	20,4	17,2
	3	234,825	54,4	16312,659	5258,456	11054,203	0,32	27,5	24,1	20,1
	4	386,418	103,1	158836,684	59967,522	98869,162	0,38	54,2	46,9	38,4

^a Fichte: Nadelbiomasse; Vogelbeere: Blattbiomasse. ^b Varianz der Zielgröße (s. Formel 3.10). ^c Varianz zwischen Primäreinheiten,;

$$Var1 = \frac{1}{n} \sigma_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{F_i}{q_i} - \sum_{i=1}^N F_i \right)^2 ; \quad \text{d Varianz ab Stufe 2, } Var2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{q_i} .$$

⁵ In dieser Tabelle wurden nur Bäume ohne Hauptstamm eingeführt, die mindestens einen Stichprobenumfang von 6 Primäreinheiten erlauben und Primäreinheiten besitzen, die sich weiter verzweigen.

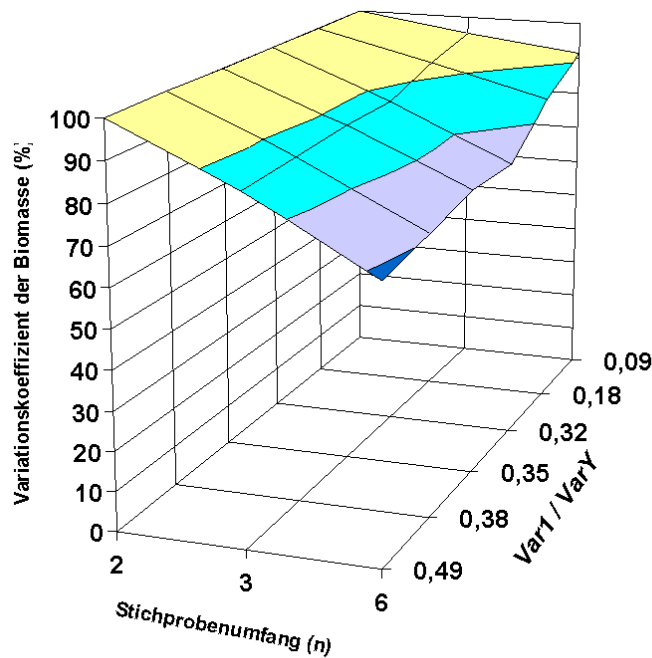


Abb. 7.19: Variationskoeffizient der Biomasse aus Ziehen ohne Zurücklegen für unterschiedliche Kombinationen von Stichprobenumfängen und eine Stichprobe von insgesamt sechs Pfaden, an Bäumen mit unterschiedlichen Verhältnissen zwischen den Komponenten der Varianz zwischen und innerhalb der Primäreinheiten (Bäume ohne Hauptstamm). Der Wert für $n=2$ und $m_i=3$ wurde an jedem Baum als 100% berücksichtigt.

7.3.2 Die Präzision des Ziehens ohne Zurücklegen mit $m_i = 1$ im Vergleich zum Ziehen mit Zurücklegen

An unstratifizierten Bäumen ohne Hauptstamm bringt das ZoZ immer präzisere Schätzungen als das ZmZ. Der Präzisionsgewinn ist umso größer je größer der Stichprobenumfang ist. Man bemerkt, dass der Unterschied an Präzisionsgewinn zwischen den Bäumen größer ist als der Unterschied zwischen den Spezies (Abbildung 7.20; s. Tabellen C.5 und C.8 im Anhang C).

Der Präzisionsgewinn hängt von zwei Faktoren ab, nämlich der Straffheit der Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten an den Primäreinheiten (Spalte 12 in Tabelle C.8), und der Proportion der Varianz der Primäreinheiten zur gesamten Varianz am Baum (Spalte 6 in Tabelle C.8).

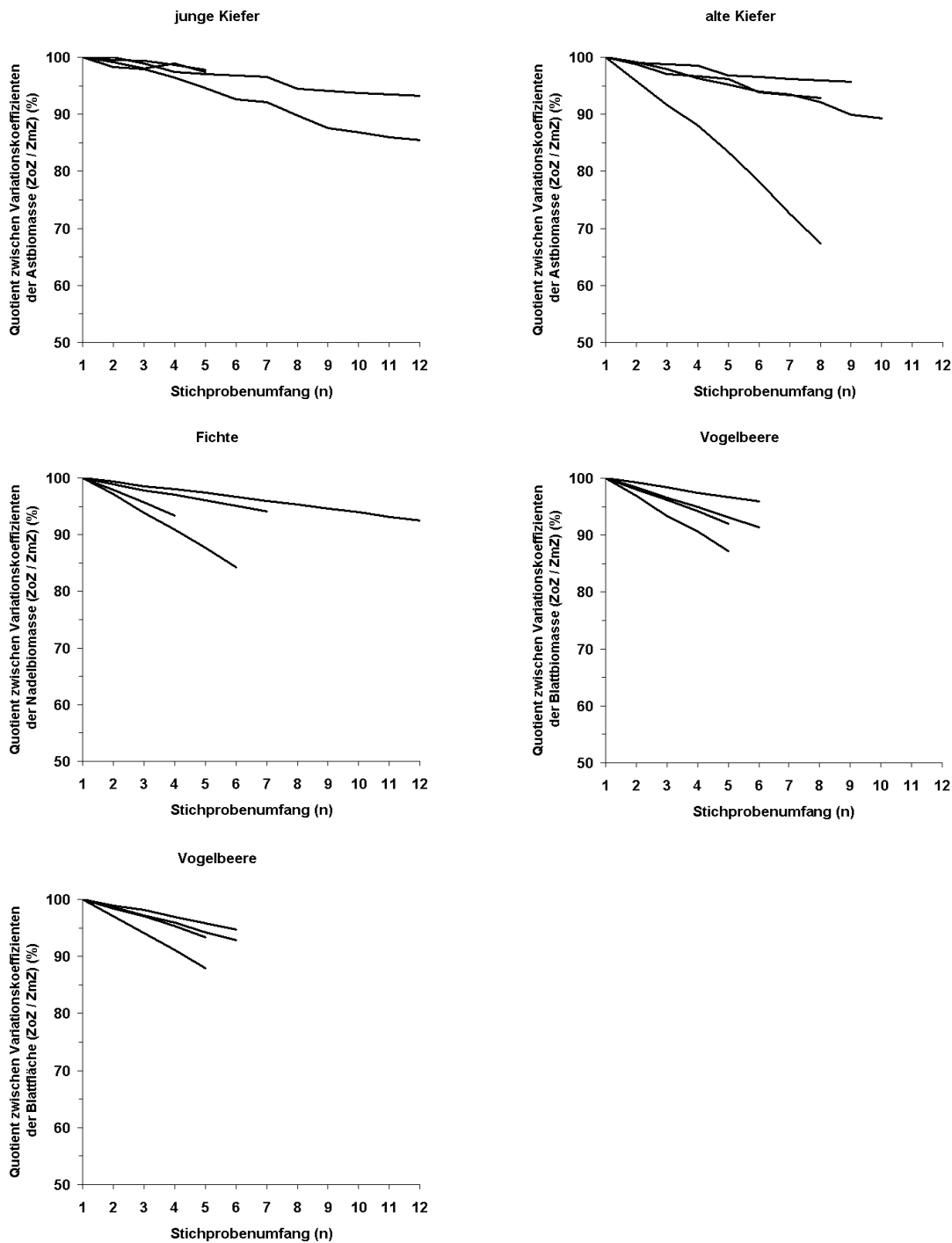


Abb. 7.20: Quotient zwischen den Variationskoeffizienten der Zielgröße des Ziehens ohne und mit Zurücklegen für unterschiedliche Stichprobenumfänge ($m_i = 1$) an Bäumen ohne Hauptstamm. Jede Linie repräsentiert einen Baum (Hilfsgröße: Querschnitt).

An jeder Spezies zeigt sich der stärkere Präzisionsgewinn am Baum mit der schwächeren Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten an den Primäreinheiten. Zwischen den Fichten ist folgende Tendenz an den Bäumen zu beobachten: je schwächer die Beziehung und je größer die Proportion der Varianz zwischen den Primäreinheiten zu gesamter Varianz desto größer ist der Präzisionsgewinn.

Man kann folgende Regel formulieren. Wenn die Variabilität zwischen den Primäreinheiten groß ist, was eine schwächere Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten an den Primäreinheiten impliziert (s. Kapitel 4.1), ist der Unterschied zwischen ZmZ und ZoZ umso größer je größer die Proportion der Varianz der Primäreinheiten zur gesamten Varianz ist. Wenn die Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten an den Primäreinheiten straff ist, die eine kleine Variabilität zwischen den Primäreinheiten impliziert, ist der Unterschied zwischen ZmZ und ZoZ klein, unabhängig von der Proportion der Varianz der Primäreinheiten zur gesamten Varianz.

Gemäß der oben gegebenen Erklärung ist die Straffheit der linearen Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten an den Primäreinheiten ein Zeiger des potentiellen Präzisionsgewinns des ZoZ im Vergleich zu ZmZ. Dies kann visuell durch die Streuung der individuellen Punkte um die Gerade durch den Nullpunkt identifiziert werden.

An stratifizierten Bäumen ohne Hauptstamm, sieht man ähnliche Ergebnisse wie an unstratifizierten Bäumen. Das ZoZ bringt immer präzisere Schätzungen als das ZmZ. Der Präzisionsgewinn hängt vom Stichprobenumfang, der Straffheit der Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten an den Primäreinheiten und der Proportion der Varianz der Primäreinheiten zur gesamten Varianz ab. An Bäumen mit zwei Straten ergeben sich wieder die stärkeren Präzisionsgewinne an Bäumen mit schwächerer Beziehung und mit größerer Proportion der Varianz innerhalb der Primäreinheiten (Abbildungen 7.21 und 7.22; s. Tabellen C.6, C.9 und C.10 im Anhang C). Diese Tendenz ist besonders eindeutig innerhalb des zweiten Stratums, wo der Präzisionsgewinn am stärksten ist. Unabhängig vom Stratum ist der Präzisionsgewinn umso größer je größer der Stichprobenumfang ist.

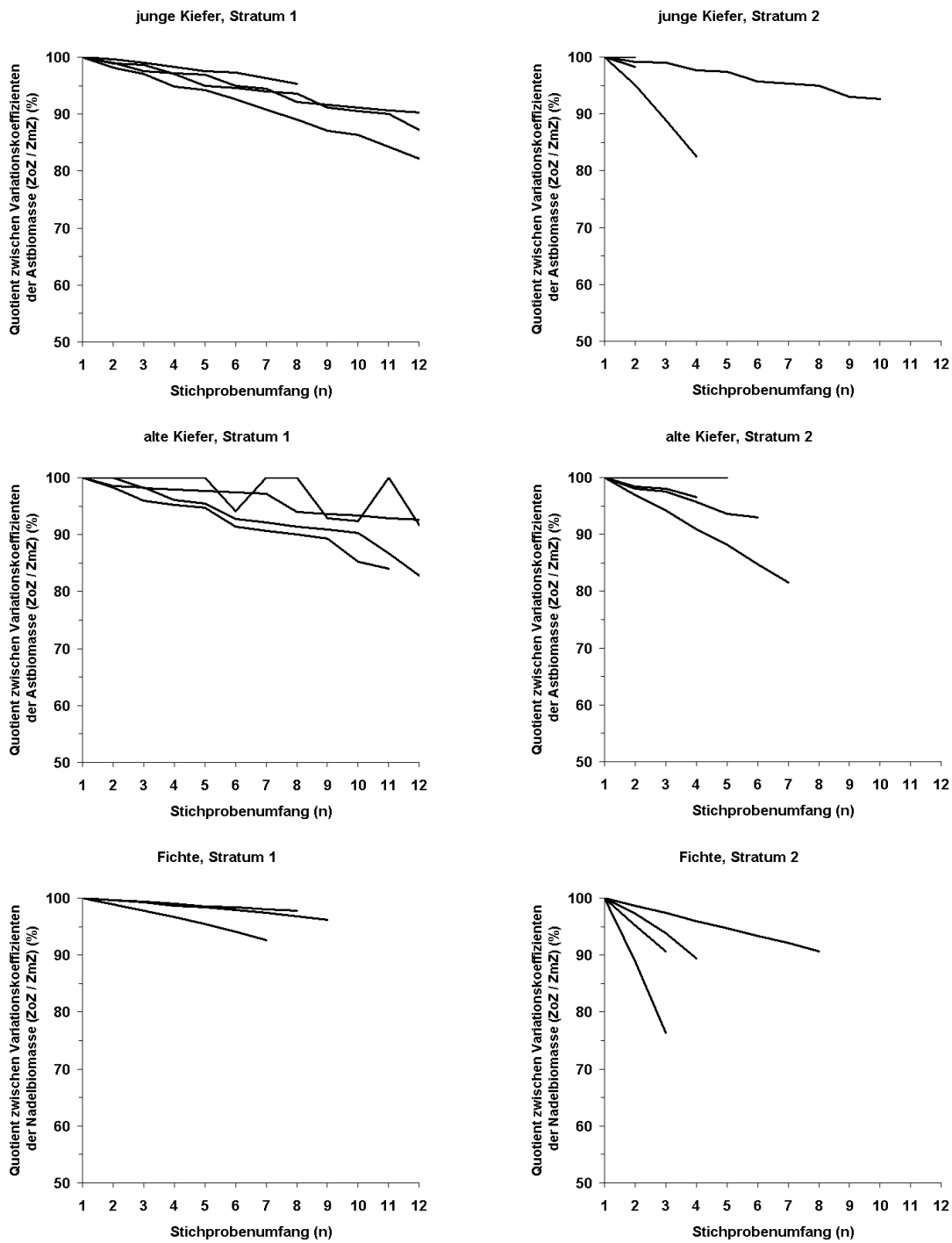


Abb. 7.21: Quotient zwischen den Variationskoeffizienten des Schätzers bei Ziehen ohne und mit Zurücklegen für unterschiedliche Stichprobenumfänge ($m_i = 1$), an Fichten und Kiefern ohne Hauptstamm und geteilt in zwei Straten. Jede Linie repräsentiert einen Baum (Hilfsgröße: Querschnitt).

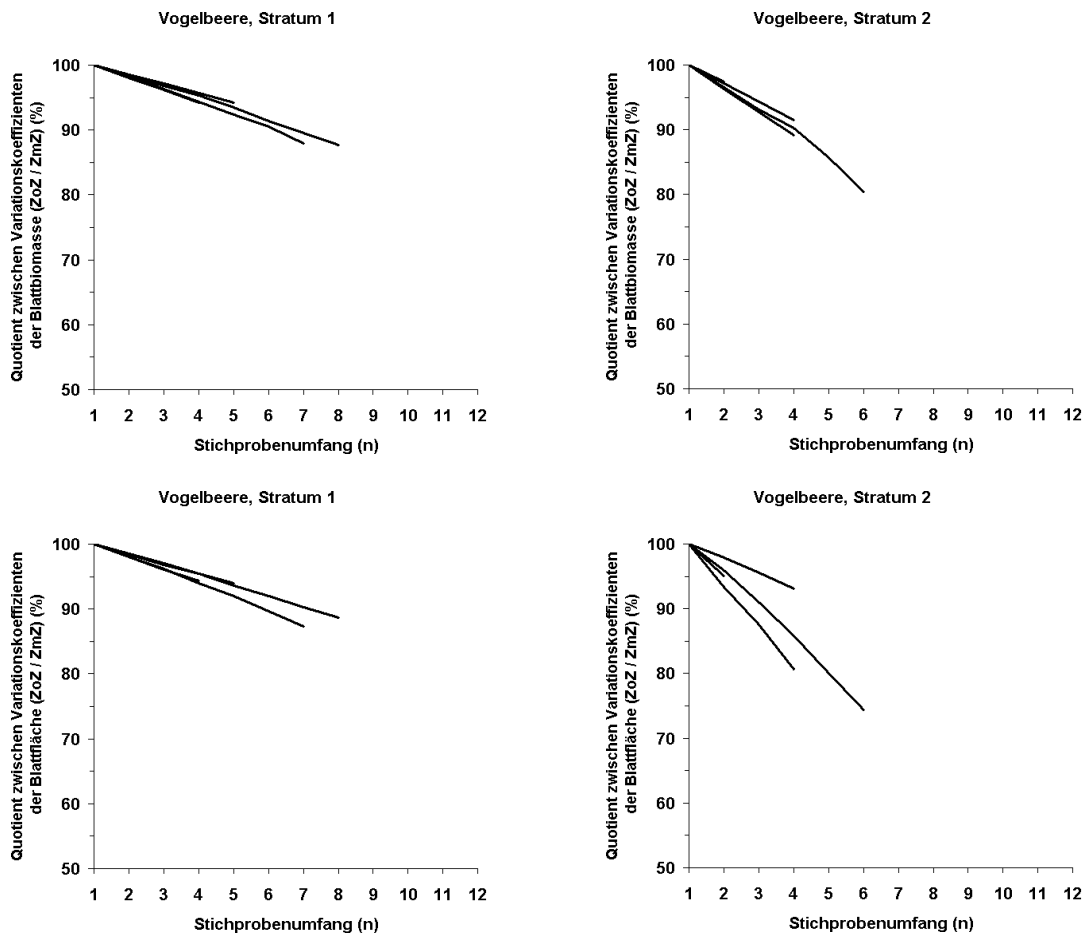


Abb. 7.22: Quotient zwischen den Variationskoeffizienten des Schätzers bei Ziehen ohne und mit Zurücklegen für unterschiedliche Stichprobenumfänge ($m_i = 1$), an Vogelbeeren ohne Hauptstamm und mit zwei Straten. Jede Linie repräsentiert einen Baum (Hilfsgröße: Querschnitt).

An Bäumen mit drei Straten zeigt sich an allen Spezies außer Fichte der stärkere Präzisionsgewinn im Mittelstratum (Abbildung 7.23; s. Tabellen C.7 und C.11 im Anhang C). Die größten Unterschiede im Präzisionsgewinn zwischen den Bäumen ergeben sich innerhalb der oberen Straten. Die Unregelmäßigkeiten, die an manchen Bäumen zu beobachten sind (alte Kiefer, Stratum 1 und Mittelstratum), sind das Resultat der Rundung von Ziffern. Es handelt sich um Bäume deren Schätzer sehr kleine Variationskoeffizienten ausweisen.

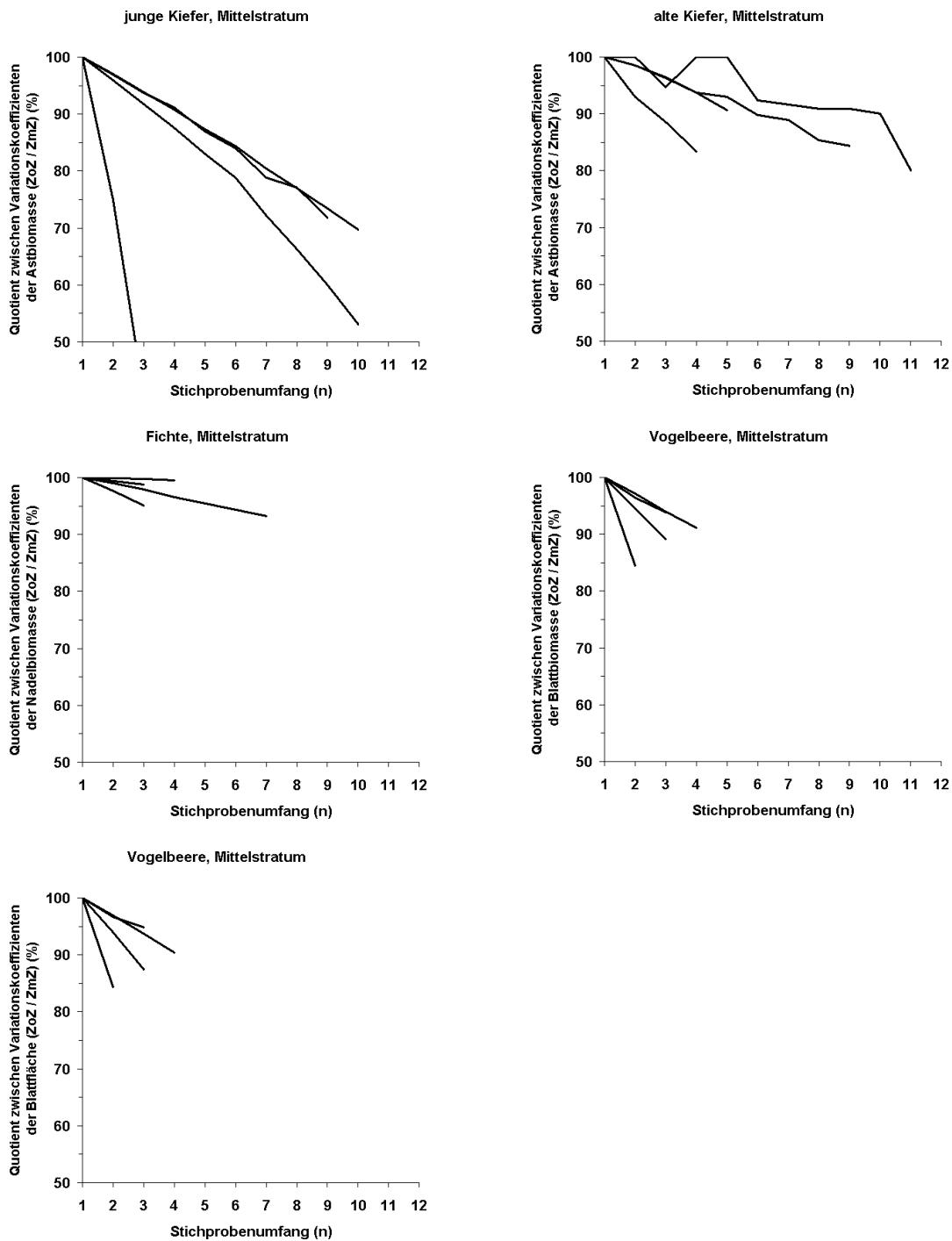


Abb. 7.23: Quotient zwischen den Variationskoeffizienten des Schätzers des Ziehens ohne und mit Zurücklegen für unterschiedliche Stichprobenumfänge ($m_i = 1$) am Mittelstratum von Bäumen ohne Hauptstamm (drei Straten). Jede Linie repräsentiert einen Baum (Hilfsgröße: Querschnitt).

7.3.3 Zur Varianzschätzung bei Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1 mit $m_i = 1$

Wie im Abschnitt 7.3.1 gezeigt wurde, ist für den Fall $m_i = 1$, der sich für das RBS mit ZoZ auf der ersten Stufe als optimal erwiesen hat, keine erwartungstreue Varianzschätzung möglich, da die Varianz zwischen den Sekundäreinheiten nicht geschätzt werden kann. Hier werden nun die Ergebnisse für die drei alternativen Varianzschätzer präsentiert, nämlich die Schätzung der Varianz durch die Formel des klassischen RBS, durch die Formel des klassischen RBS mit einem Korrekturfaktor und durch den HTh-Sampford_{approx}-Varianzschätzer (Tabelle 7.2, Abbildung 7.24). Die Mittelwerte der Varianzschätzer wurden über 10000 simulierte Stichproben berechnet.

Tabelle 7.2. Verhältnis der alternativen Varianzschätzer zur wahren Varianz der Zielgröße für Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit $m_i = 1$ auf Stufe 2, Bäume ohne Hauptstamm⁶.

Spezies	Zielgröße	Baum	$Var1/VarY$	Baum	Primäreinheiten	$(ZoZ / ZmZ) (\%)^d$	Mittelwerte der Schätzungen im Verhältnis zu wahren Varianz (%)				
				Standardabweichung der mittleren Steigung ^e der Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit (%).			Stichprobenumfang (n)				
				2	3		4	5	6		
Fichte	Nadelbiomasse	1	0,18	87	38	97,7	100,6 ^a	103,7	101,9	107,7	107,9
							99,7 ^b	102,1	99,8	104,8	104,3
							99,3 ^c	101,7	99,3	104,4	103,9
		2	0,38	129	75	94,6	107,0	105,1	108,2	110,6	115,1
105,1	102,2						104,2	105,4	108,5		
103,8	100,5						102,1	102,9	105,8		
3	0,09	38	22	98,4	101,9	106,0	100,3	99,9	103,4		
					101,2	104,9	98,9	98,1	101,2		
					101,0	104,7	98,6	97,8	100,8		
4	0,49	50	36	93,8	105,2	109,0	109,6	113,7	118,7		
					101,6	103,2	101,6	103,1	105,3		
					99,7	100,9	98,9	100,0	101,9		
Vogelbeere	Blattbiomasse	2	0,35	36	27	94,0	104,9	107,0	109,3	111,9	116,0
							101,1	100,9	100,8	100,9	102,3
							100,6	100,4	100,4	100,6	102,2
		3	0,32	48	33	90,5	109,1	111,2	114,8	123,1	128,1
103,9	102,6						102,7	106,6	107,2		
103,1	102,0						102,4	106,8	107,9		
4	0,38	131	76	91,2	107,2	110,0	115,3	120,5	123,9		
					104,5	105,4	108,7	111,6	112,8		
					103,2	103,9	107,2	110,0	111,1		

^a Klassischer Schätzer.

^b Klassischer Schätzer mit Korrekturfaktor.

^c Schätzer angelehnt an Sampford.

^d Quotient der Varianzen aus Ziehen ohne und mit Zurücklegen.

^e Geteilt durch die gesamte Zielgröße am Baum (Steigung: Quotient der mittleren Werte).

⁶ Bäume ohne Hauptstamm, die mindestens einen Stichprobenumfang von 6 Primäreinheiten besitzen, die sich weiter verzweigen.

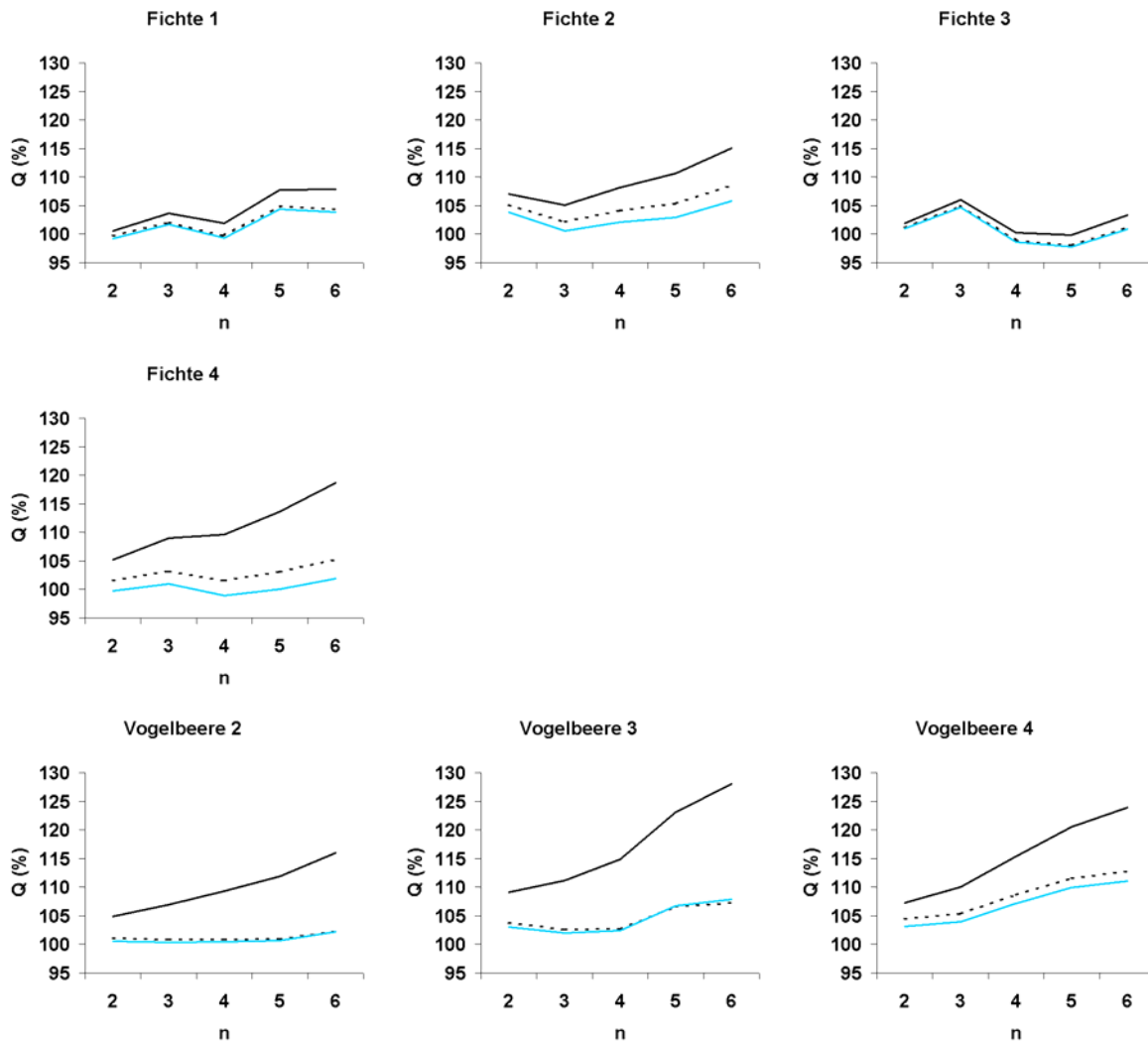


Abb. 7.24: Verhältnis der Mittelwerte der Varianzschätzungen zur wahren Varianz der Zielgröße für Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit ($m_i = 1$) auf Stufe 2, Bäume ohne Hauptstamm. Durchgezogene, dunkle Linie: Formel des klassischen RBS; Gestrichelte, dunkle Linie: Klassisches RBS mit Korrekturfaktor; hellblaue Linie: HTh-Sampford_{approx.} (Hilfsgröße: Querschnitt).

Die drei Varianzschätzer zeigen in der Regel eine positive Verzerrung, die umso größer ist je größer der Stichprobenumfang ist (Tabelle 7.2; s. a. Tabelle C.12 in Anhang C). Die durch die Formel des klassischen RBS geschätzte Varianz ist am stärksten verzerrt, und erreicht eine Überschätzung von bis nahezu 30% (s. Vogelbeere 3, Abbildung 7.24). Im Fall der Vogelbeere 3 führt ZoZ auf der ersten Stufe aber auch zu deutlich präziseren Schätzungen der Zielgröße (Tabelle 7.2) mit einer um 10% geringeren Varianz im Vergleich zum klassischen RBS. Das Inkrement der Verzerrung mit dem Inkrement des Stichprobenumfangs ist ein Ergebnis, das man erwarten konnte. Da der Vorteil des ZoZ im Vergleich zum ZmZ umso größer ist je größer der Stichprobenumfang ist (s. Kapitel 7.3.2), wird die selbe Tendenz durch die Anwendung der Formel des ZmZ zur Schätzung der Varianz des ZoZ registriert.

Der Korrekturfaktor spielt eine wichtige Rolle, wenn die Varianz des ZoZ durch die Formel des klassischen RBS schätzt wird. Der Korrekturfaktor erzielt eine Verringerung der geschätzten Varianz und eine bessere Annäherung an die wahre Varianz des ZoZ. Die größten beobachteten Verzerrungen bei dieser Methode liegen unter 15%. D.h. der Korrekturfaktor reduziert die Verzerrung um mehr als 50%. Allerdings treten auch häufiger geringfügige Unterschätzungen auf.

Der HTh-Sampford_{approx} verhält sich am besten unter den drei alternativen Varianzschätzern. Im schlechtesten Fall übersteigt die Verzerrung kaum 10% (s. Vogelbeere 4, Abbildung 7.24). Bei dieser Methode liegt die Verzerrung meist unter 5%. Aber auch hier ist häufiger mit, wenn auch geringen, Unterschätzungen zu rechnen.

Am schlechtesten verhalten sich die drei Varianzschätzer, wenn sowohl die Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten der Segmente schwach ist, als auch das Verhältnis der Varianz zwischen den Primäreinheiten zu der gesamten Varianz groß ist. D.h. die Annäherung an die wahre Varianz durch die alternativen Varianzschätzer ist am schlechtesten in den Fällen, in denen der stärkste Präzisionsgewinn des ZoZ im Vergleich zu ZmZ zu beobachten ist (s. Kapitel 7.3.2).

7.3.4 Zeitaufwand im Feld

Die Arbeit im Feld wurde von einem 3-Personen-Team durchgeführt. Eine Person beschäftigte sich mit der Bedienung des Programms (BRANCH) auf einem Laptop. Eine zweite Person führte die Messung der Hilfsgröße und die Entnahme der Blätter durch. Das dritte Mitglied des Teams half bei der Entnahme der Blätter mit und war für die Lagerung der Blätter in Tüten sowie für das Etikettieren der Tüten verantwortlich.

Jeder Baum wurde mit einer Handsäge gefällt und zur Messung auf zwei Staffeleien gestellt. Vor der Entnahme wurden alle abgestorbenen Segmente am Baum weggeschnitten, um damit die Arbeit flüssiger zu machen. Sowohl das ZmZ am Baum mit Hauptstamm als auch das ZoZ am Baum ohne Hauptstamm und geteilt in zwei Straten wurden am Baum ohne weitere Modifizierungen durchgeführt. D.h. zur Anwendung des ZoZ wurden die Grenzen der Straten direkt am Hauptstamm markiert und keine physische Entfernung des Hauptstammes durchgeführt. Der Entfernung des Hauptstammes wurde durch die Zuordnung aller Segmente (Äste), die direkt vom Hauptstamm abzweigten, zu einem einzigen Knoten Rechnung getragen.

Die Entnahme wurde Knoten um Knoten entlang der ausgewählten Segmente durchgeführt. Die Zeit zur Arbeit am Knoten (s. Kapitel 5.3.4) beginnt mit dem Mausklick auf den Knopf „Knoten hinzufügen“ und wird nach dem Mausklick auf den Knopf „Segmente auswählen“ beendet. Dann beginnt die Zeit an den am Knoten ausgewählten Segmenten mit der Bestätigung, ob diese Segmente Blätter tragen. Wenn dies der Fall war, wurde die Zielgröße jedes ausgewählten Segmentes entnommen, gelagert und etikettiert. Die Zeit zur Arbeit an den ausgewählten Segmenten wird mit der Einfügung eines neuen Knotens beendet. Die mittlere Zeit zur Arbeit an Segmenten mit Zielgröße schliesst die Zeit zur Entnahme der Zielgröße und die Zeit zur Bestätigung ein, ob die ausgewählten Segmente Zielgröße tragen. Die mittlere Zeit zur Arbeit an Segmenten ohne Zielgröße endet bereits mit der Bestätigung, ob die ausgewählten Segmente Blätter tragen.

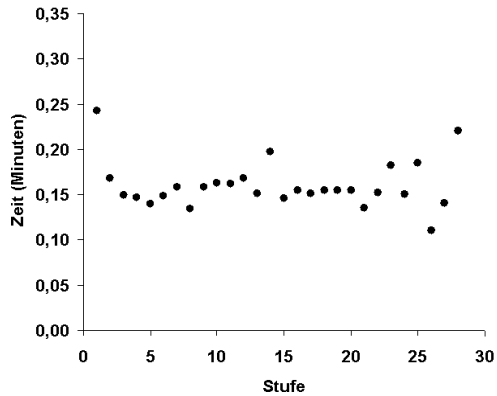
Deutliche Unterschiede zwischen der Zeit zur Entnahme der Zielgröße und der Zeit zur Entnahme der Hilfsgröße sowohl an der Höhe als auch an der Tendenz des Zeitaufwandes über die Stufen sind zu beobachten (Abbildung 7.25). Die Entnahme der Zielgröße ist deutlich zeitaufwändiger als die Entnahme der Hilfsgröße. Beim ZoZ-ZmZ am stratifizierten Baum ohne Hauptstamm ist der Zeitaufwand zur Entnahme der Zielgröße an den Primäreinheiten größer als der von Sekundär- und Tertiäreinheiten. Ab der dritten Stufe steigt der Zeitaufwand im Mittel geringfügig an (Abbildung 7.25, Mitte, rechts). Beim ZmZ am Baum mit Hauptstamm beginnt die Steigerung auf Stufe 2 (Abbildung 7.25, Mitte, links).

Der Zeitaufwand zur Entnahme der Hilfsgröße an den Primäreinheiten (Zeitaufwand am Knoten) sowohl für das ZmZ am unstratifizierten Baum mit Hauptstamm als auch der für das ZoZ-ZmZ am stratifizierten Baum ohne Hauptstamm ist deutlich größer als der von jeder anderen untergeordneten Einheit (Abbildung 7.25, oben). Der Zeitaufwand am Knoten stabilisiert sich ab Stufe drei (s. auch Tabelle C.13 im Anhang C).

Der Zeitaufwand an den Primäreinheiten ohne Zielgröße ist ähnlich zu dem Zeitaufwand zur Entnahme der Hilfsgröße. Beim ZmZ am unstratifizierten Baum mit Hauptstamm ist der Zeitaufwand zur Arbeit an den Primäreinheiten ohne Zielgröße größer als an den Sekundäreinheiten. Ab dieser Stufe ist keine klare Tendenz zu beobachten (Abbildung 7.25, unten, links). Beim ZoZ gab es kein Segment ohne Zielgröße auf Stufe 2 und nur weniger auf der dritten und den folgenden Stufen, deshalb wird hier kein Bild für diese Variante präsentiert.

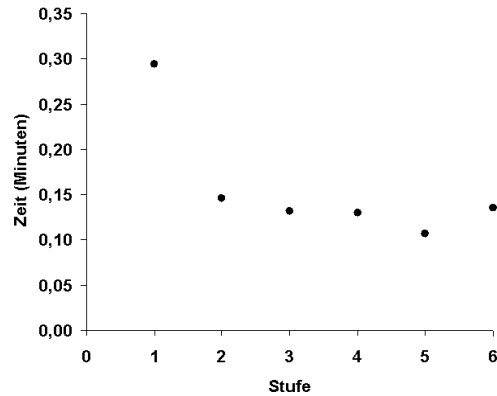
Baum mit Hauptstamm

Zeit am Knoten je Segment

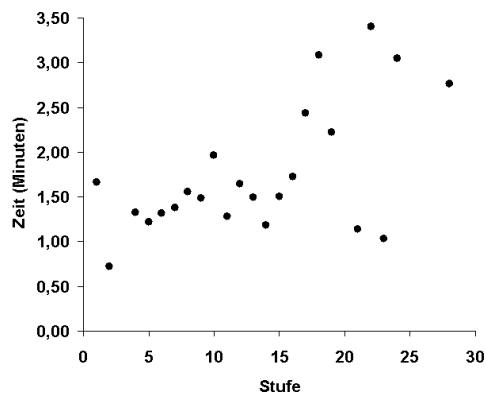


Baum ohne Hauptstamm

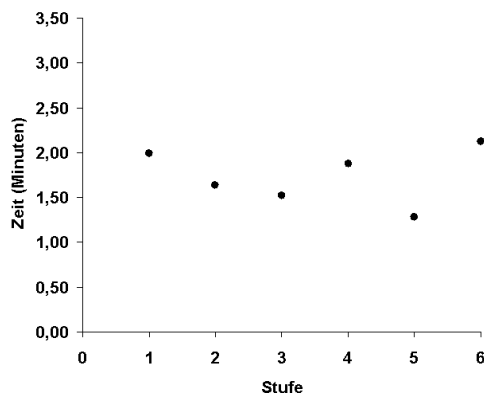
Zeit am Knoten je Segment



Zeit am Segment mit Zielgröße



Zeit am Segment mit Zielgröße



Zeit am Segment ohne Zielgröße

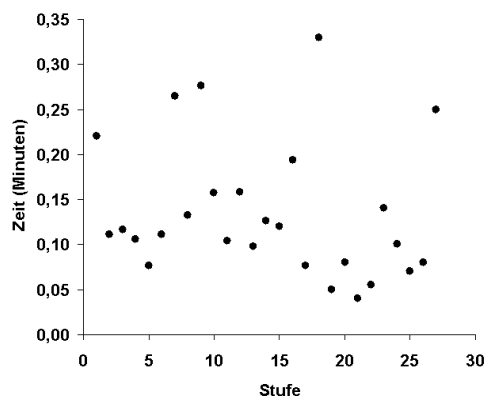


Abb. 7.25: Zeitaufwand je Knoten und Segment im Feld an Bäumen mit Hauptstamm (links, ZmZ) und an in zwei Straten geteilten Bäumen ohne Hauptstamm (rechts, ZoZ-ZmZ) (Spezies: Vogelbeere; Hilfsgröße: Querschnitt).

Der Zeitaufwand zur Entnahme der Zielgröße hängt von der Quantität der Blätter an den ausgewählten Segmenten ab. Je höher die Stufe, auf der die Entnahme stattfindet, desto häufiger werden Endsegmente ausgewählt, die mehr Blätter haben und somit eine zeitaufwändigere Entnahme erfordert. Dies erklärt die Steigerung des Zeitaufwandes zur

Entnahme der Zielgröße, die beim ZmZ am Baum mit Hauptstamm auf Stufe 2 beginnt (Abbildung 7.25, Mitte, links). Wenn der Hauptstamm gelöscht wird, werden manche dieser Endsegmente Primär- oder Sekundäreinheiten. Dies erklärt den größeren Zeitaufwand zur Entnahme der Zielgröße an der Primär- und Sekundäreinheiten beim ZoZ-ZmZ am Baum ohne Hauptstamm im Vergleich zum ZmZ am Baum mit Hauptstamm. Der erste Knoten am Baum ohne Hauptstamm wird von zahlreichen Segmenten gebildet, die entlang des Hauptstammes verteilt sind. Zur Zählung der Segmente und Entnahme der Hilfsgröße muss man entlang des Hauptstammes laufen. Deshalb ist die Arbeit am ersten Knoten des Baumes ohne Hauptstamm aufwendiger als die am Baum mit Hauptstamm. Aber in beiden Fällen ist auf Stufe 1 mit der höchsten Arbeitszeit unter allen Stufen zu rechnen.

Tabelle 7.3 Mittlerer Zeitaufwand (Minuten) je Knoten und Segment beim klassischen RBS-Verfahren (ZmZ) an unstratifizierten Bäumen mit Hauptstamm und beim ZoZ-ZmZ an stratifizierten Bäumen ohne Hauptstamm (Hilfsgröße: Querschnitt).

Baum (Verfahren)		mit Hauptstamm (ZmZ)			ohne Hauptstamm (ZoZ-ZmZ)		
Stufe		1	2	ab 3	1	2	ab 3
Zeit am Knoten		0,242	0,168	0,156	0,294	0,146	0,126
Zeit am Segment	ohne Zielgröße	0,220 ^a	0,111	0,132 ^b	0,220 ^a	0,132 ^b	0,132 ^b
	mit Zielgröße	1,660	0,720	1,817	1,986	1,632	1,697
		Regression Zeit (mit Zielgröße) = A + B · Stufe (ab Stufe 2)					
		A	B		A	B	
	0,86314 ^{**}	0,06541 ^{**}		1,38843 ^{ns}	0,07381 ^{ns}		

^{a,b}Die Werte für den Baum ohne Hauptstamm wurden vom Baum mit Hauptstamm genommen. ^{**}p(t)<0,01; ^{ns}p(t)>0,05

Wenn man den Zeitaufwand am Knoten und teilweise den Zeitaufwand am Segment mit Zielgröße am Baum ohne Hauptstamm betrachtet, bemerkt man, dass die Zeiten an den Primär- und Sekundäreinheiten und ab Stufe 3 sich voneinander unterscheiden. Dieser Unterschied wurde zur Erlangung des simulierten Zeitaufwandes, der in folgenden Abschnitten beschrieben wird, berücksichtigt. Die entsprechenden mittleren Werte (Tabelle 7.3, rechts) wurden zum Vergleich zwischen dem klassischen RBS-Verfahren und ZoZ-ZmZ am Baum ohne Hauptstamm verwendet. Es sind Werte, die nicht von der wiederholten Auswahl von Einheiten beeinflusst sind. Da am Baum ohne Hauptstamm kein Segment auf der Stufe 1 und nur wenige Segmente ab Stufe 2 zur Kategorie „ohne Zielgröße“ gehörten, wurden die entsprechenden Zeiten vom Baum mit Hauptstamm genommen (Tabelle 7.3, links). Wenn unterschiedliche Verteilungen der ausgewählten Segmente auf den Stufen für die zu vergleichenden Verfahren zu befürchten sind, wäre es sinnvoll ab Stufe 2 den Zeitaufwand am Segment mit Zielgröße als eine Funktion der Stufe berücksichtigen (Tabelle

7.3, unten). Das ist besonders wichtig, wenn ein Vergleich am Baum mit Hauptstamm durchgeführt wird, da der Zeitaufwand am Segment mit Zielgröße innerhalb des Baumes eine deutliche Tendenz aufweist.

Beim ZoZ_ZmZ tauchten im Feld zwei Probleme auf, die für den Zeitaufwand wichtig sind. Das erste Problem hat mit der Beschränkung $n \cdot q_i < 1$ (s. Kapitel 4.4) und mit der Präsenz von Segmenten (Äste), die große Durchmesser auswiesen (d.h. große q_i), zu tun. An manchen Bäumen stellt die Eliminierung des Hauptstammes eine Population zur Verfügung, an der der maximale mögliche Stichprobenumfang kleiner als der gewünschte Stichprobenumfang war. Um dieses Problem zu lösen, wurde eine weitergehende sequentielle Eliminierung der größten verbleibenden Segmente durchgeführt. Das größte verbleibende Segment wurde eliminiert und die zum Knoten am Ende des eliminierten Segmentes gehörigen Segmente wurden als Primäreinheiten eingesetzt. Danach wurde ein neuer Versuch zur Auswahl der Stichprobe gemacht. Diese Prozedur wurde wiederholt bis eine erfolgreiche Auswahl der Primärstichprobe erreicht wurde. Dieses Problem, das an zwei Bäumen auftrat, vergrößert natürlich den Zeitaufwand. Ein erfahrener Vermesser kann dieses Problem vor der Entnahme der Stichprobe eliminieren und damit den Zeitaufwand kleiner machen.

Das zweite Problem hat mit der Zählung der Segmente am ersten Knoten zu tun. Der erste Schritt zur Entnahme einer Stichprobe ist die Zählung der Segmente am ersten Knoten und das Einfügen dieser Zahl im Programm (BRANCH). Aus dieser Zahl bereitet BRANCH eine Tabelle mit geeigneten Platzhaltern vor. Die Korrektur einer fehlerhaften Zählung, die mit BRANCH möglich ist, verbraucht Zeit und sollte durch eine sorgfältige Zählung vermieden werden. Dieses Problem trat an einem Baum auf.

7.3.5 Der Zeitaufwand des Ziehens ohne Zurücklegen im Vergleich zum Ziehen mit Zurücklegen

Nach [4.14] hängt das optimale m vom Verhältnis der Zeitaufwände je Segment auf Stufe 1 und den folgenden Stufen, sowie von den dort beschriebenen Varianzverhältnissen ab ($Var_1/VarY$). Danach ist m umso größer je größer k_1/k_2 und je kleiner $Var_1/VarY$ sind. Man kann sich also fragen, wie groß k_1 im Vergleich zu k_2 sein müsste, um optimale Sekundärstichprobenumfänge $m > 1$ zu erhalten. Diese Frage wird für die vorhandenen Beispielbäume (Vogelbeere und Fichte) durch Tabelle 7.4 beantwortet. In dieser Tabelle wurden für k_2 und $Var_1/VarY$ die empirischen Daten eingesetzt. Für die Fichten wurden die

Werte für die Zeiten der Stufe 2 und höher proportional zu denen der Vogelbeere angenommen.

Es zeigt sich, dass $m = 2$ oder $m = 3$ für die Vogelbeere nur dann $m = 1$ vorzuziehen ist, wenn k_1 mindestens 5 bzw. 12 Minuten überschreitet. Für die Fichte müsste k_1 mindestens 20 mal so groß wie die Zeit für $m = 1$ sein (Baum 3), um $m = 2$ als optimal Lösung zu erhalten. D.h. zumindest für die hier untersuchten Bäume ist $m = 1$ auch unter Berücksichtigung des Zeitaufwandes klar die optimale Wahl.

Tabelle 7.4 Zeitaufwand (Minuten) zur Entnahme der Hilfsgröße auf der ersten Stufe für bestimmte optimale Stichprobenumfänge m_o . Für k_2 und $Var1/VarY$ wurden die empirisch ermittelten Werte eingesetzt.

Vogelbeere						Fichte									
Baum	$Var1/VarY$	PPoZ ^b	Zeit für Hilfsgröße auf Stufe 1 für unterschiedliche optimale m_o			Baum	$Var1/VarY$	PPoZ ^b	Zeit für Hilfsgröße auf Stufe 1 für unterschiedliche optimale m_o			Zeit je Knoten und Segmente (Baum ohne Hauptstamm)			
			$m_o=1$	$m_o=2$	$m_o=3$				$m_o=1$	$m_o=2$	$m_o=3$	Stufe	1	2	ab 3
2	0,35	0,27	0,294	5,870	15,160	1	0,18	0,00	1,500	35,850	93,100	ZK	-	1	1
3	0,32	0,81	0,785	4,920	11,788	2	0,38	0,00	17,600	100,300	239,500	ZSo	1	1	1
4	0,38	0,72	1,630	7,600	17,250	3	0,09	0,00	1,000 ^a	20,700	58,900	ZSm	10 ^a	10	10
						4	0,49	0,06	26,000	130,500	304,500				

^aAm Baum 3 eine Kombination 1,000 / 7,000 zur Erschaffung den Wert $m_o=1$ wurde verbraucht. ZK: Zeit für Hilfsgröße je Segment; ZSo: Zeit am Segment ohne Zielgröße; ZSm: Zeit am Segment mit Zielgröße. ^bPPoZ: Proportion von Primäreinheiten ohne Zielgröße.

Beim ZoZ-ZmZ ist der Gesamtzeitaufwand eine linear wachsende Funktion der Anzahl der gemessenen Primäreinheiten. Diese Linearität ist das Resultat des Ziehens ohne Zurücklegen, das eine Wiederholungsrate (WI) gleich 1 sichert. Das Ziehen mit Zurücklegen beim ZoZ-ZmZ ermöglicht ab Stufe 2 die wiederholte Auswahl von Einheiten (d.h. $WI > 1$), die einen reduzierten mittleren Beitrag zum Zeitaufwand jeder zusätzlichen Sekundäreinheit verursacht. Je größer m desto größer ist WI und desto kleiner ist der Beitrag der zusätzlichen Sekundäreinheiten zum Zeitaufwand (Abbildungen 7.26 und 7.27; Tabelle C.14 im Anhang C). Das selbe Resultat ist beim klassischen RBS-Verfahren mit der Vergrößerung des Stichprobenumfangs n zu beobachten (Abbildungen 7.26 und 7.27 rechts; Tabelle C.15).

Die Wiederholungsrate ist ein wichtiger Faktor für alle partiellen Zeitaufwände außer dem Zeitaufwand an den Primäreinheiten beim ZoZ-ZmZ. Beim ZoZ-ZmZ für ein bestimmtes optimales m_o ist der Zeitaufwand an den Primäreinheiten unabhängig von den Stichprobenumfängen n und m ein konstanter Wert. Der Zeitaufwand zur Entnahme des restlichen Pfades (d.h. alle Segmente ab Stufe 2) ist sowohl unabhängig von n als auch von m_o . Sein abnehmender Zuwachs mit der Vergrößerung des Stichprobenumfangs m ist die Folge der gleichzeitig wachsenden Wiederholungsrate. Beim klassischen RBS-Verfahren werden alle Zeitaufwände von der Wiederholungsrate beeinflusst. Obwohl sich beim klassischen RBS-Verfahren eine größere Wiederholungsrate am Baum mit Hauptstamm als am Baum ohne Hauptstamm ergibt (s. Tabelle C.14), ist die Arbeit am Baum mit Hauptstamm zeitaufwändiger als am Baum ohne Hauptstamm. Dies liegt an der höheren Anzahl von Segmenten je Pfad am Baum mit Hauptstamm. Die Wiederholungsrate größer als 1, die sich immer beim ZmZ und beim ZoZ-ZmZ mit $m>1$ ergibt, bedeutet, dass der Stichprobenumfang m beim ZoZ-ZmZ und der Stichprobenumfang n beim ZmZ nur nominelle Werte sind. In der Praxis werden immer weniger Einheiten gemessen.

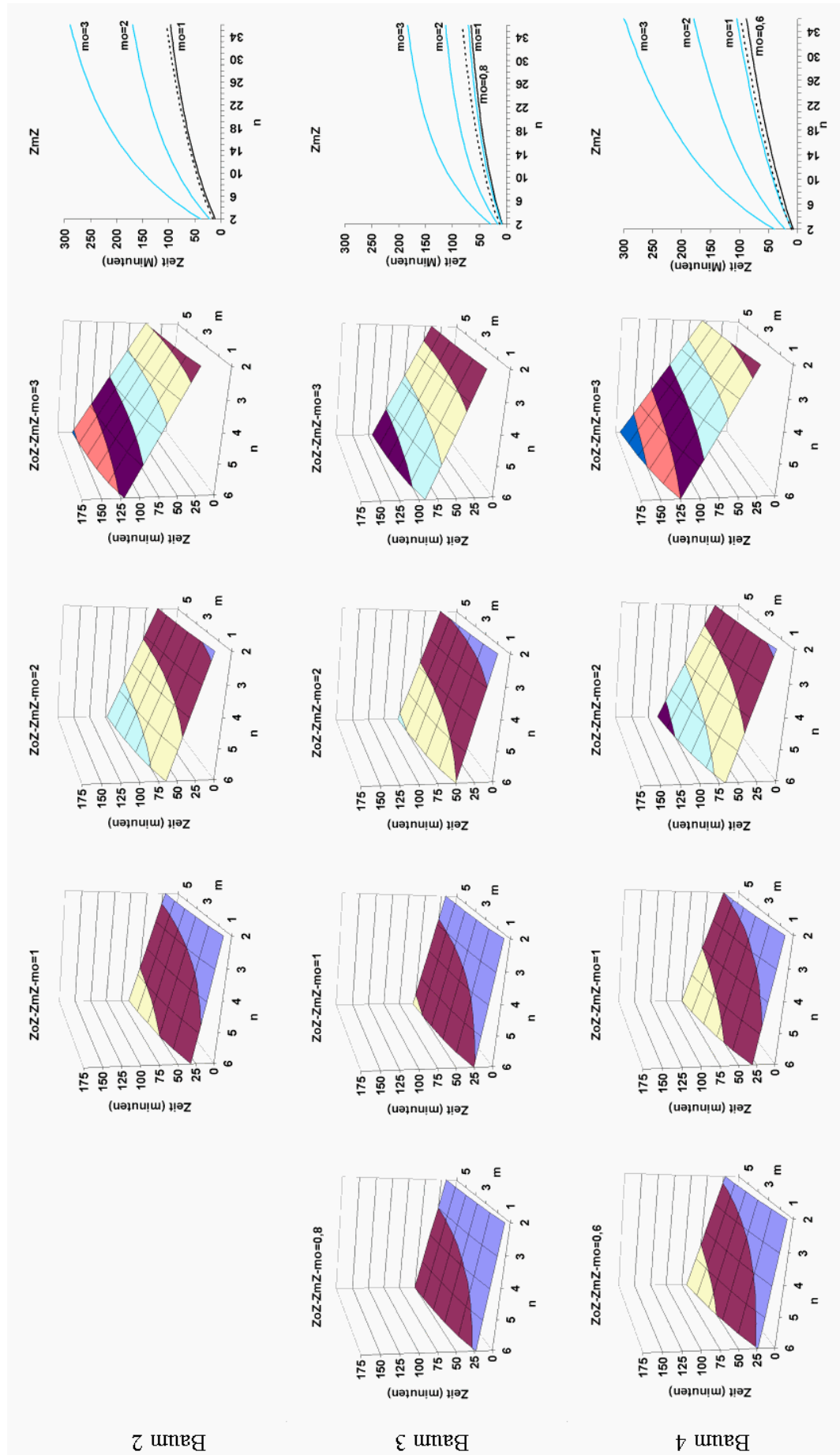


Abb. 7.26: Zeitaufwand für das ZoZ-ZmZ (links) und das klassische RBS-Verfahren (rechts) unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen und optimalen Sekundärstichprobenumfängen an Bäumen ohne Hauptstamm. Die gestrichelte schwarze Linie (rechts) repräsentiert den Zeitaufwand für das klassische RBS-Verfahren angewandt am Baum mit Hauptstamm (Spezies: Vogelbeere; Hilfsgröße: Querschnitt).

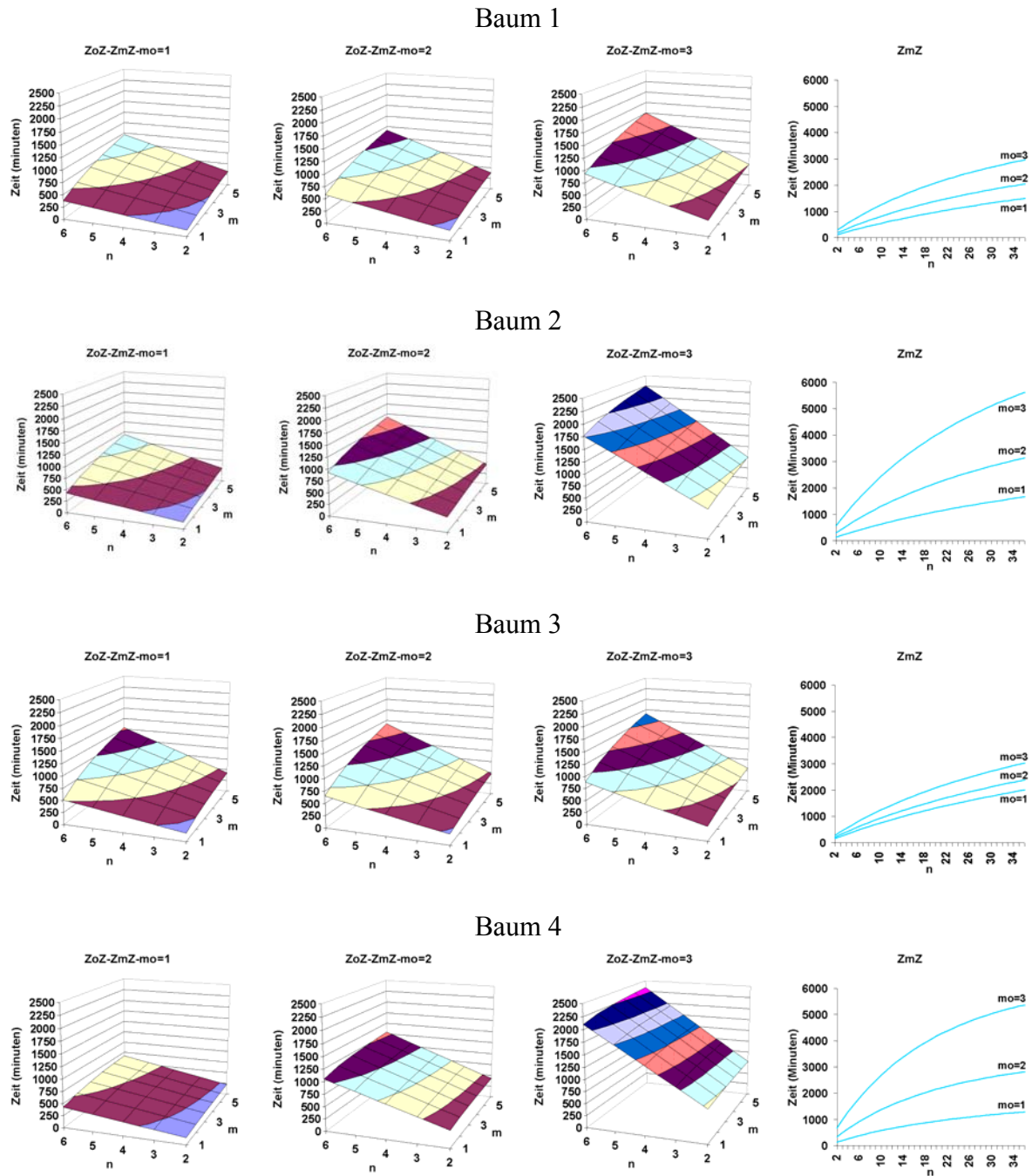


Abb. 7.27: Zeitaufwand für das ZoZ-ZmZ (links) und das klassische RBS-Verfahren (rechts) unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen und optimalen Sekundärstichprobenumfängen an Bäumen ohne Hauptstamm (Spezies: Fichte; Hilfsgröße: Querschnitt).

Die Größe des optimalen m (m_o) wirkt direkt auf den Zeitaufwand. Je größer das optimale m desto größer ist der Zeitaufwand, sowohl für das ZoZ-ZmZ als auch für das ZmZ. Obwohl das ein logisches Resultat ist, da höhere Werte von m_o durch größere Zeiten (Kosten) an den Primäreinheiten verursacht werden, ist es wichtig für den Vergleich, der hier durchgeführt wird. Da die Erhöhung des Zeitaufwandes aufgrund der Vergrößerung des m_o beim

klassischen RBS-Verfahren größer ist als beim ZoZ-ZmZ, wird die Anwendung des ZmZ mit der Vergrößerung des m_o wenig effektiv.

Ein anderer Effekt der Vergrößerung von m_o beim ZoZ-ZmZ ist die Veränderung der Abhängigkeit zwischen n und m für einen festen Zeitaufwand (z.B. 25 Minuten an den Vogelbeeren). Wenn m_o größer wird, werden mehrere Sekundäreinheiten den selben Effekt auf den Zeitaufwand haben wie eine Primäreinheit.

Die Größenordnung des Effekts des Sekundärstichprobenumfangs auf den Zeitaufwand variiert zwischen den Bäumen (Abbildungen 7.26 und 7.27). Diese Variabilität hängt möglicherweise von der Anzahl der Segmente je Pfad ab. Die kleineren Unterschiede zwischen den Zeitaufwänden der unterschiedlichen optimalen Sekundärstichprobenumfänge, die beim klassischen RBS-Verfahren an den Fichten mit den kleineren Verhältnisse $Var1/VarY$ zu beobachten sind (Abbildung 7.27, rechts), ist eine Folge der Vergrößerung der Zeit an den Primäreinheiten zur Erzeugung der Werte von m_o (s. oben).

Die Größenordnung des Effekts des Sekundärstichprobenumfangs auf den Standardfehler der Zielgröße hängt zweifellos vom Verhältnis $Var1/VarY$ ab. Besonders groß ist die Verringerung des Standardfehlers, die der Stichprobenumfang $m=2$ im Vergleich zu $m=1$ verursacht (Abbildungen 7.28 und 7.29; Tabelle C.14 im Anhang C). Die Vergrößerung des Stichprobenumfangs von $m=1$ zu $m=2$ bei einem Stichprobenumfang $n=6$ produziert an den Fichten eine Verringerung des Standardfehlers von 16,4% (Baum 4) bis zu 27,2% (Baum 3). Bei den Vogelbeeren liegt die Verringerung zwischen 20,9% (Baum 2) und 23,4% (Baum 3). Je kleiner das Verhältnis $Var1/VarY$ desto größer ist der Effekt von m auf den Standardfehler.

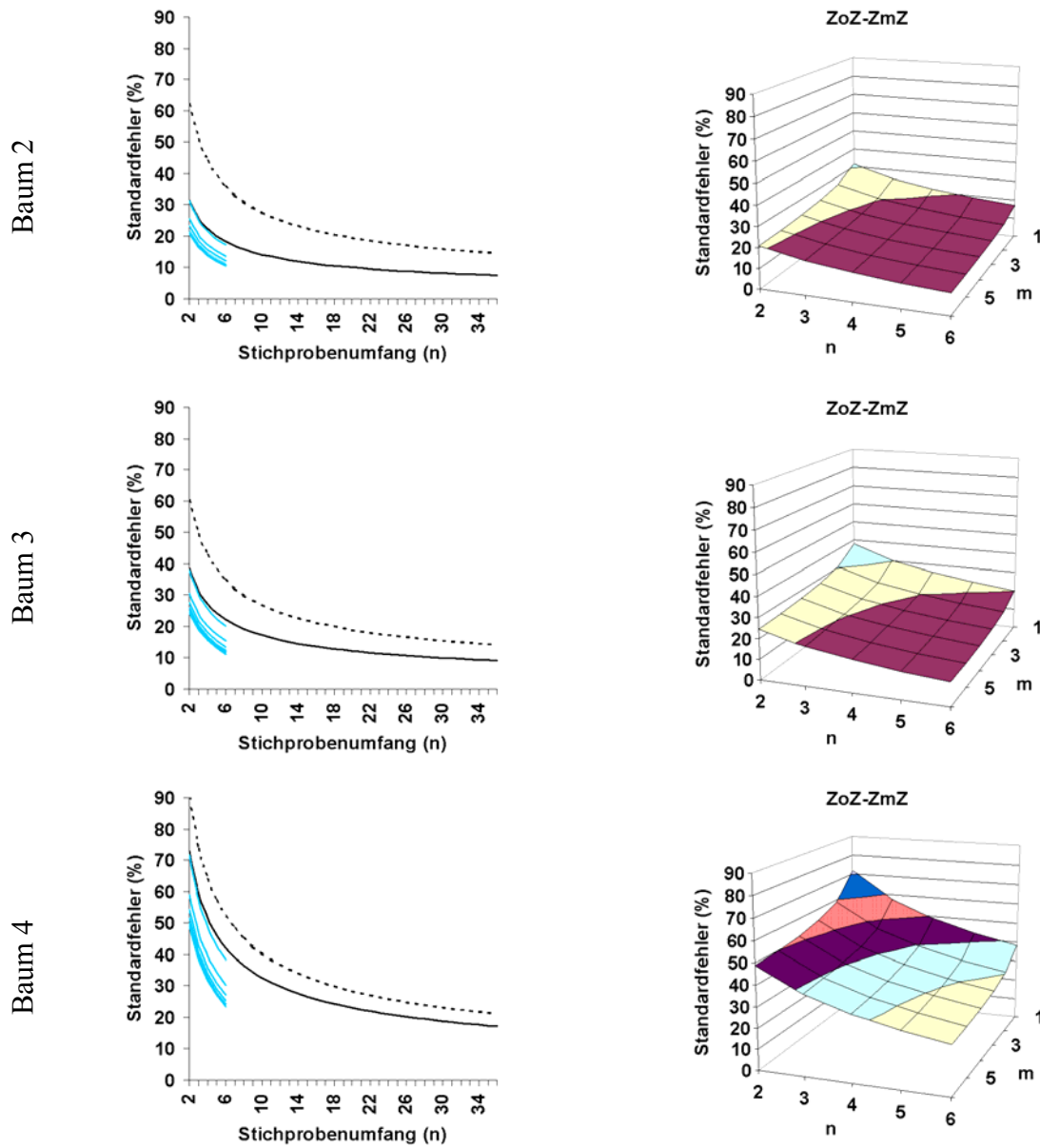


Abb. 7.28: Standardfehler für das klassische RBS-Verfahren (ZmZ) und das ZoZ-ZmZ unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen an Bäumen ohne Hauptstamm. Die schwarzen Linien links signalisieren das ZmZ am Baum ohne (durchgezogene) und mit Hauptstamm (gestrichelte). Die hellblauen Linien signalisieren unterschiedliche Sekundärstichprobenumfänge für das ZoZ-ZmZ ($m=1$: oberste; $m=6$: unterste) am Baum ohne Hauptstamm (Spezies: Vogelbeere; Hilfsgröße: Querschnitt).

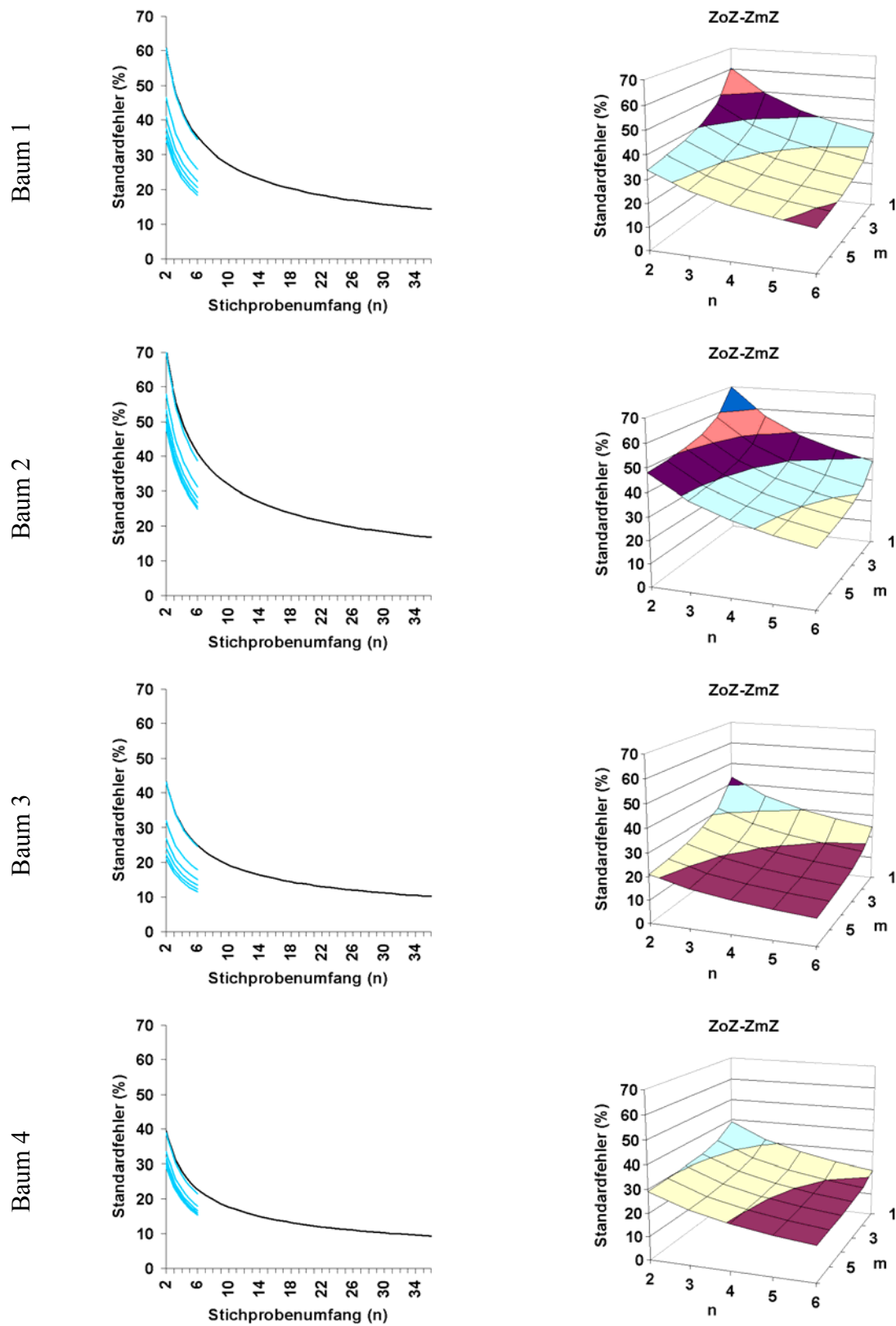


Abb. 7.29: Standardfehler für das klassische RBS-Verfahren (ZmZ) und das ZoZ-ZmZ unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen an Bäumen ohne Hauptstamm. Die schwarze Linie links repräsentiert das ZmZ. Die hellblauen Linien repräsentieren unterschiedliche Sekundärstichprobenumfänge für das ZoZ-ZmZ ($m=1$: oberste; $m=6$: unterste; Spezies: Fichte; Hilfsgröße: Querschnitt).

Sowohl der Zeitaufwand als auch der Standardfehler werden von den Stichprobenumfängen n und m beeinflusst. Von beiden Größen wirkt n stärker als m (d.h. $|\partial(\text{StdF})/\partial n| > |\partial(\text{StdF})/\partial m|$ und $|\partial(\text{Zeit})/\partial n| > |\partial(\text{Zeit})/\partial m|$), außer wenn $\text{Var}I=0$ bzw. $k_1=0$. Die Vergrößerung des Zeitaufwandes aufgrund der Vergrößerung der Zahl entnommener Pfade von 4 auf 12 möge diese Aussage verdeutlichen. Das Verhältnis der Vergrößerung des Zeitaufwandes wegen der Erhöhung von $m=2$ auf $m=6$ (mit $n=2$) zu der Vergrößerung des Zeitaufwandes wegen der Erhöhung von $n=2$ auf $n=6$ (mit $m=2$) bewegt sich zwischen 0,43 (Baum 4) und 0,57 (Baum 1) an den Fichten und zwischen 0,50 (Baum 2) und 0,61 (Baum 4) an den Vogelbeeren. Dieses Verhältnis verringert sich mit der Vergrößerung des optimalen Sekundärstichprobenumfangs (m_o). Das Verhältnis der Verringerung des Standardfehlers wegen der selben Veränderung von m und n schwankt zwischen 0,28 (Baum 4) und 0,78 (Baum 3) an den Fichten und zwischen 0,36 (Baum 4) und 0,41 (Baum 3) an den Vogelbeeren. Je kleiner das Verhältnis $\text{Var}I/\text{Var}Y$ desto größer ist der Effekt von m auf den Standardfehler (Abbildungen 7.27 und 7.28; Tabelle C.14 im Anhang C).

Die Erlangung eines bestimmten Präzisionsniveaus durch das klassische RBS-Verfahren ist meistens zeitaufwändiger als mit ZoZ-ZmZ. Nur mit $m = 1$ ist ZoZ-ZmZ oft zeitaufwändiger als das klassische RBS-Verfahren. In diesen Fällen ist die Erlangung eines bestimmten Präzisionsniveaus durch das klassische RBS-Verfahren bis zu 5% billiger (Abbildungen 7.30 und 7.31). Wenn $m > 1$ Sekundäreinheiten genommen werden, wird die Erlangung eines bestimmten Präzisionsniveaus durch das klassische RBS-Verfahren deutlich zeitaufwändiger als durch ZoZ-ZmZ. Im allgemeinen gilt: je größer m desto aufwändiger wird das klassische RBS-Verfahren im Vergleich zu ZoZ-ZmZ. Dies ist eindeutig, wenn der optimale Sekundärstichprobenumfang m_o große Werte erreicht. Also könnte m_o als ein Anzeiger der Unwirksamkeit des klassischen RBS-Verfahrens berücksichtigt werden. Z.B. ist bei $m_o=3$ das klassische RBS-Verfahren an den Vogelbeeren bis zu 60% und an den Fichten bis zu 93% zeitaufwändiger als ZoZ-ZmZ. Je kleiner das Verhältnis $\text{Var}I/\text{Var}Y$ desto größer ist der Vorteil des ZoZ.

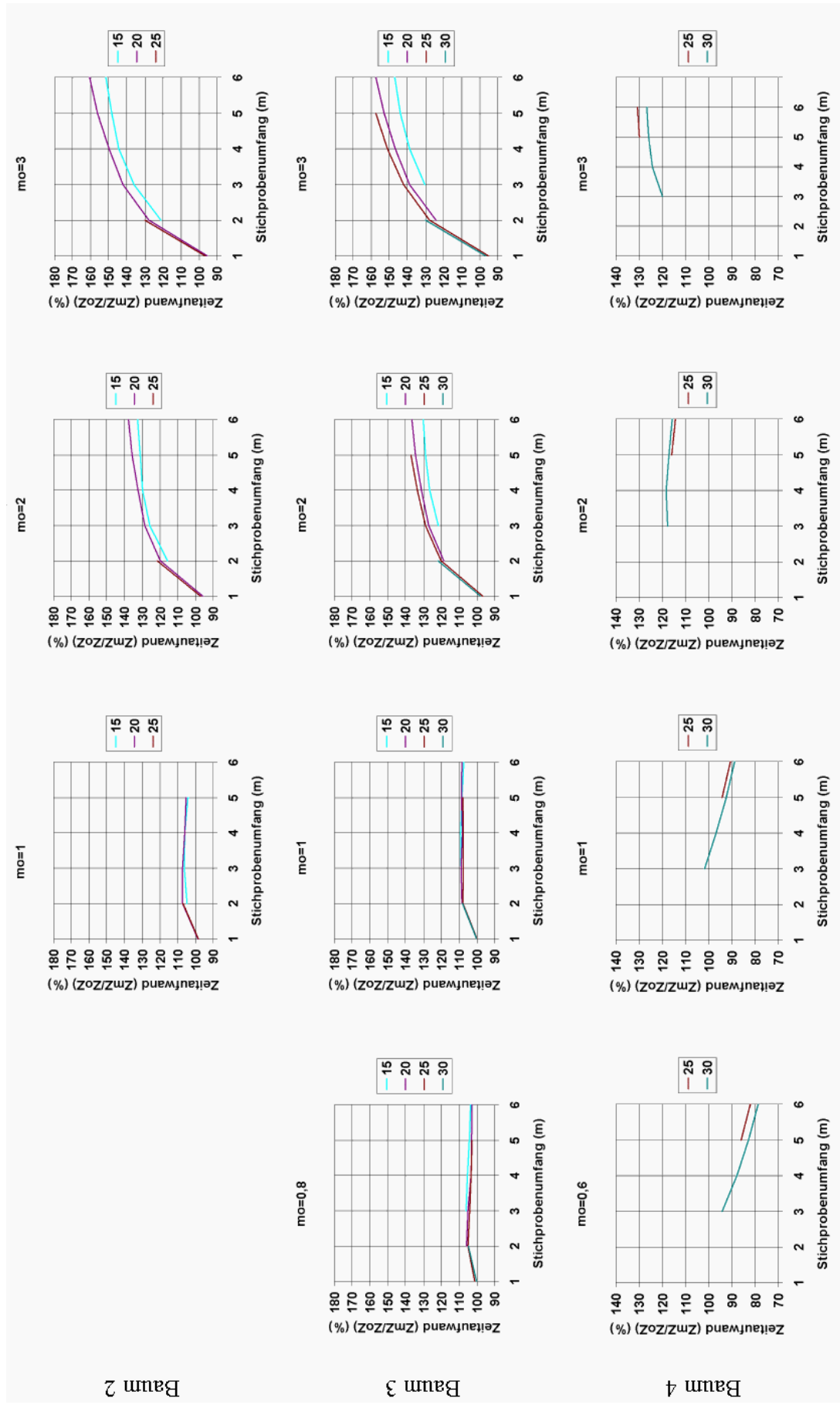


Abb. 7.30: Verhältnis der Zeitaufwände des klassischen RBS-Verfahrens (mit $m=1$) zu ZoZ-ZmZ unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen und Präzisionsniveaus (Standardfehler gleich 15% usw.) an Bäumen ohne Hauptstamm (Spezies: Vogelbeere; Hilfsgröße: Querschnitt).

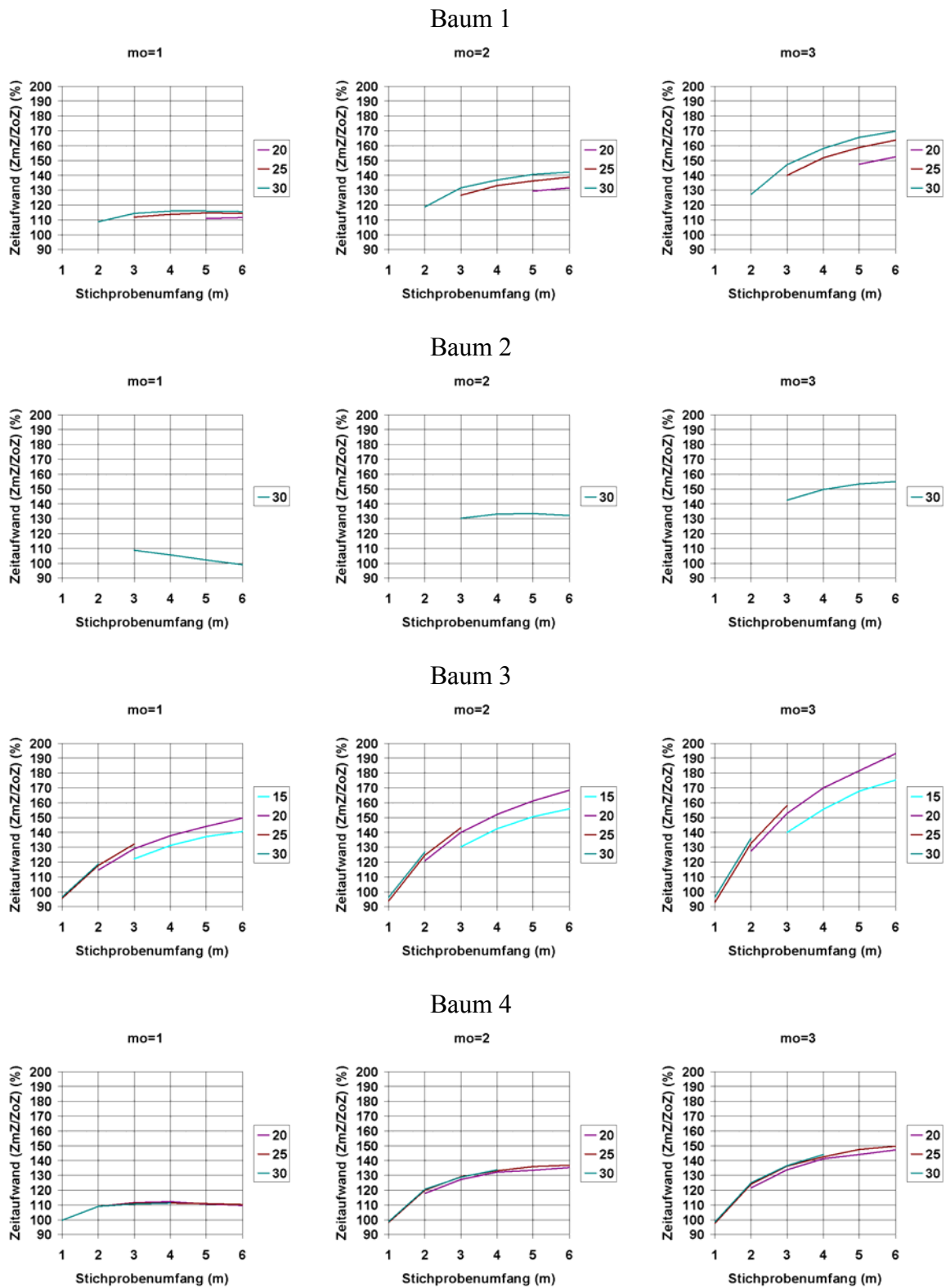


Abb. 7.31: Verhältnis der Zeitaufwände des klassischen RBS-Verfahrens (mit $m=1$) zu ZoZ-ZmZ unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen und Präzisionsniveaus (Standardfehler gleich 15% usw.) an Bäumen ohne Hauptstamm (Spezies: Fichte; Hilfsgröße: Querschnitt).

Die große Verringerung des Standardfehlers, die der Stichprobenumfang $m=2$ im Vergleich zu $m=1$ verursacht, im Zusammenhang mit der wenig zeitaufwändigen Inklusion der zweiten Sekundäreinheit in die Stichprobe beim ZoZ-ZmZ, impliziert einen großen Zeitvorteil des ZoZ-ZmZ gegenüber dem klassischen RBS-Verfahren. Der Wert $m=2$ kann als optimaler Wert für mindestens drei der Bäume in der Analyse (Vogelbeeren 2 und 3 und Fichte 2) bezeichnet werden. Wenn m_o größer wird, wird der optimale Wert von m im allgemeinen größer. Trotzdem weist der Wert $m=2$ auch dort einen großen Vorteil gegenüber $m=1$ auf.

Außer an einer Vogelbeere (Baum 4) wird das klassische RBS-Verfahren für ein bestimmtes Präzisionsniveau zeitaufwändiger als das ZoZ-ZmZ (mit $m>1$). Der Vorteil des ZoZ-ZmZ wird größer, wenn der optimale Sekundärstichprobenumfang m_o größer wird. Größere Werte von m_o werden erreicht, wenn relativ viel Zeit zur Entnahme der Hilfsgröße an den Primäreinheiten verbraucht wird. In der gegenwärtigen Zeitstudie im Feld wurde die Entnahme der Hilfsgröße am Baum ohne das Löschen des Hauptstammes durchgeführt. Das wurde so gemacht, weil die Bäume klein waren. Zur Arbeit an großen Bäumen könnte daran gedacht werden, die Äste (Primäreinheiten) vor der Messung abzuschneiden und abzuräumen. Dieser große notwendige Zeitaufwand an den Primäreinheiten würde ein großes m_o verursachen. Unter solche Bedingungen wird die Anwendung des ZoZ-ZmZ im Vergleich zum klassischen RBS-Verfahren zweifellos vorteilhafter. Aber auch sonst führen die langen Wege entlang des Stammes zu großen k_1 und m_o .

In allgemeinen kann man für ein bestimmtes Präzisionsniveau eine zeitaufwändigere Entnahme durch das klassische RBS-Verfahren als durch ZoZ-ZmZ erwarten. Dies scheint außer für die Vogelbeere 4 bei allen Bäumen der Fall zu sein. An diesem Baum wird zumindest für $m=0,6$ (der gegenwärtige Baum ohne Hauptstamm) die Entnahme durch das ZoZ-ZmZ zeitaufwändiger als durch das klassische RBS-Verfahren sein. Obwohl der Wert $m=0,6$ für den gegenwärtigen Baum ohne Hauptstamm sehr klein ist und deshalb als Anzeiger von Vorteilen für die Anwendung des klassischen RBS-Verfahrens erkannt wird, liegt indestens Teil des Vorteils an der Proportion von Primäreinheiten ohne Zielgröße und an deren Wahrscheinlichkeitsverteilung. Der Baum besitzt nämlich einen hohen Anteil an Primäreinheiten ohne Zielgröße, die wegen ihrer größeren Durchmesser eine höhere Auswahlwahrscheinlichkeit als die Einheiten mit Zielgröße bekommen (Abbildung 7.32). Wegen des Ziehens mit Zurücklegen werden diese Einheiten häufiger durch das klassische RBS-Verfahrens als durch das ZoZ-ZmZ ausgewählt. Deshalb erscheint das klassische RBS-

Verfahren sparsamer als das ZoZ-ZmZ zu sein. Wenn alle Primäreinheiten Zielgrößenwerte hätten, wäre das klassische RBS-Verfahren mindestens für $m=3$ zeitaufwändiger als das ZoZ-ZmZ (Abbildung 7.33). Da diese Einheiten keine Zielgröße bringen, gibt es keinen Grund zu ihrer Entnahme und könnten sie vom Baum gelöscht werden. Unter diesen Umständen wird sowohl das klassische RBS-Verfahren als auch das ZoZ-ZmZ schneller durchgeführt. Insgesamt wird jedoch das ZoZ schneller als das klassische RBS-Verfahren sein. Der Faktor, der hier analysiert wurde, erscheint als ein weiterer Schlüssel zum Löschen von Segmenten. Größere Segmente zusammen mit Primärsegmenten, die keine Zielgröße besitzen, sollten gelöscht werden.

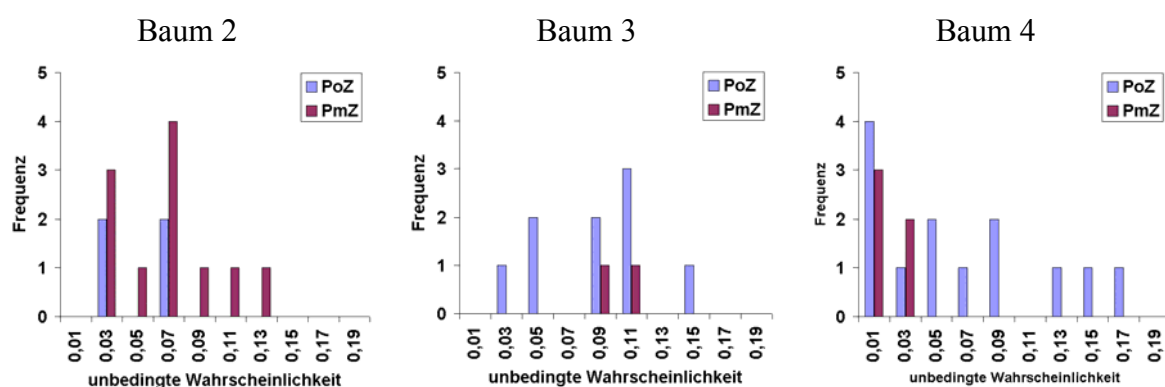


Abb. 7.32: Verteilung der Segmente mit (PmZ) und ohne Zielgröße (PoZ) am ersten Knoten am Baum (Spezies: Vogelbeere; Hilfsgröße: Querschnitt).

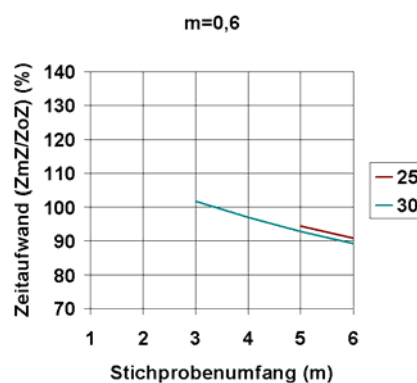


Abb. 7.33: Hypothetisches Verhältnis des Zeitaufwandes des klassischen RBS-Verfahrens zu ZoZ-ZmZ unter unterschiedlichen Stichprobenumfängen und Präzisionsniveaus an Bäumen ohne Hauptstamm, wenn alle Primäreinheiten Zielgröße hätten. Zur Erlangung des Zeitaufwandes ohne Veränderung am Standardfehler wurden winzige Zielgrößenwerte an allen Primäreinheiten, die keine Zielgröße hatten, angenommen (Spezies: Vogelbeere; Hilfsgröße: Querschnitt; v. Abbildung 7.31, unten links)

Der hier betrachtete Vergleich wurde am unstratifizierten Baum realisiert. Da am stratifizierten Baum bezüglich Präzision ein größerer Vorteil des ZoZ-ZmZ im Vergleich zum klassischen RBS-Verfahren als am unstratifizierten Baum zu erwarten ist (s. Kapitel 7.3.2), sollte am

stratifizierten Baum das klassische RBS-Verfahren noch zeitaufwändiger als ZoZ-ZmZ werden.

Beim klassischen RBS-Verfahren ist die Erlangung einer bestimmten Präzision am Baum mit Hauptstamm deutlich zeitaufwändiger als am Baum ohne Hauptstamm. Der Vorteil verringert sich, wenn eine hohe Präzision angestrebt wird (Abbildung 7.34). Dies liegt an der großen Anzahl von Pfaden, die für eine hohe Präzision notwendig ist. Diese große Anzahl verursacht eine hohe wiederholte Auswahl von Einheiten. Am Baum mit Hauptstamm werden wiederholte Einheiten häufiger als am Baum ohne Hauptstamm ausgewählt, besonders am ersten Knoten, der viel weniger Segmente am Baum mit Hauptstamm als am Baum ohne Hauptstamm besitzt.

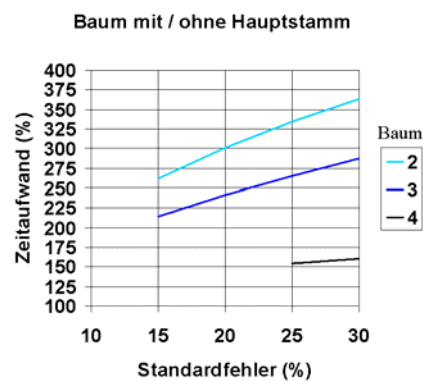


Abb. 7.34: Verhältnis des Zeitaufwandes des klassischen RBS-Verfahrens am Baum mit Hauptstamm zum Baum ohne Hauptstamm unter unterschiedlichen Präzisionsniveaus (Spezies: Vogelbeere; Hilfsgröße: Querschnitt).

Zusammenfassung

Das RBS (*Randomized Branch Sampling*) ist ein mehrstufiges Stichprobenverfahren, das die natürliche Verzweigung innerhalb eines Baumes benutzt, um schrittweise Stichproben zu nehmen, mit dem Ziel, eine oder mehrere Zielgrößen am Baum zu schätzen. Zur Zeit sind drei Varianten des RBS-Verfahrens vorhanden, welche die Auswahl mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten und das Ziehen mit Zurücklegen allein oder in Kombination mit Ziehen ohne Zurücklegen anwenden. Die erste Variante entspricht dem klassischen RBS-Verfahren, das von Jessen (1955) entwickelt wurde. Gemäß dieser Methode zieht man n Einheiten mit Zurücklegen auf Stufe 1 (ZmZ) und je eine Einheit auf den folgenden Stufen. Saborowski und Gaffrey (1999) wandten das Ziehen ohne Zurücklegen (ZoZ) entweder auf der ersten oder auf der zweiten Stufe an und entwickelten daraus zwei neue Varianten des RBS-Verfahrens. Diese Varianten erfordern die Auswahl von mindestens zwei Einheiten auf der Stufe, die oberhalb der Stufe liegt, wo das ZoZ angewandt wird, um eine Schätzung der Varianz der Zielgröße zu ermöglichen.

In der gegenwärtigen Arbeit wird ein Vergleich zwischen dem klassischen RBS und dem ZoZ (auf der ersten Stufe) durchgeführt. Außerdem werden die Wirkungen der Wahl der Hilfsgröße und speziell des Löschens von Segmenten und der Stratifizierung der Baumkrone auf die Varianz des Schätzers analysiert. Dazu wurde ein Computerprogramm, das die Aufnahme von Stichproben sowohl mit dem klassischen als auch mit dem modifizierten RBS-Verfahren erlaubt, entwickelt. Möglichkeiten zur Simulation von RBS-Stichproben, zur Analyse von unterschiedlichen Hilfsgrößen und des Einflusses des Löschens von Segmenten, sowie der Stratifizierung auf die Präzision des Schätzers sind auch darin eingerichtet. In der Analyse wurden Daten von vollständig gemessenen Bäumen von drei Spezies, nämlich Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.) und Kiefer (*Pinus radiata* D. Don) sowie Zeitaufwände aus einer im Feld durchgeführten Zeitstudie benutzt.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Wahl der Hilfsgröße sowohl die Präzision des Schätzers als auch die Verteilung der Stichproben innerhalb der Baumkrone beeinflusst. Jede Hilfsgröße produziert eine Menge von Auswahlwahrscheinlichkeiten, die eine bestimmte Beziehung zur Zielgröße haben. Je mehr diese Beziehung zwischen der Zielgröße und den unbedingten Wahrscheinlichkeiten sich einer Gerade durch den Nullpunkt annähert desto präziser erwies sich die Schätzung der Zielgröße und desto besser ist die Verteilung der

Stichproben entlang des Hauptstammes. Die kleinsten Varianzen wurden mit dem Durchmesser der Segmente hoch 2,0 (Fichten) bis 2,55 (Vogelbeere) als Hilfsgröße erreicht.

Die Stratifizierung der Baumkrone zusammen mit dem Löschen von Segmenten führt zu deutlicher Verbesserung der Präzision der Schätzung in Abhängigkeit von Spezies, Baum, Zielgröße, Teilungsstelle und Anzahl von Straten am Baum. An den Bäumen geteilt in zwei Straten liegt die Verringerung des Variationskoeffizienten zwischen 10% (Vogelbeere) und 80% (alte Kiefer) gegenüber dem von unstratifizierten Bäumen. An den Bäumen geteilt in drei Straten erreicht die Verringerung des Variationskoeffizienten zwischen 50% (Vogelbeere) und 85% (alte Kiefer).

Die Erlangung eines bestimmten Präzisionsniveaus durch das klassische RBS-Verfahren ist meistens zeitaufwändiger als mit ZoZ-ZmZ. Nur mit dem Sekundärstichprobenumfang $m = 1$ ist ZoZ-ZmZ oft zeitaufwändiger als das klassische RBS-Verfahren. In diesen Fällen ist die Erlangung eines bestimmten Präzisionsniveaus durch das klassische RBS-Verfahren bis zu 5% billiger. Wenn beim ZoZ-ZmZ $m > 1$ Sekundäreinheiten genommen werden, wird die Erlangung eines vergleichbaren Präzisionsniveaus durch das klassische RBS-Verfahren deutlich zeitaufwändiger als durch ZoZ-ZmZ. Im allgemeinen gilt: je größer m desto aufwändiger wird das klassische RBS-Verfahren im Vergleich zu ZoZ-ZmZ. Je kleiner das Verhältnis der Varianz zwischen den Primäreinheiten zu der gesamten Varianz der Zielgröße desto größer ist der Vorteil des ZoZ.

Die große Verringerung des Standardfehlers, die der Stichprobenumfang $m = 2$ im Vergleich zu $m = 1$ verursacht, im Zusammenhang mit der wenig zeitaufwändigen Inklusion der zweiten Sekundäreinheit in die Stichprobe beim ZoZ-ZmZ, impliziert einen großen Zeitvorteil des ZoZ-ZmZ gegenüber dem klassischen RBS-Verfahren.

Der hier betrachtete Vergleich wurde am unstratifizierten Baum ohne Hauptstamm realisiert. Da am stratifizierten Baum bezüglich Präzision ein größerer Vorteil des ZoZ-ZmZ im Vergleich zum klassischen RBS-Verfahren als am unstratifizierten Baum zu erwarten ist, sollte am stratifizierten Baum das klassische RBS-Verfahren noch zeitaufwändiger als ZoZ-ZmZ werden.

Summary

Randomized Branch Sampling (RBS) is a multistage sampling procedure, which uses the natural branching of a tree in order to take samples for estimating one or several characteristics of the tree. The three variants of the RBS method that exist at present use unequal probabilities of selection, and selection with replacement alone or in combination with selection without replacement. The first variant corresponds to the conventional RBS-method, which was developed by Jessen (1955). In accordance with this method n units are selected with replacement at stage 1 (wr) and one unit each at the following stages. Saborowski and Gaffrey (1999) used selection without replacement (wor) either at the first or at the second stage and developed two new variants of the RBS method. These variants require the selection of at least two units at the stage following the stage where selection is without replacement, enabling an estimation of the variance of the estimate.

In the present work a comparison of the conventional RBS and the variant with selection wor at the first stage is accomplished. In addition, the effects of the choice of the auxiliary variable, the deletion of segments, and the stratification of the tree crown on the variance of the estimate are analysed. A computer program, which allows for the selection of samples both by the conventional and by the modified RBS methods, was developed. Possibilities for the simulation of RBS samples, for the analysis of different auxiliary variables, and the influence of elimination of segments, as well as the stratification on the precision of the estimate are also implemented in the program. In the analysis, data of completely measured trees of three species were used, that is, norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), european mountain-ash (*Sorbus aucuparia* L.) and monterey pine (*Pinus radiata* D. Don), as well as time estimations from a time study carried out in the field.

The results show clearly that the choice of the auxiliary variable affects both the precision of the estimation and the distribution of the samples within the tree crown. Each auxiliary variable produces a set of selection probabilities, which has a certain relationship with the target variable. The more the relationship between the target variable and the selection probabilities approximates a straight line through the origin the more precise the estimate of the target variable and the better the distribution of the samples along the main stem is. The smallest variances were achieved with the diameter of the segments to the power of 2.0 (norway spruce) up to 2.55 (european mountain-ash) as an auxiliary variable.

The stratification of the tree crown as well as the elimination of segments leads to clear improvement of the precision of the estimate depending on species, tree, target variable, and definition and number of strata at the tree. At the trees divided into two strata the decrease of the coefficient of variation of the estimate lies between 10% (european mountain-ash) and 80% (old pine) compared with that from unstratified trees. At the trees divided into three strata, the decrease of the coefficient of variation reaches between 50% (european mountain-ash) and 85% (old pine).

Obtaining a certain precision level with the conventional RBS method is mostly more time-consuming than with the variant with selection wor on the first stage. Only with the secondary sample size $m = 1$ the variant with selection wor at the first stage is often more time-consuming than the conventional RBS. In these cases obtaining a certain precision level is up to 5% cheaper with the conventional RBS. When $m > 1$ secondary units are taken with the wor sampling at the first stage, obtaining a certain precision level becomes clearly more time-consuming by the conventional RBS than by the variant with selection wor at the first stage. In general, the larger m the more expensive the conventional RBS becomes compared with the variant with selection wor at the first stage. For example, for the variant with selection wor at the first stage, the sample size $m = 2$ causes a large decrease of the standard error compared with $m = 1$. This, in connection with the short time-spent for an inclusion of the second secondary unit in the sample, implies a large time advantage of this variant compared with the conventional RBS. The smaller the ratio of the variance between the primary units to the entire variance of the estimate the larger is the advantage of the variant with selection wor at the first stage.

The advantage mentioned above, observed in unstratified trees without main stem, should be greater in stratified trees where an even higher gain of precision of selection wor compared to the conventional RBS was observed.

Resumen

El muestreo aleatorizado de ramas (*Randomized Branch Sampling*: RBS) es un procedimiento de muestreo multietápico, que utiliza la ramificación natural dentro de la copa de un árbol para seleccionar muestras con el fin de estimar una o más características del árbol. Las tres variantes del método RBS que existen actualmente utilizan probabilidades de selección variables y selección con reemplazo, sola o en conjunto con selección sin reemplazo de unidades. La primera variante corresponde al RBS convencional, que fue desarrollado por Jessen (1955). De acuerdo con este método, n unidades se seleccionan con reemplazo en la etapa 1 (w_r) y una unidad en cada una de las etapas siguientes. Saborowski y de Gaffrey (1999) introdujeron la selección sin reemplazo en la primera o en la segunda etapa y desarrollaron así dos nuevas variantes del método RBS. Estas variantes requieren la selección de por lo menos dos unidades en la etapa que sigue a la etapa donde se utiliza la selección sin reemplazo, para hacer posible una estimación de la varianza del estimador.

En el trabajo actual se realiza una comparación entre el RBS convencional y la variante con selección sin reemplazo en la primera etapa. También se analizan los efectos de la elección de la variable auxiliar y particularmente de la eliminación de segmentos y de la estratificación de la copa del árbol sobre la varianza del estimador. Se confeccionó un programa computacional, que permite la selección de muestras con el RBS convencional y con los métodos modificados. El programa posibilita también la simulación de muestras RBS, el análisis de diversas variables auxiliares, así como la influencia de la eliminación de segmentos y de la estratificación en la precisión del estimador. En el análisis se utilizaron datos de árboles completamente medidos de las especies *Picea abies* (L.) Karst., *Sorbus aucuparia* L y *Pinus radiata* D. Don, junto con estimaciones de tiempo de un estudio de tiempos realizado en terreno.

Los resultados demuestran claramente que la elección de la variable auxiliar afecta tanto la precisión del estimador como la distribución de las muestras dentro de la copa del árbol. Cada variable auxiliar produce un conjunto de probabilidades de selección, cuya relación con la variable a estimar determina la precisión del estimador. Mientras la relación entre la variable a estimar y las probabilidades de selección más se aproxima a una línea recta a través del origen, más exacta es la estimación y mejor es la distribución de la muestra a lo largo del fuste principal. Las variaciones más pequeñas fueron alcanzadas con el diámetro de los segmentos elevado a un exponente entre 2,0 (*P. abies*) y 2,55 (*S. aucuparia*) como variable auxiliar.

La estratificación de la copa del árbol junto con la eliminación de segmentos gruesos (fuste principal) produce un claro aumento de la precisión del estimador, dependiendo de la especie, del árbol, variable a estimar, punto de división en el fuste y del número de estratos en el árbol. En los árboles divididos en dos estratos, la disminución del coeficiente de variación de la variable a estimar fue entre 10% (*S. aucuparia*) y 80% (*P. radiata*) comparado con el de árboles no estratificados. En los árboles divididos en tres estratos, la disminución del coeficiente de variación alcanzó entre 50% (*S. aucuparia*) y 85% (*P. radiata*).

La obtención de cierto nivel de precisión con el método RBS convencional requiere por lo general más tiempo que la variante con selección sin reposición en la primera etapa. Sólomente con el tamaño de muestra secundario $m = 1$ consume esta variante más tiempo que el RBS convencional. En ese caso, la obtención de cierto nivel de precisión es hasta 5% más rápida con el RBS convencional. Cuando se toman $m > 1$ unidades secundarias, la obtención de cierto nivel de precisión con el RBS convencional requiere claramente más tiempo que con la variante con selección sin reemplazo en la primera etapa. Mientras más grande es m , más lento es el RBS convencional en comparación con la variante con selección sin reposición en la primera etapa. Mientras más pequeño es el cociente entre la varianza entre las unidades primarias y la varianza total del estimador mayor es la ventaja de la variante con selección sin reposición en la primera etapa.

La fuerte disminución del error estándar que produce el tamaño de muestra secundaria $m = 2$ en comparación a $m = 1$, en conjunto con el pequeño tiempo adicional que implica la incorporación de la segunda unidad secundaria, en la muestra con la variante con selección sin reposición en la primera etapa, genera una ventaja grande en tiempo de esta variante comparado con el RBS convencional.

La comparación presentada aquí fue realizada en árboles no estratificados y sin el fuste principal. Puesto que en árboles estratificados se logran con la variante con selección sin reposición en la primera etapa aún mayores ventajas en cuanto a precisión comparado con el RBS convencional, puede esperarse que el RBS convencional sea todavía más lento en árboles estratificados que la variante con selección sin reposición en la primera etapa.

Literatur

- Brewer, K.R.W. and Hanif, M. 1970: Durbin's new multistage variance estimator. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 32: 302-311.
- Cochran, W.G. 1977: *Sampling techniques*. Wiley, New York.
- Durbin, J. 1953: Some results in sampling theory when the units are selected with unequal probabilities. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 15: 262-269.
- Durbin, J. 1967: Design of multi-stage surveys for the estimation of sampling errors. *Applied Statistics* 16 (2):152-164.
- Fellegi, I.P. 1963: Sampling with varying probabilities without replacement: Rotating and non-rotating samples. *Journal of the American Statistical Association* 58: 183-201.
- Gaffrey, D. und Saborowski, J. 1999: RBS, ein mehrstufiges Inventurverfahren zur Schätzung von Baummerkmalen. I. Schätzung von Nadel- und Asttrockenmassen bei 66-jährigen Douglasien. *AFJZ* 170 (10/11): 177-183.
- Good, M., Paterson, M., Brack, C., and Mengersen, K. 2001: Estimating tree component biomass using variable probability sampling methods. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 6(2): 258-267.
- Gregoire, T.G., Valentine, H.T. and Furnival, G.M. 1995: Sampling methods to estimate foliage and other characteristics of individual trees. *Ecology* 76(4): 1181-1194.
- Grosenbaugh, L.R. 1967: The gains from sample-tree selection with unequal probabilities. *Journal of Forestry*: 202-206.
- Grundy, P.M. 1954: A method of sampling with probability exactly proportional to size. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 16: 236-238.
- Hartley, H.O. and Rao, J.N.K. 1962: Sampling with unequal probabilities and without replacement. *Annals of Mathematical Statistics* 33: 350-374.
- Horvitz, D.G and Thompson, D.J. 1952: A generalisation of sampling without replacement from a finite universe. *Journal of the American Statistical Association* 47: 663-685.
- Jessen, R.J. 1955: Determining the fruit count on a tree by randomized branch sampling. *Biometrics* 11: 99-109.
- Mundson, A., Smith, K., Horvath, R., Ruel, J-C., Ung, C.-H. and Bernier, P. 1999: Does harvesting (CPRS) mimic fire? Verifying for black spruce forests in central Québec. *Project Report 1999-11.16p*.
- Parresol, B.R. 1999: Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons *For. Sci.* 45(4):573-593.
- Rao, J.N.K. 1975: Unbiased variance estimation for multistage designs. *Sankhya C* 37: 133-139.

- Raulier, F., Bernier, P., and Ung, C.-H. 1999: Canopy photosynthesis of sugar maple (*Acer saccharum*): comparing big-leaf and multilayer extrapolations of leaf-level measurements. *Tree Physiology* 19: 407-420.
- Saborowski, J. 1990: Schätzung von Varianzen und Konfidenzintervallen aus mehrstufigen Stichproben. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Bd. 99.
- Saborowski, J. und Gaffrey, D. 1999: RBS, ein mehrstufiges Inventurverfahren zur Schätzung von Baummerkmalen. II. Modifizierte RBS-Verfahren. *AFJZ* 170(12): 223-227.
- Sampford, M. R. 1967: On sampling without replacement with unequal probabilities of selection. *Biometrika* 54(3/4): 499-513.
- Shinozaki, K.K., Yoda, K., Hozumi, K. and Kira T. 1964a: A quantitative analysis of plant form - the pipe model theory. I. Basic analyses. *Jap. J. Ecol.* 14: 97-105.
- Shinozaki, K.K., Yoda, K., Hozumi, K. and Kira T. 1964b: A quantitative analysis of plant form - the pipe model theory. II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *Jap. J. Ecol.* 14: 133-139.
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Montagu, K., Bi, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Burrows, W., and Eamus, D. 2001: Protocol for sampling tree and stand biomass. *National Carbon Accounting System Technical Report No. 31*. 114p.
- Stevens, W.L. 1958: Sampling without replacement with probability proportional to size. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 20: 393-397.
- Valentine, H.T. and Hilton, S.J. 1977: Sampling oak foliage by the randomized-branch method. *Can. J. For. Res.* 7: 295-298.
- Valentine, H.T., Baldwin, Jr. V.C. Gregoire, T.G., and Burkhart, H.E. 1994: Surrogates for foliar dry matter in loblolly pine. *For. Sci.* 40: 576-585.
- Valentine, H.T., Tritton, L.M. and Furnival, G.M. 1984: Subsampling trees for biomass, volume, or mineral content. *For. Sci.* 30(3): 673-681.
- Williams, R.A. 1989: Use of randomized branch and importance sampling to estimate loblolly pine biomass. *South. J. Appl. For.* 13(4): 181-184.
- Xiao, Q., McPherson, G., Ustin, S., Grismer, M. and Simpson, J. 2000: Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes* 14:763-784.
- Yates, F. and Grundy, P.M. 1953: Selection without replacement from within strata with probability proportional to size. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 15: 253-261.

Anhang A. Formelsammlung für die RBS-Methoden⁷

A.1 Grundlegende Bezeichnungen

Im folgenden seien

$$y = \sum_{i=1}^N y_i, y_i = \sum_{j=1}^{M_i} y_{ij}, y_{ij} = \sum_{l=1}^{K_{ij}} y_{ijl}$$

die wahre Zielgröße *insgesamt*, von *Primäreinheit i*, bzw. von *Sekundäreinheit j* in *Primäreinheit i*. Es gibt also N Primäreinheiten, M_i Sekundäreinheiten in der i -ten Primäreinheit und schließlich K_{ij} Tertiäreinheiten in Sekundäreinheit j von Primäreinheit i . Diese Darstellung kann in naheliegender Weise auf mehr als drei Stufen erweitert werden. Entsprechend seien

$$Y, Y_i, Y_{ij}$$

die zugehörigen Schätzer, die hier noch nicht näher präzisiert werden müssen.

A.2 Zufallsauswahl mit Zurücklegen und ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten auf allen Stufen

Hier werden die bekannten *ppz*-Stichproben sowie das darauf aufbauende klassische RBS-Verfahren erläutert.

A.2.1 Allgemeine mehrstufige *ppz*-Stichproben

Es seien

$$q_i, q_{ij}, q_{ijl}$$

die bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten für die entsprechenden Primär-, Sekundär- und Tertiäreinheiten. Wird nun auf allen Stufen zufällig mit Zurücklegen und proportional zu den bedingten Auswahlwahrscheinlichkeiten gezogen (*ppz-sampling*), mit Stichprobenumfängen n , m_i und k_{ij} , so ergibt sich nach Rao (1975; s. Cochran 1977, S.307) der erwartungstreue Schätzer Y

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} \quad \text{mit} \quad Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \quad \text{und} \quad Y_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \quad \text{usw.} \quad [\text{A.1}]$$

⁷ Siehe auch Saborowski und Gaffrey 1999.

für y mit der Varianz (Rao 1975; Cochran 1977, Formel (11.33))

$$VarY = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i}{q_i} - y \right)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{q_i}, \quad [A.2]$$

wobei $Var_2 Y_i$ die bedingte Varianz von Y_i bei gegebener Stichprobenauswahl auf der ersten Stufe ist. Ein erwartungstreuer Schätzer für $Var Y$ ist (Formel (11.35) in Cochran 1977)

$$V = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{q_i} - Y \right)^2 \quad [A.3]$$

Beweis: Für $n=1$ und die Gewichtsfunktion L_i / q_i (L_i ist 0-1-Zufallsgröße) mit $EL_i = q_i$ ist $\sum_{i=1}^N L_i \frac{Y_i}{q_i}$ nach

Rao (1975) ein erwartungstreuer Schätzer für y mit der Varianz

$$Var \sum_{i=1}^N L_i \frac{y_i}{q_i} + \sum_{i=1}^N E \left(\frac{L_i}{q_i} \right)^2 Var_2 Y_i = \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i}{q_i} - y \right)^2 + \sum_{i=1}^N \frac{1}{q_i} Var_2 Y_i$$

Das Gleichheitszeichen gilt wegen Cochran (1977, 9A.8) und $EL_i^2 = EL_i$. Wegen des Ziehens mit Zurücklegen auf der ersten Stufe ist dann auch [A.1] erwartungstreu mit der Varianz [A.2]. Der Varianzschätzer [A.3] ergibt sich dann mit demselben Argument wie in Cochran (1977, S.307).

A.2.2 Klassisches RBS

Im Fall des klassischen RBS ist n beliebig vorgegeben und $m_i = k_{ij} = \dots = 1$, d.h. zu jedem primären Astsegment (Primäreinheit) wird auf allen folgenden Stufen immer nur je ein Astsegment ausgewählt. Ein weiterer Unterschied zu den üblichen mehrstufigen Stichprobenverfahren ist, dass die Merkmalswerte (z.B. Nadel- oder Biomassen) nicht nur mit den Elementareinheiten, d.h. den Einheiten auf der letzten Stufe verbunden sind, sondern auch mit den Segmenten übergeordneter Stufen. Wir bezeichnen deshalb zunächst die Merkmalswerte des Stammes und der Astsegmente mit

$$f, f_i, f_{ij}, f_{ijl}, \text{ usw.}$$

und mit

$$F, F_i, F_{ij}, F_{ijl}, \text{ usw.}$$

die totalen Merkmalssummen ausgehend vom Stamm, von Segment i , bzw. von Segment ij oder ijl , einschließlich aller auf diese Segmente folgenden Astsegmente der nachfolgenden Stufen, z.B. im Fall einer dreistufigen Auswahl

$$F_i = f_i + \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} = f_i + \sum_{j=1}^{M_i} \left(f_{ij} + \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right)$$

F_i entspricht hier also y_i , F_{ij} y_{ij} und f_{ijl} y_{ijl} . Ein erwartungstreuer Schätzer für diese zu Segment i gehörige Merkmalssumme ist dann

$$Y_i = f_i + \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} = f_i + \frac{f_{ij} + Y_{ijl}/q_{ijl}}{q_{ij}} = f_i + \frac{f_{ij}}{q_{ij}} + \frac{f_{ijl}}{q_{ij}q_{ijl}}$$

Im Falle $n = 1$ wäre demnach $f + Y_i / q_i$ und im allgemeinen Fall

$$Y = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{q_i} + \frac{f_{ij}}{q_i q_{ij}} + \frac{f_{ijl}}{q_i q_{ij} q_{ijl}} \right) \quad [\text{A.4}]$$

ein erwartungstreuer Schätzer für die gesamte Merkmalssumme $y = F = f + \sum_{i=1}^N F_i$.

Nach den Formeln [A.2] und [A.3] ist die Varianz durch

$$\text{Var}Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{F_i}{q_i} - \sum_{i=1}^N F_i \right)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{\text{Var}_2 Y_i}{q_i} \quad [\text{A.5}]$$

mit

$$\text{Var}_2 Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{q_{ij}} - \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} \right)^2 + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} \frac{\text{Var}_3 Y_{ij}}{q_{ij}} \quad [\text{A.6}]$$

$$\text{und } \text{Var}_3 Y_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{K_{ij}} q_{ijl} \left(\frac{f_{ijl}}{q_{ijl}} - \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right)^2$$

und der Varianzschätzer einfach durch

$$V = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} \right)^2 \quad [\text{A.7}]$$

gegeben. Alternativ kann die Varianz [A.5] auch kürzer durch

$$\text{Var}Y = \text{Var}\left(f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i}\right) = \frac{1}{n} \cdot \text{Var} \frac{Y_i}{q_i} = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^{N_p} \left(\frac{Y_p}{q_p} - \sum_{i=1}^N F_i\right)^2 \cdot Q_{R(p)} \quad [\text{A.8}]$$

(mit $Q_{R(p)} = q_{i(p)} \cdot q_{i(p)j(p)} \cdot q_{i(p)j(p)l(p)}$ für $R(p) = 3$) angegeben werden. Dabei ist

$$N_p = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} K_{ij} > N$$

A.3 Zufallsauswahl mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten auf allen Stufen — ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit Zurücklegen auf allen folgenden

Hier werden zunächst die allgemeinen Formeln für Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe mit gegebener Aufnahmewahrscheinlichkeit π_i (für eine Aufnahme der Einheit i in die Stichprobe) sowie festem Stichprobenumfang n behandelt und anschließend auf die in der Kapitelüberschrift genannte, neue RBS-Methode übertragen. Für die Auswahl auf der ersten Stufe wird auf Sampford (1967) verwiesen. Seine Auswahlverfahren erlauben die Berechnung von π_i und auch von $\pi_{ii'}$ (Wahrscheinlichkeit für die gemeinsame Aufnahme der Einheiten i und i' in die Stichprobe). π_i ist dabei proportional zur bedingten Auswahlwahrscheinlichkeit q_i , d.h.

$$\pi_i = n \cdot q_i$$

Die Folge des Ziehens ohne Zurücklegen ist, dass auf der nächsten Stufe mindestens zwei Segmente ausgewählt werden müssen, also $m_i \geq 2$, um eine Varianzschätzung zu ermöglichen. Mit $m_i = 1$ kann zwar nach wie vor y geschätzt, jedoch nicht der zugehörige Stichprobenfehler. Außerdem muss sicher gestellt sein, dass $nq_i < 1$ ist.

A.3.1 Mehrstufige Stichproben, Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe

Mit den Bezeichnungen des vorangegangenen Kapitels erhält man die Schätzer

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{\pi_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} \quad \text{mit} \quad Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \quad \text{und} \quad Y_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \quad \text{usw.} \quad [\text{A.9}]$$

wobei Y_i und Y_{ij} wieder *ppz*-Schätzer sind (mit Zurücklegen). Die Varianz ist dann nach Theorem 11.1 und 9A.42 in Cochran (1977)

$$VarY = \sum_{i=1}^N \sum_{i'>i}^N (\pi_i \pi_{i'} - \pi_{ii'}) \left(\frac{y_i}{\pi_i} - \frac{y_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{\pi_i}. \quad [A.10]$$

Sie wird erwartungstreu geschätzt durch

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{i'>i}^n \left(\frac{\pi_i \pi_{i'} - \pi_{ii'}}{\pi_{ii'}} \right) \left(\frac{Y_i}{\pi_i} - \frac{Y_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{\pi_i}, \quad [A.11]$$

wobei V_i ein erwartungstreuer Schätzer der Varianz von Y_i sein muss.

A.3.2 RBS mit Ziehen ohne Zurücklegen auf der ersten Stufe

Mit den Bezeichnungen von Kapitel A.2.2 gilt hier

$$Y_i = f_i + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} = f_i + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ij} + Y_{ijl} / q_{ijl}}{q_{ij}} = f_i + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ij}}{q_{ij}} + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ijl}}{q_{ij} q_{ijl}},$$

d.h. auf der zweiten Stufe können $m_i \geq 1$ Segmente ausgewählt werden, während auf der dritten und allen folgenden nur je 1 Segment gewählt wird. Daraus ergibt sich dann der Schätzer

$$Y = f + \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{\pi_i} = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{q_i} + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ij}}{q_i q_{ij}} + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{f_{ijl}}{q_i q_{ij} q_{ijl}} \right) \quad [A.12]$$

mit der Varianz

$$VarY = \sum_{i=1}^N \sum_{i'>i}^N (\pi_i \pi_{i'} - \pi_{ii'}) \left(\frac{F_i}{\pi_i} - \frac{F_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \frac{Var_2 Y_i}{\pi_i} \quad [A.13]$$

$$Var_2 Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} q_{ij} \left(\frac{F_{ij}}{q_{ij}} - \sum_{j=1}^{M_i} F_{ij} \right)^2 + \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{M_i} \frac{Var_3 Y_{ij}}{q_{ij}} \quad \text{und} \quad Var_3 Y_{ij} = \sum_{l=1}^{K_{ij}} q_{ijl} \left(\frac{f_{ijl}}{q_{ijl}} - \sum_{l=1}^{K_{ij}} f_{ijl} \right)^2$$

Bis auf die beiden Faktoren $1/m_i$ in der Varianz von Y_i , die im Fall der Auswahl von mehr als einem Segment auf Stufe 2 von Bedeutung sind, entspricht dies den Formeln [A.6].

Die Varianzschätzung erfolgt nach [A.11] und [A.7] erwartungstreu durch

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{i'>i}^n \left(\frac{\pi_i \pi_{i'} - \pi_{ii'}}{\pi_{ii'}} \right) \left(\frac{Y_i}{\pi_i} - \frac{Y_{i'}}{\pi_{i'}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{\pi_i} \quad \text{mit } V_i = \frac{1}{m_i(m_i-1)} \sum_{j=1}^{m_i} \left(\frac{Y_{ij}}{q_{ij}} - \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \right)^2 \quad [\text{A.14}]$$

A.4 Zufallsauswahl mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten auf allen Stufen — mit Zurücklegen auf Stufe 1, ohne Zurücklegen auf Stufe 2 und mit Zurücklegen auf allen folgenden Stufen

Ab Stufe 2 entspricht dieses Verfahren demjenigen aus Kapitel A.3.1, so dass wichtige Ergebnisse von dort übernommen werden können. Wenn eine primäre Stichprobeneinheit i mehrfach (t_i -mal) gezogen wird, so wird bei einem vorgesehenen Stichprobenumfang m_i der zweiten Stufe eine Stichprobe vom Umfang $t_i m_i$ ohne Zurücklegen ausgewählt.

A.4.1 Grundlagen

Mit der Gewichtsfunktion $W_i(S) = \frac{T_i}{nq_i}$ und dem Schätzer

$$Y_i = \frac{1}{T_i m_i} \sum_{j=1}^{T_i m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \quad [\text{A.15}]$$

der zweiten Stufe ergibt sich der Schätzer für die Gesamtsumme

$$Y = \sum_{i=1}^N W_i(S) Y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} Y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \frac{1}{T_i m_i} \sum_{j=1}^{T_i m_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}}. \quad [\text{A.16}]$$

Hierin ist S die Stichprobe und T_i gibt an, wie oft die Primäreinheit i in dieser Stichprobe auftritt. Für nicht ausgewählte Einheiten ist $T_i=0$.

Dieser Schätzer ist nach Rao (1975) erwartungstreu für y , denn T_i besitzt eine $B(n, q_i)$ -Verteilung, so dass

$$EW_i(S) = \sum_{s \in \mathcal{S}} w_i(s) P(s) = \sum_{j=0}^n \frac{j}{nq_i} P(T_i = j) = \frac{1}{nq_i} EB(n, q_i) = 1.$$

Nach Rao (1975) gilt

$$Var Y = Var \sum_{i=1}^N W_i(S) y_i + E \sum_{i=1}^N W_i^2(S) \cdot Var(Y_i | S) \quad [\text{A.17}]$$

Der erste Summand in [A.17] läßt sich sofort präzisieren, da es sich um die Varianz eines einfachen ppz -Schätzers handelt. Es ist

$$\text{Var} \sum_{i=1}^N W_i(S) y_i = \text{Var} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{y_i}{q_i} - y \right)^2$$

mit den zugehörigen Schätzer

$$V_y = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^N T_i \left(\frac{Y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} Y_i \right)^2 \quad [\text{A.18}]$$

oder in der üblichen Kurzform

$$V_y = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{q_i} \right)^2$$

Der zweite Summand in [A.17] ist leider etwas komplizierter. Zunächst ist

$$\text{Var}(Y_i|S) = \sum_{j=1}^{M_i} \sum_{j'>j}^{M_i} \left(\pi_{j|i} \pi_{j'|i} - \pi_{jj'|i} \right) \cdot \left(\frac{Y_{ij}}{\pi_{j|i}} - \frac{Y_{ij'}}{\pi_{j'|i}} \right)^2 + \sum_{j=1}^{M_i} \frac{\text{Var}_3 Y_{ij}}{\pi_{j|i}},$$

denn ab der zweiten Stufe handelt es sich um dasselbe Stichprobenverfahren, wie es bereits in Kapitel A.3.1 behandelt wurde. Formel [A.10] kann daher nach formalen Anpassungen übernommen werden, und es gilt

$$\pi_{j|i} = T_i m_i q_{ij}.$$

Dagegen ist der Ausdruck für $\pi_{jj'|i}$ nach Sampford (1967) sehr komplex (für n ist dort $T_i m_i$ einzusetzen), so dass sich die Berechnung des Erwartungswertes in [A.17] sehr schwierig gestaltet und hier ausgelassen wird.

Einen Schätzer der Varianz [A.17] erhält man jedoch sehr viel einfacher. Formel [A.18] läßt sich nämlich durch Ausrechnen des Quadrates zu

$$V_y = \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{q_i^2} - \frac{1}{n} \frac{T_i^2}{q_i^2} \right) y_i^2 - \frac{2}{n} \sum_{i'>i}^N \frac{T_i T_{i'}}{q_i q_{i'}} y_i y_{i'} \right) \quad [\text{A.19}]$$

umformen. Mit

$$B_i(S) := \frac{1}{n(n-1)} \left(\frac{T_i}{q_i^2} - \frac{1}{n} \frac{T_i^2}{q_i^2} \right)$$

ist dann nach Rao (1975) (siehe Saborowski (1990, Satz 2))

$$\begin{aligned}
V &= \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^N T_i \left(\frac{Y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i Y_i}{q_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^N (W_i^2(S) - B_i(S)) V_i \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^N T_i \left(\frac{Y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i Y_i}{q_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^N \frac{T_i^2 - T_i}{q_i^2} V_i \right)
\end{aligned} \tag{A.20}$$

ein erwartungstreuer Schätzer für die Varianz [A.17]. Hierin steht V_i wieder für einen ebenfalls erwartungstreuen Schätzer der bedingten Varianz von Y_i zu gegebener Stichprobe S auf der ersten Stufe.

Beweis zu [A.19]:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^N T_i \left(\frac{y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N \frac{T_j}{q_j} y_j \right)^2 &= \sum_{i=1}^N T_i \left(\frac{y_i}{q_i} \right)^2 - \frac{2}{n} \left(\sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} y_i \right)^2 + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^N T_i \left(\sum_{j=1}^N \frac{T_j}{q_j} y_j \right)^2 \\
&= \sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{q_i^2} - \frac{1}{n} \frac{T_i^2}{q_i^2} \right) y_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{q_i} y_i \right)^2 - \frac{2}{n} \sum_{i \neq j} \frac{T_i T_j}{q_i q_j} y_i y_j + \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^N \frac{T_j}{q_j} y_j \right)^2 \\
&= \sum_{i=1}^N \left(\frac{T_i}{q_i^2} - \frac{1}{n} \frac{T_i^2}{q_i^2} \right) y_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i' \neq i} \frac{T_i T_{i'}}{q_i q_{i'}} y_i y_{i'}
\end{aligned}$$

Beweis zu [A.20]:

$$W_i^2(S) - B_i(S) = \left(\frac{T_i}{n q_i} \right)^2 - \frac{1}{n(n-1)} \left(\frac{T_i}{q_i^2} - \frac{1}{n} \frac{T_i^2}{q_i^2} \right) = \frac{1}{n(n-1)} \frac{T_i^2 - T_i}{q_i^2}$$

A.4.2 RBS mit Ziehen ohne Zurücklegen auf der zweiten Stufe

Bei dieser Variante des RBS ziehen wir zunächst n Segmente der ersten Stufe zufällig mit Zurücklegen und Auswahlwahrscheinlichkeiten q_i . Wir erhalten so eine Realisierung $\vec{T}(s) = (t_1, \dots, t_N)$. Auf der zweiten Stufe werden dann an jedem ausgewählten Segment genau t_i Segmente ohne Zurücklegen mit Aufnahmewahrscheinlichkeiten $t_i q_{ij}$ in die Stichprobe aufgenommen (d.h. $m_i = 1$). Auf der dritten Stufe ist wieder $k_{ij} \geq 2$ notwendig, wenn eine Varianzschätzung erfolgen soll. Sonst kann man sich dort wie auch auf allen folgenden Stufen wieder auf den Stichprobenumfang 1 sowie Ziehen mit Zurücklegen mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten beschränken.

Nach Kapitel A.4.1 ergeben sich dafür die Schätzer (hier 4 Stufen)

$$\begin{aligned}
Y &= f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} Y_i = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{Y_{ij}}{q_{ij}} \right) = f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{1}{q_{ij}} \left(f_{ij} + \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \right) \right) \\
&= f + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} \left(f_i + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} \frac{1}{q_{ij}} \left(f_{ij} + \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{1}{q_{ijl}} \left(f_{ijl} + \frac{f_{ijlr}}{q_{ijlr}} \right) \right) \right) \\
V &= \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^N T_i \left(\frac{Y_i}{q_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{q_i} Y_i \right)^2 + \sum_{i=1}^N \frac{T_i^2 - T_i}{q_i^2} V_i \right)
\end{aligned}$$

wobei analog [A.14]

$$V_i = \sum_{j=1}^{T_i} \sum_{j' > j}^{T_i} \left(\frac{\pi_{j|i} \pi_{j'|i} - \pi_{jj'|i}}{\pi_{jj'|i}} \right) \left(\frac{Y_{ij}}{\pi_{j|i}} - \frac{Y_{ij'}}{\pi_{j'|i}} \right)^2 + \sum_{j=1}^{T_i} \frac{V_{ij}}{\pi_{j|i}}$$

und

$$V_{ij} = \frac{1}{k_{ij}(k_{ij}-1)} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \left(\frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} - \frac{1}{k_{ij}} \sum_{l=1}^{k_{ij}} \frac{Y_{ijl}}{q_{ijl}} \right)^2$$

Anhang B. Kurzer Leitfaden des BRANCH-Programms

In diesem Leitfaden wird eine kurze Beschreibung des BRANCH-Programms gegeben. Zuerst werden die unterschiedlichen Menüs des Programms vorgestellt und danach werden kurz einige Operationen mit dem Programm beschrieben.

B.1 Hauptmenü

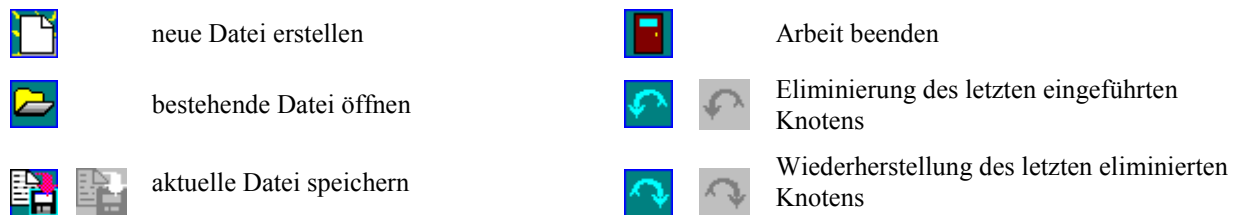
Das Hauptmenü besteht aus drei Menüs. Die Abbildung B.1 zeigt diese drei Themen des Hauptmenüs und die entsprechenden Schalter. Der erste Knopf der letzten Gruppe dient zur Veränderung der Baumkronenstruktur. Die letzten 5 dienen zur Durchführung von Diagnosen. Die Knöpfe, die zur Laufzeit aktiv bleiben, sind farblich dargestellt.



Abb. B.1: Hauptmenü des BRANCH-Programms.

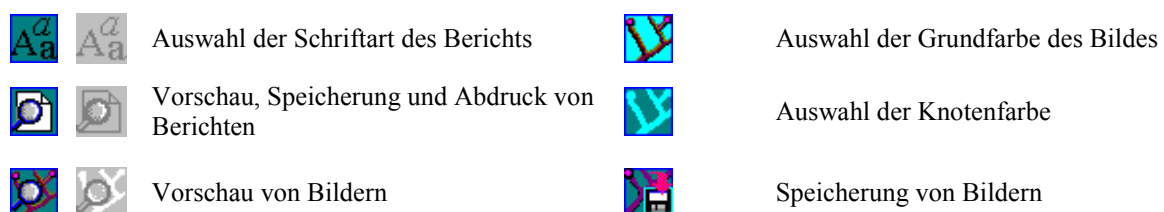
B.1.1 Menü Datei

Das Menü **Datei** erlaubt neue Dateien zu erstellen, bestehende Dateien zu öffnen, die Arbeit zu beenden, sowie die Eliminierung von neu eingeführten Knoten, oder die Wiederherstellung eines gerade eliminierten Knotens, während man mit einer unvollendeten Datei arbeitet. Die folgenden Schalter gehören zu diesem Menü:



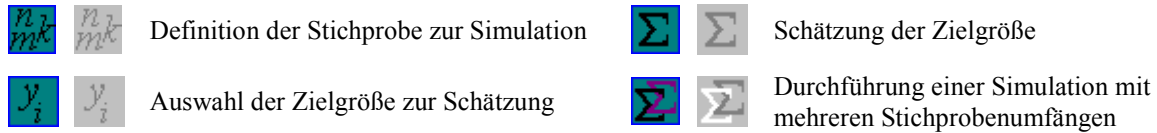
B.1.2 Menü Bericht.

Das Menü **Bericht** erlaubt den Abdruck von Grunddaten, Ergebnissen und Bildern sowie die Speicherung von Berichten und Bildern. Die folgenden Schalter gehören zum diesem Menü:



B.1.3 Menü Schätzung.

Das Menü **Schätzung** erlaubt die Schätzung von Zielgrößen und die Definition des Simulationsszenarios, wenn Daten eines vollständigen Baumes zur Verfügung stehen. Die folgenden Schalter gehören zu diesem Menü:



Durch die Simulation nimmt man Stichproben und berechnet den entsprechenden Schätzer nach unterschiedlichen Stichprobenverfahren an Bäumen, die vollständig gemessen worden sind.


B.1.4 Modifizierung der Baumkrone und Diagnose

Durch das Programm kann auch die Modifizierung der Baumkrone und die Diagnose an vollständig gemessenen Bäumen realisiert werden. Die Diagnose erlaubt die Folgen der Auswahl einer bestimmten Hilfsgröße, der Eliminierung von größeren Segmenten und der Stratifizierung für die Varianz des Schätzers zu erkennen. Die folgenden Schalter sind daran beteiligt:



B.2 Grundlegende Operationen mit BRANCH

B.2.1 Neue Datei erstellen

Um eine neue Datei zu erstellen drückt man den Knopf . Dann erscheint unter dem Hauptmenü die Oberfläche, die in Abbildung B.2 dargestellt wird. Man drückt den Knopf „ändern“ um die Eigenschaften der neuen Datei zu definieren. Nach dem Klicken auf die Pfeilspitze im Feld „Dateiart“ kann man die gewünschte Dateiart durch anklicken auswählen.



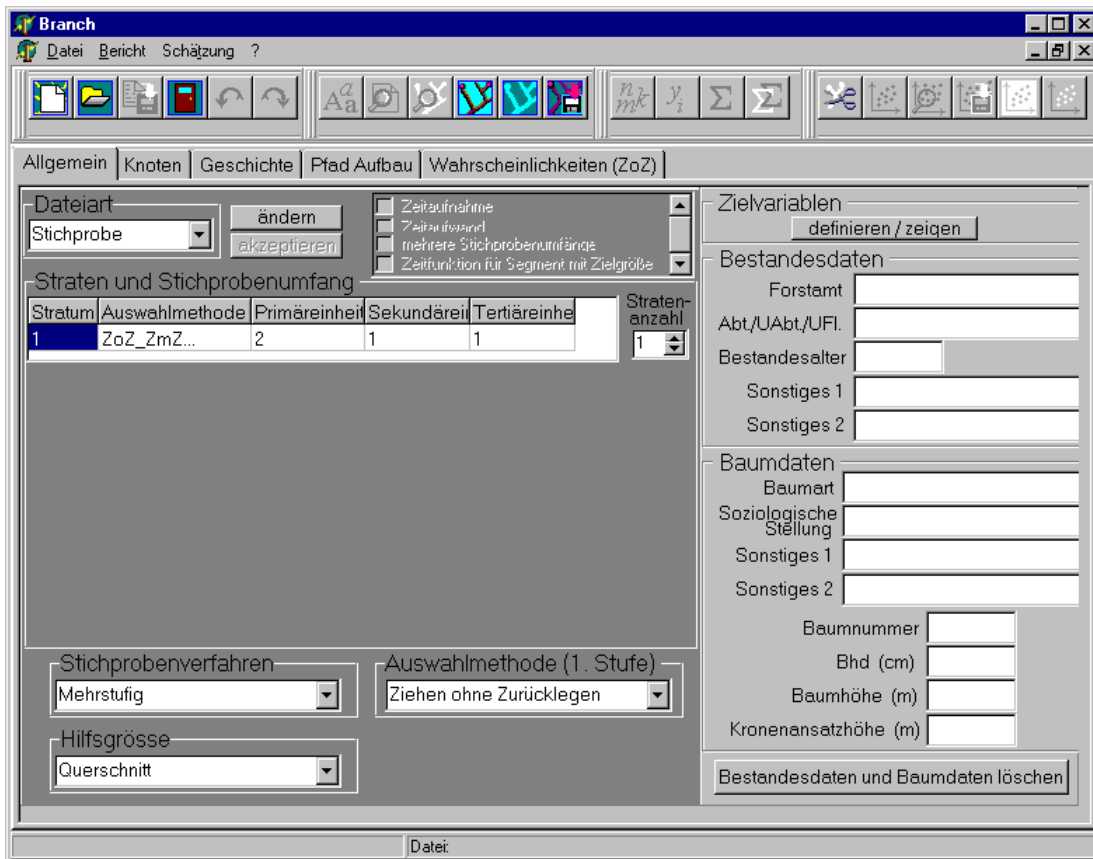
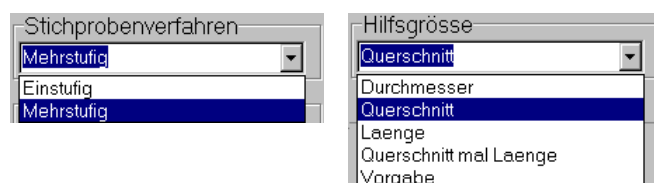


Abb. B.2: Oberfläche zur Definition der Dateieigenschaften.

B.2.1.1 Entnahme einer Stichprobe

Falls man eine Stichprobendatei erstellen will, müssen die Art des Stichprobenverfahrens und die Hilfsgröße definiert werden. Dazu benutzt man die entsprechende Oberfläche. Die Stratenanzahl wird definiert, indem man mit der Maus solange auf die Pfeilspitzen in der Oberfläche unter dem Begriff „Stratenanzahl“ klickt bis die gewünschte Anzahl erscheint.



Danach muss das Stichprobengitter mit den Stichprobenumfängen für jedes Stratum ausgefüllt werden. Für jedes Stratum muss auch die Art des Ziehens definiert werden. Dazu klickt man zuerst mit der Maus innerhalb der Zelle in der Spalte „Auswahlmethode“ und Zeile des entsprechenden Stratums und wählt dann die gewünschte Option im Fenster „Auswahlmethode“ aus.

Stratum	Auswahlmethode	Primäreinheit	Sekundäre	Tertiäreinf
1	ZoZ_ZmZ...	2	1	1
2				
3				

Auswahlmethode (1. Stufe)

Ziehen ohne Zurücklegen

Ziehen ohne Zurücklegen

Ziehen mit Zurücklegen

Klassisches RBS

Unabhängig von der Dateiart muss man entscheiden, ob eine Zeitaufnahme durchgeführt werden soll. Dazu klickt man auf das Kontrollkästchen „Zeitaufnahme“. Wenn dieses markiert ist, wird der Zeitaufwand auf dem Feld automatisch registriert.

Zeitaufnahme

Zeitaufwand

mehrere Stichprobenumfänge

Zeitfunktion für Segment mit Zielgröße

Die Definition von einer oder mehreren Zielgrößen ist unabhängig von der Dateiart. Zur Definition klickt man auf den Knopf **definieren / zeigen**, anschließend auf **hinzufügen**, und schließlich trägt man in die Zelle innerhalb des Gitters in der Spalte „Variablenamen“ den gewünschten Namen ein. Wenn ein weiterer Name hinzugefügt werden soll, wiederholt man dieselbe Prozedur so oft wie nötig. Die letzte hinzugefügte Variable wird durch „löschen“ gelöscht. Das Gitter wird durch „beenden“ geschlossen. Die Definition darf während der Definition des Entnahmeszenarios oder später realisiert werden.

Zielvariablen

definieren / zeigen

hinzufügen	Nr.	Variablenname
<input type="button" value="löschen"/>	1	Biomasse

Allgemein Knoten Gesch

Segmente je Knoten

Knoten Nr	Anz.Segm	Zeit
0	1	

Knoten hinzufügen

Knoten akzeptieren

Segmente auswähler

Pfad beenden

neues Stratum

akustisches Signal

Stoppuhr (Minuten)

Beginnen

Anhalten 00.00

Fortfahren

EndeZeitKnd

Allgemein Knoten Gesch

Segmente je Knoten

Knoten Nr	Anz.Segm	Zeit
0	1	00.00
1	5	

Knoten hinzufügen

Knoten akzeptieren

Segmente auswähler

Pfad beenden

neues Stratum

akustisches Signal

Stoppuhr (Minuten)

Beginnen

Anhalten 00.30

Fortfahren

EndeZeitKnd

Allgemein Knoten Geschichte Pfad Aufbau Wahrscheinlich

Segmente je Knoten

Knoten Nr	Anz.Segm	Zeit
0	1	00.00
1	5	

Angaben der Segmente zur

Knoten	Segment	Durchmesser
1	1	
1	2	
1	3	
1	4	
1	5	

Liste der ausgewählten Segmen

Zeile	Stufe	Knoten	Segment	Code
1	0	0	1	1-000-001

Knoten hinzufügen

Knoten akzeptieren

Segmente auswählen

Pfad beenden

neues Stratum

akustisches Signal

Stoppuhr (Minuten)

Beginnen

Anhalten 00.48

Fortfahren

EndeZeitKnd

Abb. B.3: Sequenz von aktiven Knöpfen während der Entnahme einer Stichprobe.

Zur Auswahl der Stichprobe benutzt man die Oberfläche „Knoten“. Nach dem Mausklick auf dem Knopf „Knoten hinzufügen“ wird dieser Knopf deaktiviert, der Knopf „Knoten

akzeptieren“ aktiviert und ein neuer Platz auf dem Gitter oben zur Einfügung der Anzahl von Segmenten des Knotens vorbereitet (Abbildung B.3, links). Nach der Einfügung der Anzahl von Segmenten drückt man den Knopf „Knoten akzeptieren“ (Abbildung B.3, Mitte). Dann wird der Knopf deaktiviert, der Knopf „Segmente auswählen“ aktiviert und im Gitter zur Einfügung der Hilfsgröße ein Platz für jedes Segment des Knotens vorbereitet (Abbildung B.3, rechts).

Nach der Einfügung der Hilfsgröße oder Angaben zu ihrer Berechnung (hier: Durchmesser) drückt man den Knopf „Segmente auswählen“ (Abbildung B.4). Die ausgewählten Segmente (hier: Segmente 2, 4 und 5) werden in der Spalte „Auswahl“ angezeigt und zum Gitter rechts der Knöpfe (wo später die Einfügung der Zielgröße stattfinden darf) und zur Seite „Geschichte“ übertragen. Als Hilfsmittel zur Probeentnahme generiert Branch ein Bild der augenblicklichen Struktur der Stichprobe (Abbildung B.4, rechts). Dort steht jeder schwarze Kreis für einen Knoten. Der rote Kreis zeigt die potentielle Lage für den nächsten Knoten und die Nummer des Segmentes an dessen Ende der Knoten eingefügt werden soll. In diesem Beispiel hat man bislang am Knoten 1 drei Segmente ausgewählt. Die Fortsetzung der Probeentnahme soll am Ende des Segmentes Nummer 2 erfolgen; wenn dort ein neuer Knoten existiert, wird er eingeführt und die ganze beschriebene Prozedur wiederholt sich. Dazu hat schon der Mausklick auf den Knopf „Segmente auswählen“ den Knopf deaktiviert und die Knöpfe „Knoten hinzufügen“ und „Pfad beenden“ aktiviert. Wenn ein Endsegment erreicht wird, wird den Knopf „Pfad beenden“ gedrückt (Abbildung B.5). Jedes Endsegment wird auf dem Bild durch einen kleinen rosafarbenen Kreis und im Gitter der Seite „Geschichte“ mit dem Code „999“ gekennzeichnet.

Wenn die Zeitaufnahme durchgeführt wird, wird der Zeitaufwand je Knoten in zwei Teile getrennt. Nämlich: (1) Zeit zur Arbeit am Knoten, welche die Zählung der Segmente und die Messung der Hilfsgröße einschließt, und (2) Zeit zur Entnahme der Zielgröße an den ausgewählten Segmenten. Die Zeit wird automatisch registriert und im Gitter neben der Anzahl der Segmente des Knotens registriert. Wenn es nötig ist, kann man die Stoppuhr anhalten und später weiter laufen lassen. Wenn dies vergessen wird, wird die Stoppuhr automatisch nach dem nächsten Knopfdruck aktiviert. Wenn die Zeit vor der Einfügung des ersten Knotens registriert werden soll, drückt man den Stoppuhrknopf „Beginnen“ (s. Abbildung B.3, unten). Wenn keine Zeitaufnahme durchgeführt wird, ist keine Stoppuhr zu sehen.

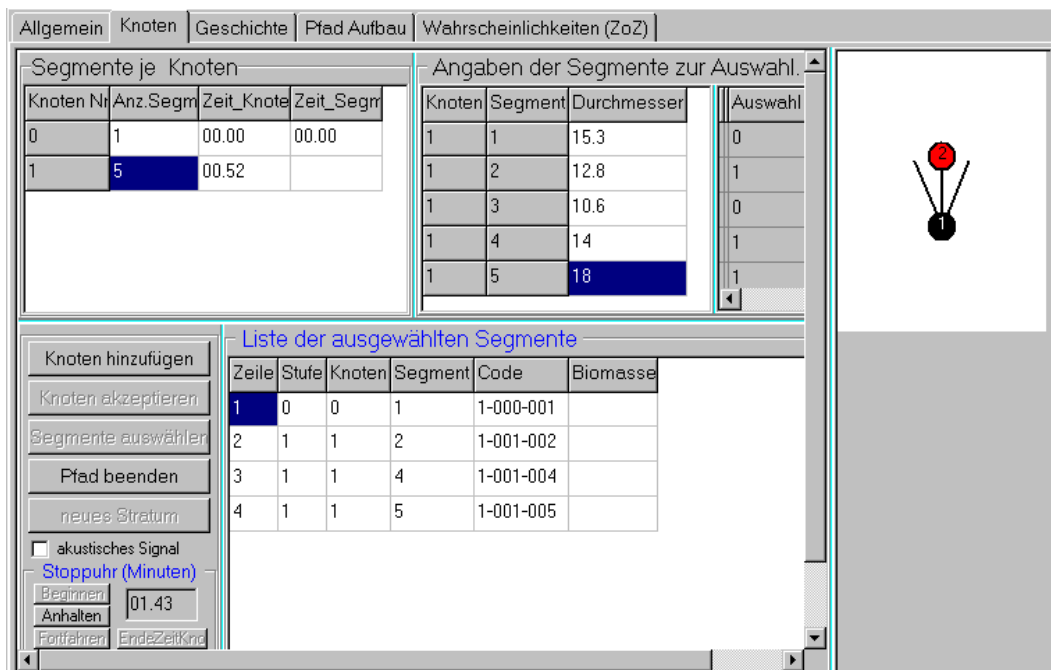


Abb. B.4: Die ausgewählten Segmente und das Bild der augenblicklich entnommenen Struktur während der Entnahme einer Stichprobe.

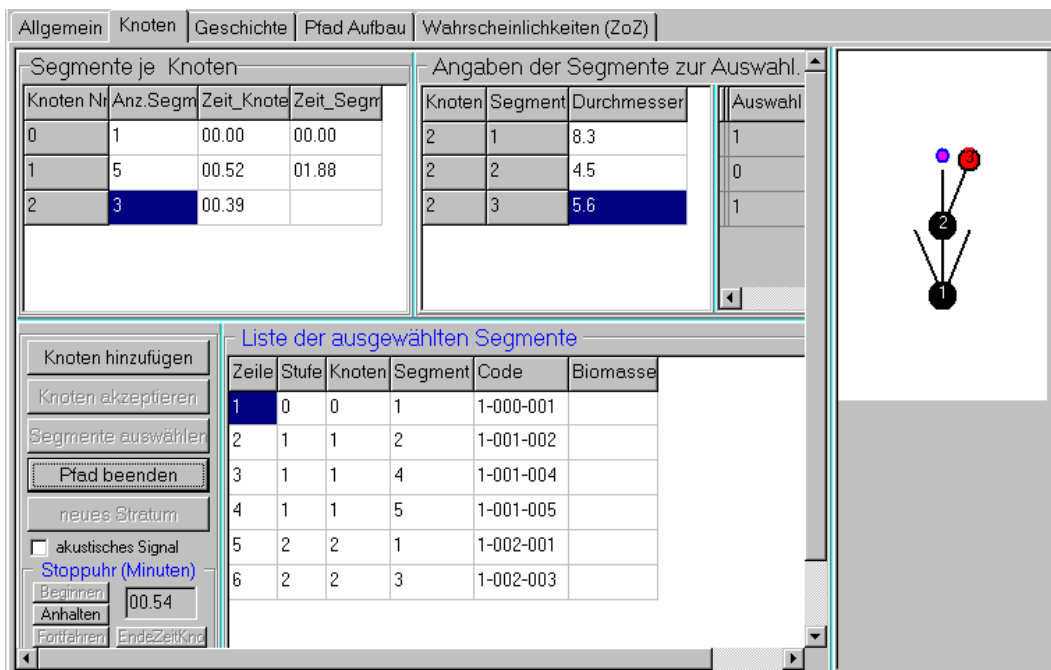


Abb. B.5: Beendigung eines Pfades während der Entnahme einer Stichprobe.

B.2.1.2 Entnahme eines vollständigen Baumes

Im Unterschied zur Entnahme einer Stichprobe braucht man während der Aufnahme eines vollständigen Baumes keine Auswahl von Segmenten durchzuführen. Deshalb sind in diesem Fall auf der Seite „Knoten“ nur das Gitter zur Einfügung der Knoten und das Gitter rechts der Knöpfe zu sehen. Dort werden alle Segmente jedes Knotens dargestellt, und dort soll auch die Eintragung der Hilfs- und Zielgröße stattfinden (Abbildung B.6).

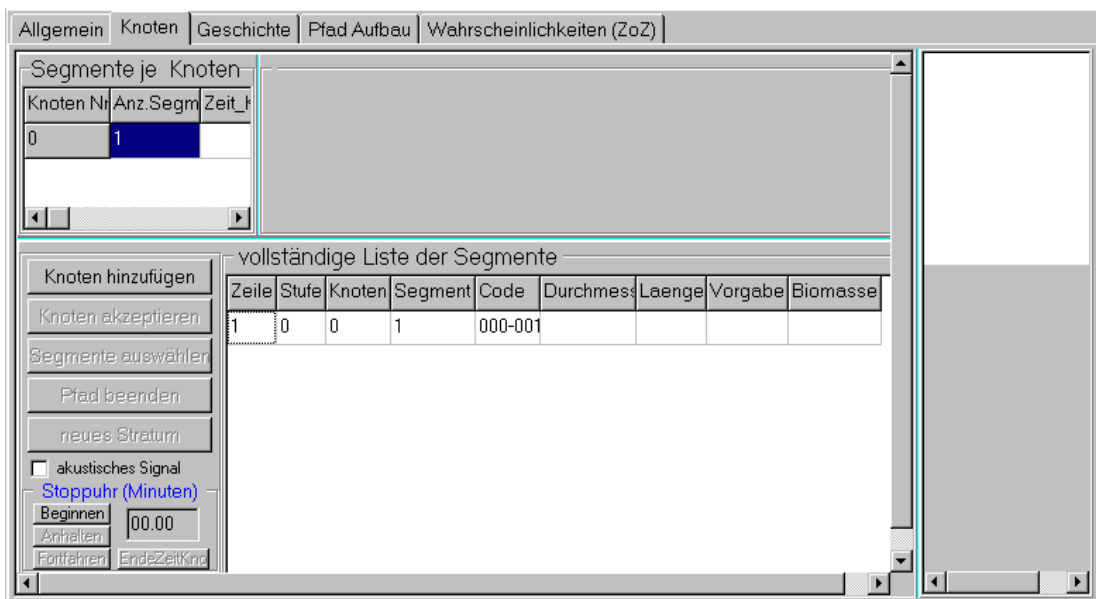


Abb. B.6: Gitter zur Aufnahme eines Baumes. Alle gewünschten Angaben zur Berechnung der Hilfsgröße sowie die Zielgröße sind im Gitter unten einzufügen.

Die Aufnahme beginnt mit dem Mausklick auf dem Knopf „Knoten hinzufügen“. Dann wird der Knopf deaktiviert, der Knopf „Knoten akzeptieren“ aktiviert und ein neuer Platz auf dem Gitter zur Einfügung der Anzahl der Segmente des Knotens vorbereitet (Abbildung B.7, links). Nach der Einfügung der Anzahl der Segmente drückt man den Knopf „Knoten akzeptieren“. Dann wird der Knopf deaktiviert. Wenn die Zeitaufnahme durchgeführt wird, muss die Entnahme mit dem Mausklick auf dem Knopf „EndeZeitKno“ fortgesetzt werden, der erfolgen soll, sobald die Hilfsgröße oder die Angaben zu ihrer Berechnung erfasst wurden (Abbildung B.7, rechts). Nach dem Mausklick auf dem Knopf „EndeZeitKno“ bei einer Aufnahme mit Zeiterfassung oder auf dem Knopf „Knoten akzeptieren“ bei einer Entnahme ohne Zeiterfassung werden die Knöpfe „Knoten hinzufügen“ und „Pfad beenden“ aktiviert (Abbildung B.8, links bzw. rechts). Die Einfügung eines neuen Knotens, die Beendigung eines Pfades, sowie die Eigenschaften des Bildes der Aufnahme wurden im Kapitel B.2.1.1 beschrieben. Alle Segmente der Knoten werden zum Gitter rechts der Knöpfe und zur Seite „Geschichte“ übertragen und auf dem Bild der Aufnahme dargestellt (Abbildung B.9).

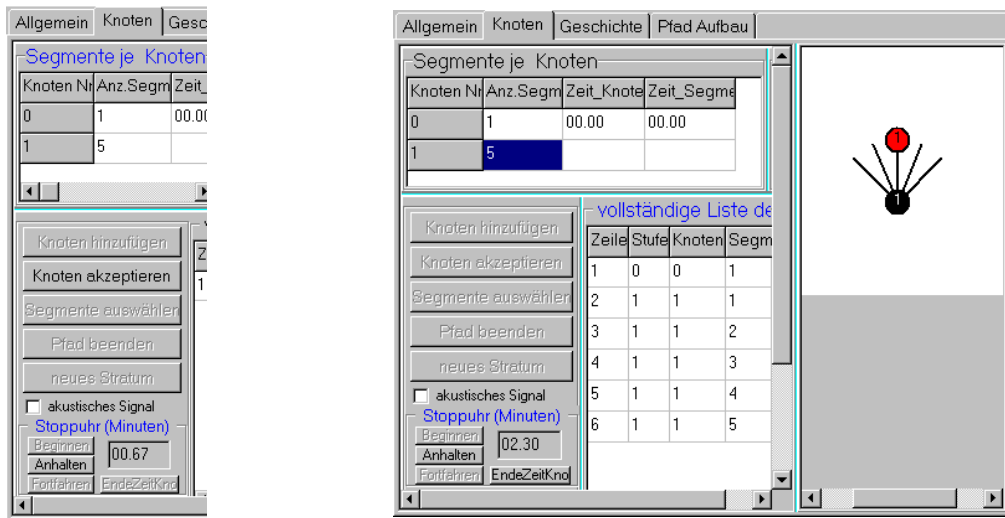


Abb. B.7: Sequenz von aktiven Knöpfen zur Aufnahme eines Baumes mit Zeitaufnahme.

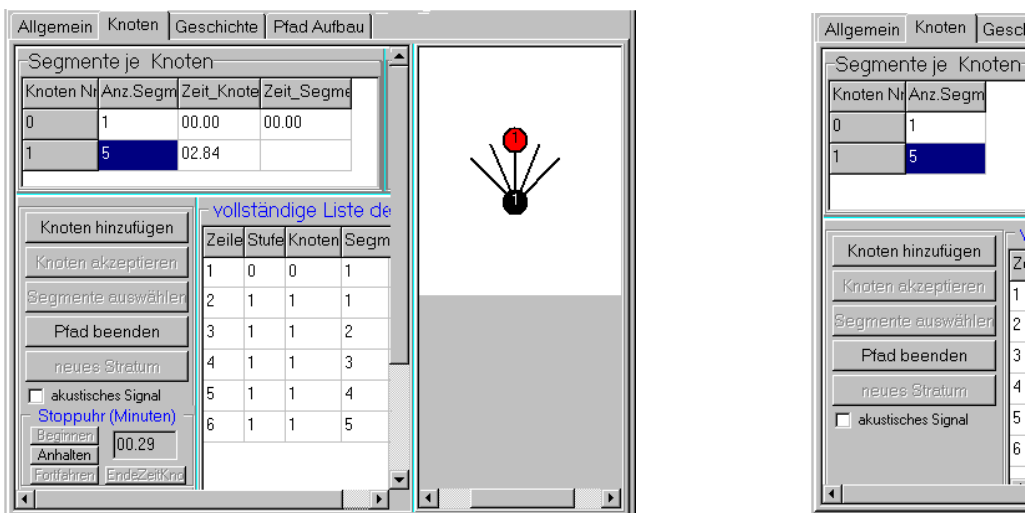


Abb. B.8: Knöpfe zur Fortsetzung der Aufnahme eines Baumes mit (links) und ohne Zeitaufnahme (rechts).

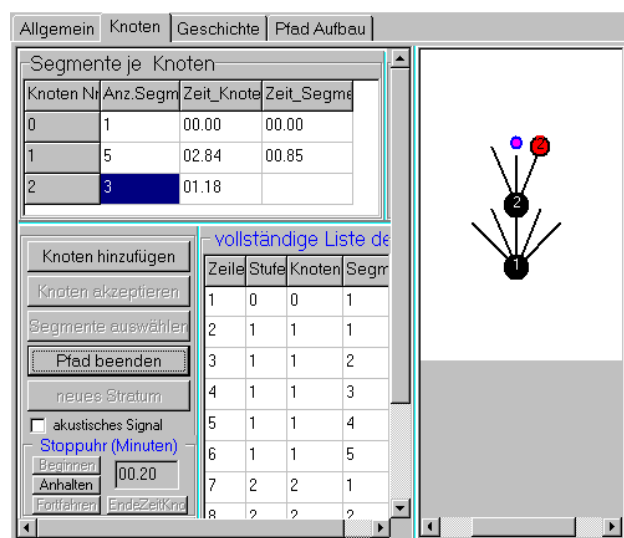



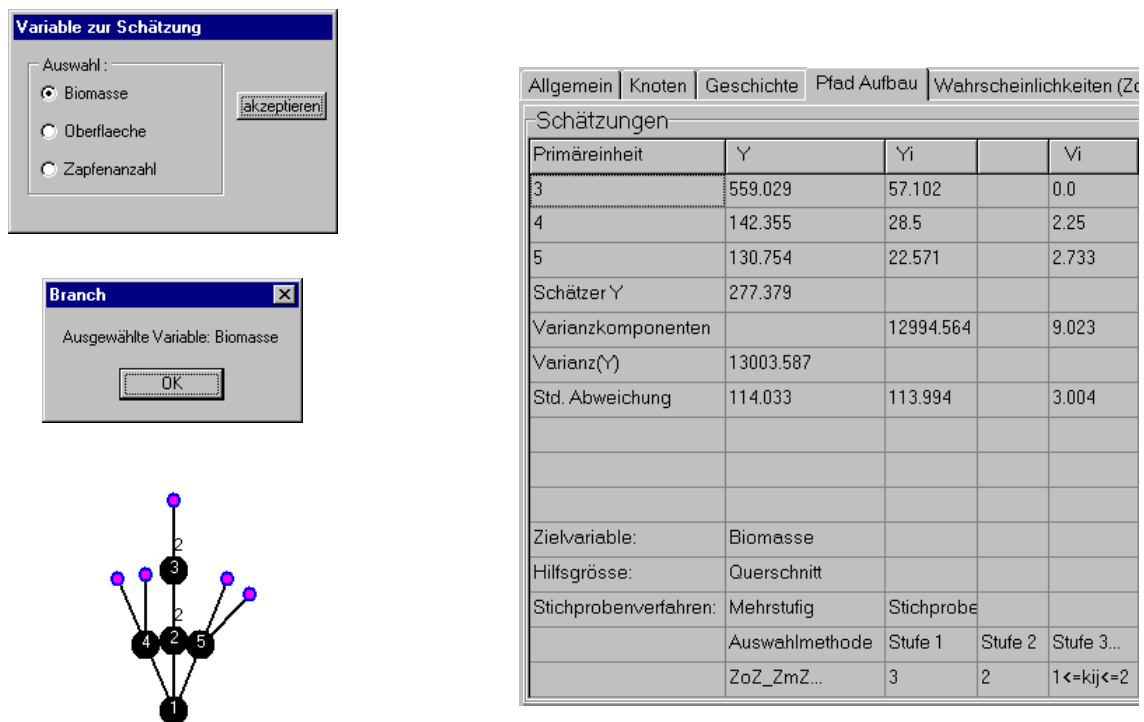


Abb. B.9: Beendigung eines Pfades während der Aufnahme eines Baumes.

B.2.2 Schätzung der Zielgröße

Zur Durchführung einer Schätzung aus einer simulierten oder einer im Feld entnommenen Stichprobe ist die gewünschte Zielgröße auszuwählen. Dazu drückt man den Knopf  oder den entsprechenden Untermenüpunkt. Dann werden alle bestehenden Zielgrößen auf dem Bildschirm zur Auswahl dargestellt (Abbildung B.10, links, oben). Man bestätigt die Auswahl mit dem Mausklick auf dem Knopf . Dann erscheint auf dem Bildschirm eine Botschaft, die den Namen der ausgewählten Zielgröße anzeigt. Dort ist der Knopf  zu klicken (Abbildung B.10, links, Mitte).




The image shows three parts of the software interface:

- Top Left:** A dialog box titled "Variable zur Schätzung" with radio buttons for "Biomasse" (selected), "Oberflaeche", and "Zapfenzahl". An "akzeptieren" button is on the right.
- Middle Left:** A dialog box titled "Branch" showing "Ausgewählte Variable: Biomasse" and an "OK" button.
- Bottom Left:** A tree diagram with root node 1, children 4, 2, 5, and child 3 of node 2. Node 3 has children 2 and 5. Purple dots are on nodes 3, 4, 5, and the children of 3.
- Right:** A table titled "Schätzungen" with columns for "Primäreinheit", "Y", "Yi", and "Vi".



Primäreinheit	Y	Yi	Vi
3	559.029	57.102	0.0
4	142.355	28.5	2.25
5	130.754	22.571	2.733
Schätzer Y	277.379		
Varianzkomponenten		12994.564	9.023
Varianz(Y)	13003.587		
Std. Abweichung	114.033	113.994	3.004
Zielvariable:	Biomasse		
Hilfsgröße:	Querschnitt		
Stichprobenverfahren:	Mehrstufig	Stichprobe	
Auswahlmethode	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3...
ZoZ_ZmZ...	3	2	1 <= kij <= 2

Abb. B.10: Auswahl der Zielgröße und Ergebnisse für die zu Grunde liegende Stichprobe.

Nach der Auswahl der Zielgröße drückt man den Knopf  oder den entsprechenden Untermenüpunkt zur Durchführung der Schätzung. Die Ergebnisse der Schätzung werden auf der Seite „Pfad Aufbau“ dargestellt (Abbildung B.10, rechts). Im Beispiel der Abbildung B.10 wurde eine Stichprobe von drei Primäreinheiten ohne Zurücklegen auf Stufe 1, zwei Einheiten mit Zurücklegen auf Stufe 2 und eine Einheit auf allen folgenden Stufen ausgewählt (s. Abbildung B.10, unten, links und rechts). Wenn es sich um eine Stichprobe handelt, werden die Schätzer je Primäreinheit dargestellt. Z.B. bringt das Primärsegment 4 eine Schätzung für die Stufe 1 bzw. den ganzen Baum von 28,5 (Y_i) bzw. 142,355 (Y). Die Varianz innerhalb der Einheit ist 2,25 (V_i). Die endgültige Schätzung für den gesamten Baum ist 277,379 mit einer

geschätzten Varianz von 13003,587. Für diese Stichprobe ist die Variabilität zwischen Primäreinheiten (12994,564) viel größer als die Variabilität innerhalb der Einheiten (9,023).

B.2.3 Simulation der Aufnahme von Stichproben

Die Durchführung einer Simulation beginnt mit der Definition des Szenarios. Dazu drückt man den Knopf  oder den Untermenüpunkt „Stichprobe“ im Menü „Schätzung“. Dann erscheint eine Oberfläche zur Definition der Eigenschaften der Stichprobe und zur Festlegung der Anzahl unabhängiger Stichproben (Abbildung B.11). Man muss entscheiden, ob der Zeitaufwand bestimmt werden soll. Wenn dies der Fall ist, sind die Zeiten (Kosten) je Einheit einzufügen (Abbildung B.12, oben, links). Man muss auch entscheiden, ob es sich um eine simple oder eine Simulation mit mehreren Stichprobenumfängen handelt. Wenn letzteres der Fall ist, sind die gewünschten Grenzen der Stichprobenumfänge festzulegen (Abbildung B.12, unten, links). Die letzten Optionen können auch zusammen durchgeführt werden (Abbildung B.12, rechts). Die Definition des Simulationszenarios wird schließlich nach dem Mausklick auf den Knopf  beendet.

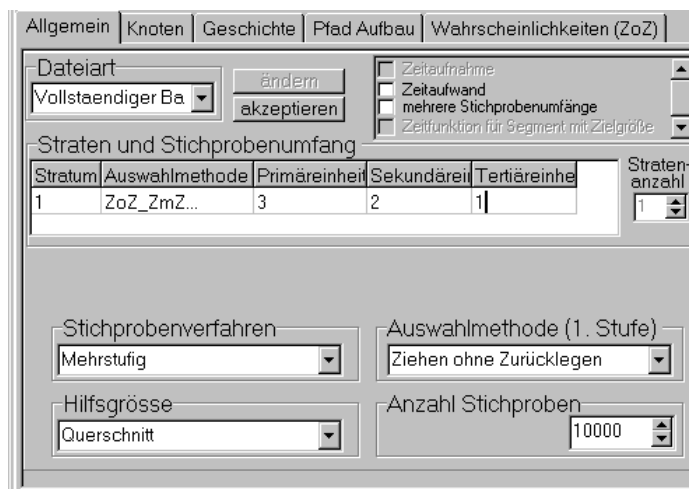





Abb. B.11: Oberfläche zur Definition des Simulationsszenarios.

Zur Definition der gewünschten Zielgröße drückt man den Knopf  oder den entsprechenden Untermenüpunkt (s. Abschnitt B.2.2). Nach der Auswahl der Zielgröße lässt man durch den Mausklick auf den Knopf  (bzw. , wenn es sich um eine Simulation mit mehreren Stichprobenumfängen handelt) die Simulation laufen.

Als Ergebnisse der Simulation liefert BRANCH den Schätzer und die Varianzschätzer jeder Stichprobe (Abbildung B.13) zusammen mit dem Zeitaufwand, wenn diese Option

ausgewählt wurde. Z.B. liefert die Stichprobe 9998 eine Schätzung von 179,185 (Y) mit einer geschätzten Varianz von 2211,78 (Var1+Var2...), die hauptsächlich von der Variabilität zwischen den Primäreinheiten (Var1=2210,611) und nur geringfügig von der Variabilität innerhalb der Sekundäreinheiten (Var2...=1,17) geprägt ist. Zu den Ergebnissen gehören Durchschnitte dieser Werte und die entsprechenden Parameter am Baum.

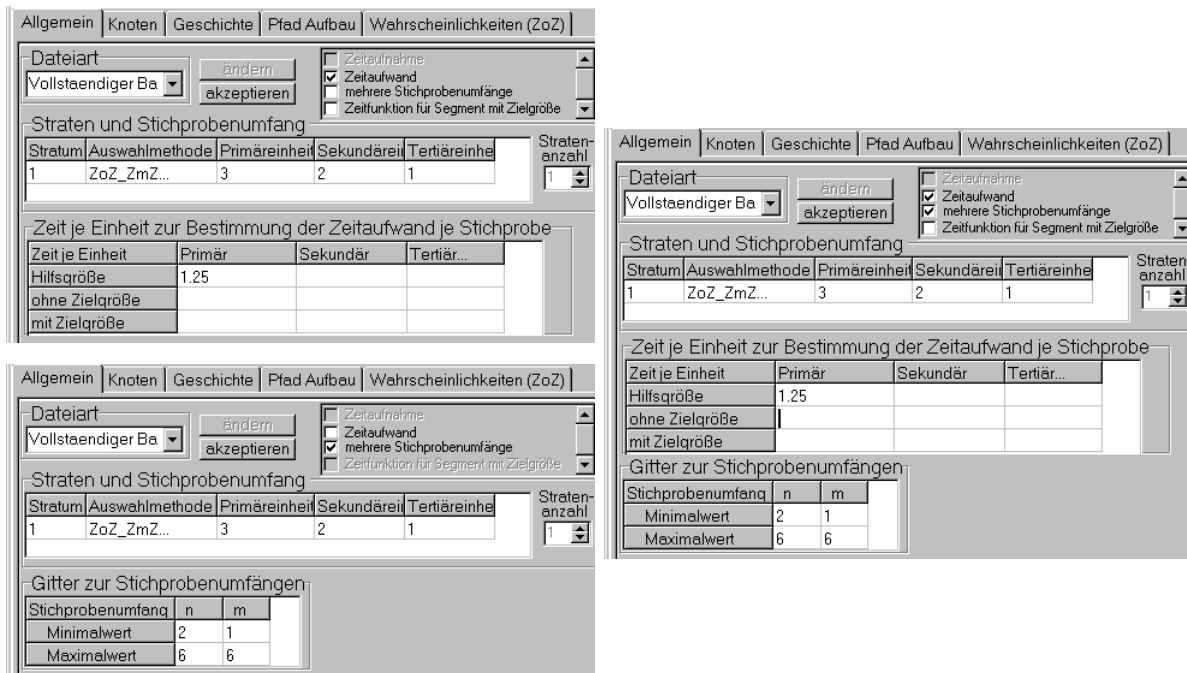


Abb. B.12: Festlegung der Optionen zur Bestimmung des Zeitaufwandes und/oder einer Simulation mit mehreren Stichprobenumfängen.

Stichprobe Nr.	Y	Var1	Var2...	Var1+Var2...
9997	237.905	1024.262	504.616	1528.878
9998	179.185	2210.611	1.17	2211.78
9999	225.806	1372.001	553.4	1925.4
10000	245.281	423.273	112.568	535.84
Mittelwert	235.472	2523.433	684.815	3208.248
^Var(^Fo)	3225.082			109 %
Parameter	234.825	1365.877	1842.367	3208.244
		(Var1)	(Var2...)	(Var1+Var2...)
Zielvariable:	BiomasseBlatt			
Hilfsgröße:	Querschnitt			
Stichprobenverfahren:	Mehrstufig	Stichprobenumfang:		
	Auswahlmethode	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3...
	ZoZ_ZmZ...	3	2	1<kij<=2

Abb. B.13: Ergebnisse einer simplen Simulation.


Wenn eine Simulation mit mehreren Stichprobenumfängen durchgeführt wird, werden die Ergebnisse in einer Datei gespeichert, deren Name sich aus dem Begriff „Simul“, dem Namen

der Spezies und der Nummer des Baumes, plus dem Begriff ZoZ (bzw. ZmZ) zusammensetzt (Abbildung B.14). Z.B. heißt „Simul-Vogelbeere-3-ZoZ.txt“ die Datei, welche die in Abbildung B.14 dargestellten Ergebnisse enthält. Neben den Stichprobenumfängen (n , m) wird dort der wahre Standardfehler gespeichert. Wenn die Option zur Bestimmung des Zeitaufwandes ausgewählt wurde, werden der gesamte Zeitaufwand der Stichprobe (K), der Zeitaufwand je ausgewähltem Pfad (ko), je Primäreinheit ($k1$) und ab der Stufe 2 ($k2...$) zusammen mit dem Wiederholungsindex (WI) registriert. Dieser Index zeigt, wie oft wiederholte Segmente ausgewählt werden. Z.B. bedeutet $WI=1$, dass kein Segment mehr als ein Mal ausgewählt wurde.

n	m	StdF(%)	K	Ko	K1	K2...	WI
2	1	37,8	8,654	4,327	1,39	2,937	1,0
2	2	30,4	11,86	2,965	1,378	2,277	1,487
2	3	27,5	14,112	2,352	1,387	1,889	1,896
2	4	26,0	15,64	1,955	1,386	1,608	2,297
2	5	25,0	16,79	1,679	1,385	1,402	2,695
2	6	24,3	17,712	1,476	1,385	1,245	3,085
3	1	30,3	12,918	4,306	1,389	2,917	1,0
3	2	24,1	17,856	2,976	1,382	2,285	1,473
3	3	21,7	21,186	2,354	1,398	1,888	1,879
3	4	20,4	23,472	1,956	1,387	1,609	2,269
3	5	19,5	25,185	1,679	1,387	1,402	2,66
3	6	18,9	26,478	1,471	1,384	1,24	3,04
4	1	25,7	17,312	4,328	1,388	2,94	1,0
4	2	20,2	23,856	2,982	1,386	2,29	1,464
4	3	18,1	28,116	2,343	1,384	1,882	1,87
4	4	16,9	31,296	1,956	1,388	1,609	2,253
4	5	16,1	33,62	1,681	1,386	1,404	2,638
4	6	15,6	35,424	1,476	1,383	1,246	3,011
5	1	22,5	21,535	4,307	1,387	2,92	1,0
5	2	17,5	29,79	2,979	1,389	2,284	1,462
5	3	15,5	35,19	2,346	1,388	1,883	1,862
5	4	14,3	39,1	1,955	1,389	1,608	2,248
5	5	13,6	41,975	1,679	1,386	1,402	2,627
5	6	13,1	44,4	1,48	1,391	1,248	3,001
6	1	20,1	25,884	4,314	1,385	2,929	1,0
6	2	15,4	35,76	2,98	1,391	2,284	1,459
6	3	13,4	42,246	2,347	1,385	1,886	1,858
6	4	12,3	46,92	1,955	1,387	1,608	2,24
6	5	11,7	50,34	1,678	1,386	1,401	2,619
6	6	11,2	53,028	1,473	1,384	1,242	2,994

Abb. B.14: Ergebnisse aus der Durchführung einer Simulation mit mehreren Stichprobenumfängen.

B.2.4 Diagnose

Zur Durchführung einer Diagnose drückt man den Knopf  und definiert auf der Seite „Hauptstamm“ das Szenario für das Löschen von Segmenten. Dort sind die Ziel- und die Hilfsgröße auszuwählen, die Grenze zum Löschen von Segmenten und den maximalen Stichprobenumfang festzulegen, sowie das Stratum zur Diagnose auszuwählen. Der Begriff „Varianzkomponenten“ bezieht sich auf den Quotient aus der Varianz der Primäreinheiten zur gesamten Varianz der Zielgröße. Er kann entweder für den ursprünglichen oder für den modifizierten Baum berechnet werden.



Der Mausklick auf den Knopf „Akzeptieren“ führt die Diagnose durch. Die Ergebnisse werden als numerische und als grafische Ausgaben dargestellt (Abbildungen B.15, B.16).

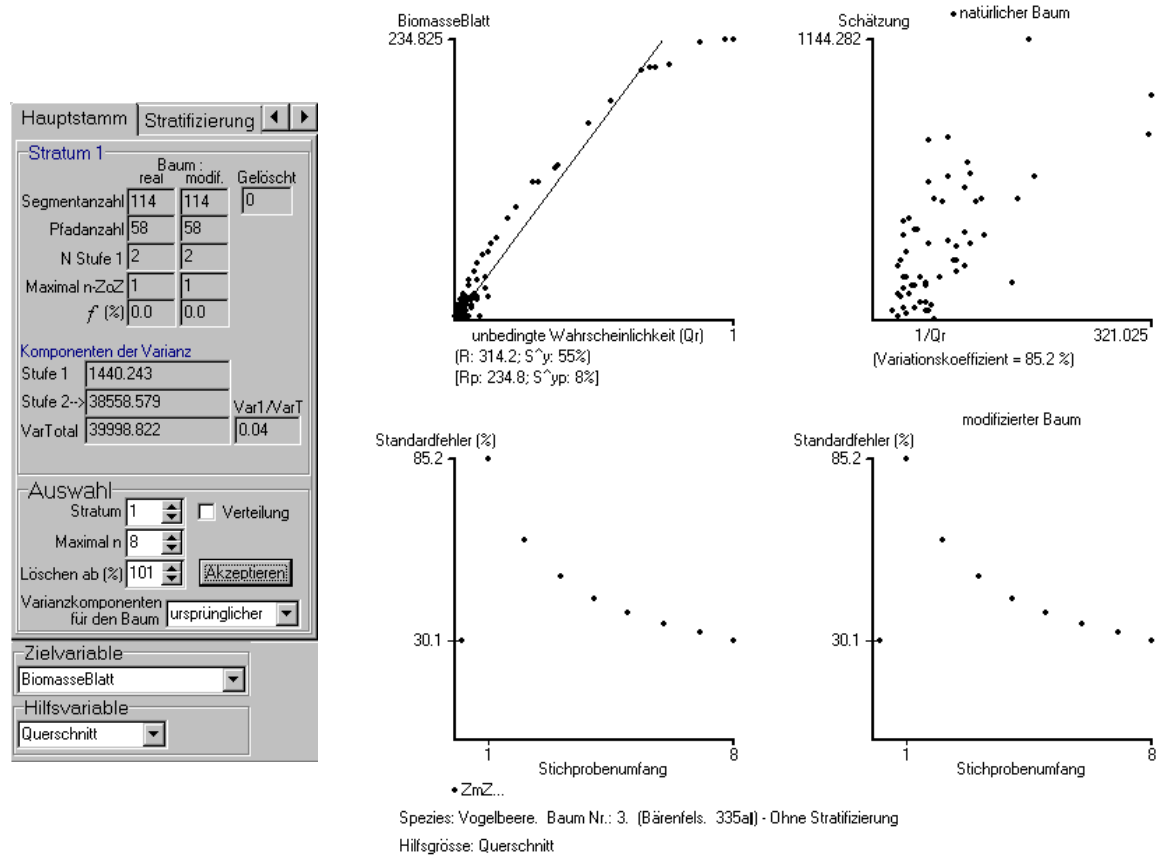
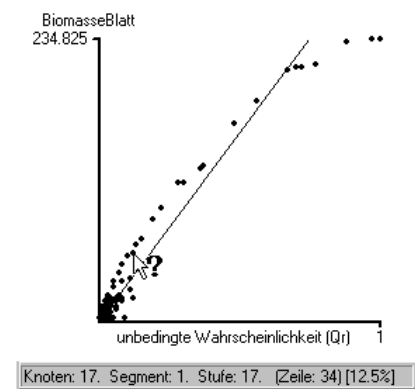


Abb. B.15: Ergebnisse einer Diagnose ohne Löschen von Segmenten.

Um das Löschen von Segmenten zu definieren, kann man mit dem Mausklick jedes identifizierbare Segment auf dem Bild der Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit auswählen. Unten links auf der Bedienungsfläche werden der Knoten, das Segment, die Stufe, die Zeile in der das Segment im Gitter 14 registriert ist (s. Abbildung B.9) sowie seine unbedingte Auswahlwahrscheinlichkeit dargestellt.



Wenn Segmente gelöscht werden, werden auch Ergebnisse für den modifizierten Baum dargestellt (Abbildung B.16). Auf dem Bild der Beziehung Zielgröße-Auswahlwahrscheinlichkeit sind die Verhältnisse für den ursprünglichen Baum (schwarz), für den modifizierten Baum (hellblau) und die Beziehung für die zu eliminierenden Segmente zu erkennen (rot). Wenn mehr als eine Primäreinheit ohne Zurücklegen ausgewählt werden kann,

wird der Standardfehler für das Ziehen ohne Zurücklegen auf der Stufe 1 berechnet und in der entsprechenden Grafik dargestellt. Z.B. ist der Standardfehler 26,4% für einen Stichprobenumfang von 6 Primäreinheiten mit einer Einheit auf allen folgenden Stufen. Wenn man den Standardfehler mit mehr als einer Sekundäreinheit berechnen will, muss dies im Gitter in der Seite „Allgemein“ definiert werden.

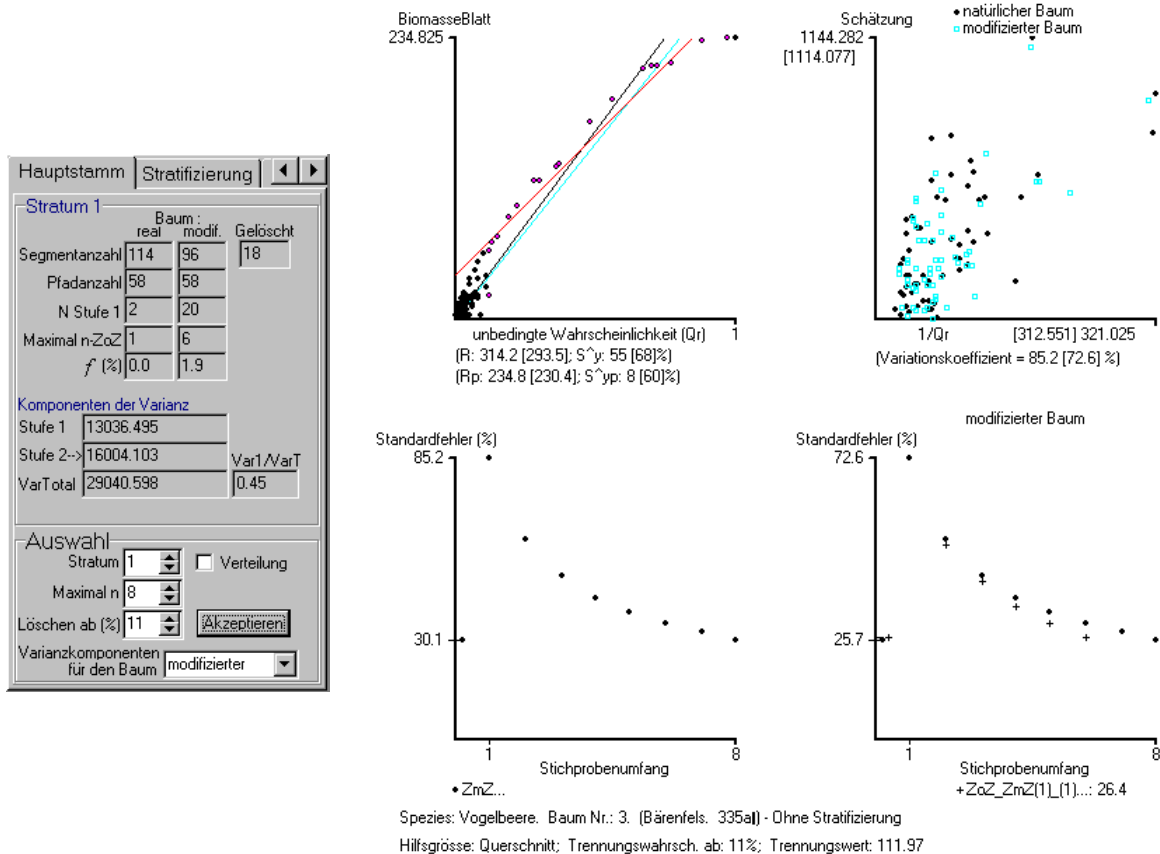
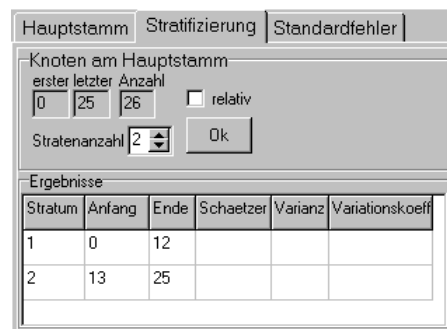


Abb. B.16: Ergebnisse einer Diagnose mit Löschen von Segmenten.

Die Stratifizierung wird auf der Seite „Stratifizierung“ definiert. Neben der Ziel- und Hilfsgröße sind dort die Anzahl der Straten und deren Grenzen (Spalte „Ende“) festzulegen. Die Grenzen werden gemäß der Anzahl von Knoten am Hauptstamm festgelegt.



Die Ergebnisse der Stratifizierung werden als numerische und als grafische Ausgaben dargestellt (Abbildung B.17). Nach der Stratifizierung kann man in der Seite „Hauptstamm“ das Löschen von Segmenten in einem beliebigen Stratum durchführen.

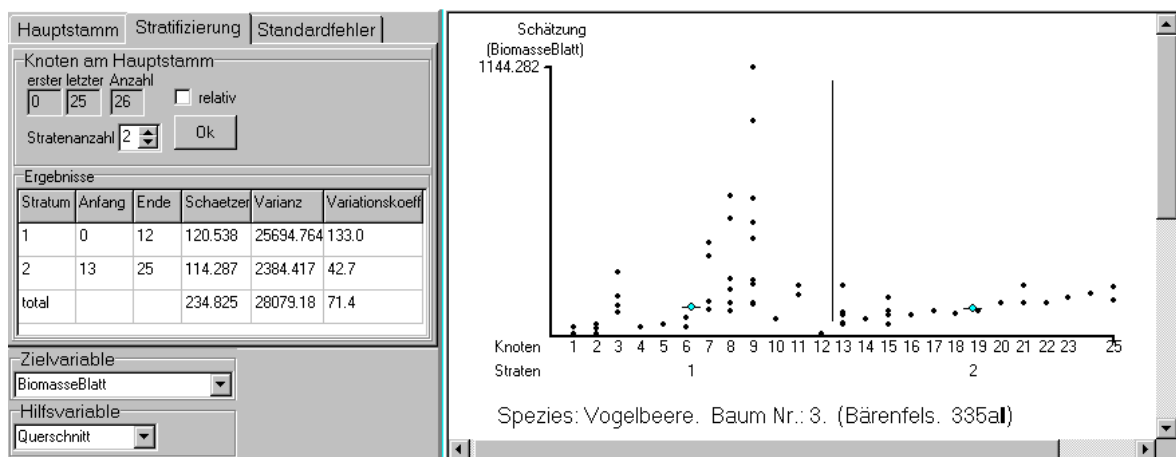



Abb. B.17: Ergebnisse einer Stratifizierung der Baumkrone entlang des Hauptstammes.

B.2.5 Veränderung der Struktur der Baumkrone

Die Veränderung der Baumkronenstruktur wird nach dem Mausklick auf den Knopf  ermöglicht. Zur Durchführung der Veränderung benützt man die Objekte, die unter dem Bild des Baumes auf der Seite „Knoten“ zur Verfügung stehen, oder das PopUp-Menü, das nach Klick mit der rechten Maustaste auf das Bild des Baumes erscheint. Durch die Objekte unter dem Bild können Segmente eliminiert werden, die auf dem Hauptstamm liegen. Nach dem Mausklick auf dem Knopf „Ok“ werden alle Segmente zwischen dem Knoten 1 und dem in der Oberfläche neben dem Begriff „bis Knoten“ angezeichneten Knoten gelöscht (Abbildung B.18). Die Zielgröße der zu eliminierenden Segmente wird zum Segment 1 des Knotens null addiert.

Das PopUp-Menü ermöglicht nicht nur das Löschen des Hauptstammes, sondern auch von anderen Segmenten am Baum. Durch das PopUp-Menü wird das Löschen schrittweise realisiert, wie im folgenden beschrieben wird. Zur Eliminierung einer Reihe von Segmenten mit der PopUp-Menü müssen zuerst alle Segmente, die von den zu eliminierenden Segmenten verzweigen, zum Knoten an der Basis des ersten zu eliminierenden Segmentes versetzt werden. Die Versetzung eines Segmentes zusammen mit seinen untergeordneten Segmenten beginnt mit der Auswahl des Segmentes. Dazu zeigt man mit dem Mauszeiger auf das Segment, das ausgewählt werden soll, und drückt die linke Maustaste. Es wird rot gefärbt, wenn die Auswahl erfolgreich war. Dann drückt man mit der rechten Maustaste irgendwo auf das Bild des Baumes damit das PopUp-Menü erscheint⁸. Dort wählt man den Untermenüpunkt „Ausschneiden“ und sucht nach dem Knoten, an dem das Segment eingefügt

wird, drückt mit der linken Maustaste den Knoten (der rot wird, wenn die Auswahl erfolgreich war), drückt mit der rechten Maustaste irgendwo auf das Bild des Baumes, damit das PopUp-Menü erscheint, und drückt dort den Untermenüpunkt „Einfügen“, um die Versetzung des Segmentes zu beenden (Abbildung B.19). Die beschriebene Prozedur soll wiederholt werden bis alle notwendigen Segmente versetzt sind.

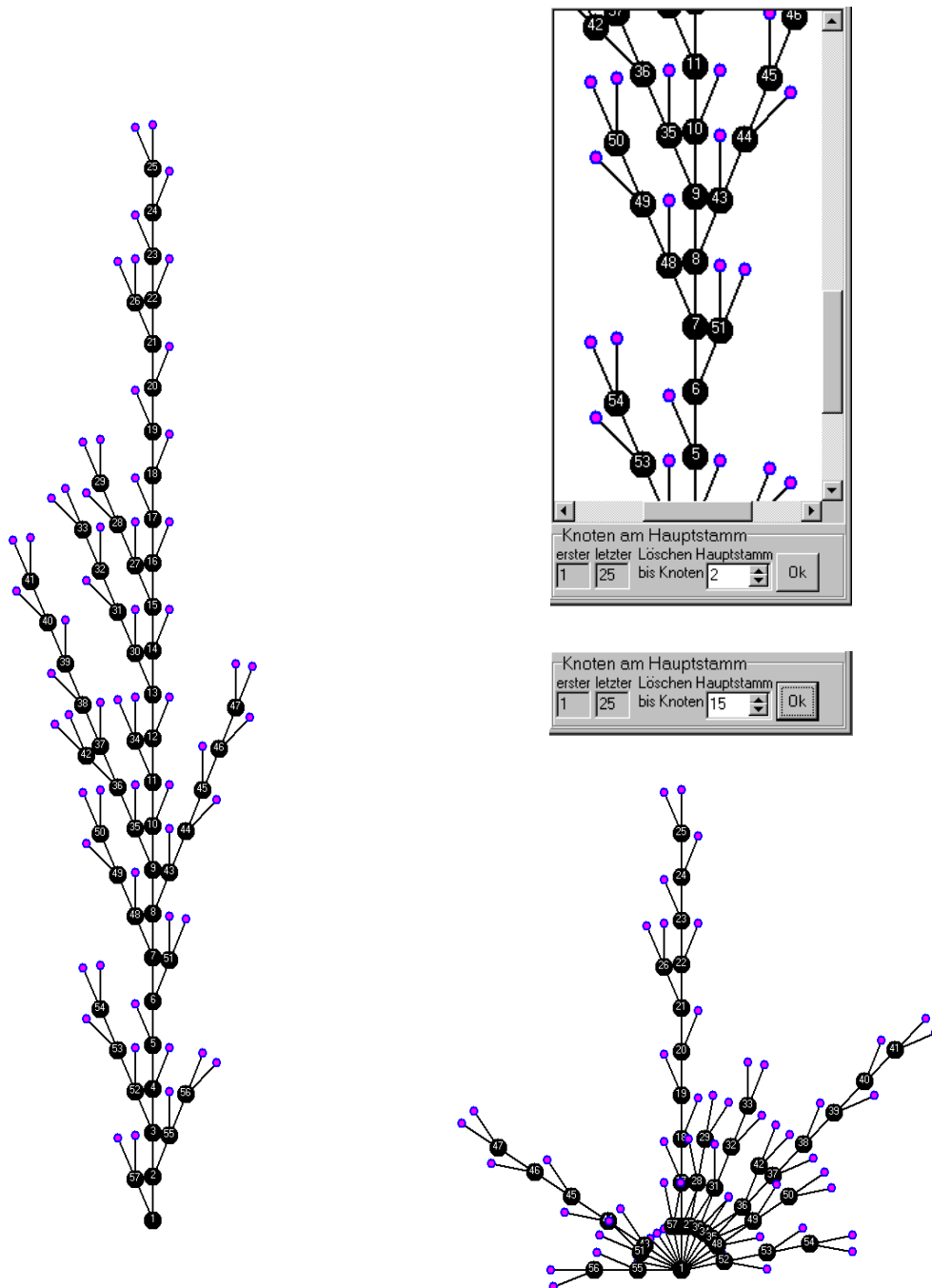


Abb. B.18: Das Löschen von Segmenten am Hauptstamm zwischen den Knoten 1 und 15 eines Baumes.

⁸ Die Auswahl und das Erscheinen des PopUp-Menüs erfolgen gleichzeitig, wenn die Auswahl des Segmentes bzw. des Knotens mit der rechten Maustaste realisiert wird.

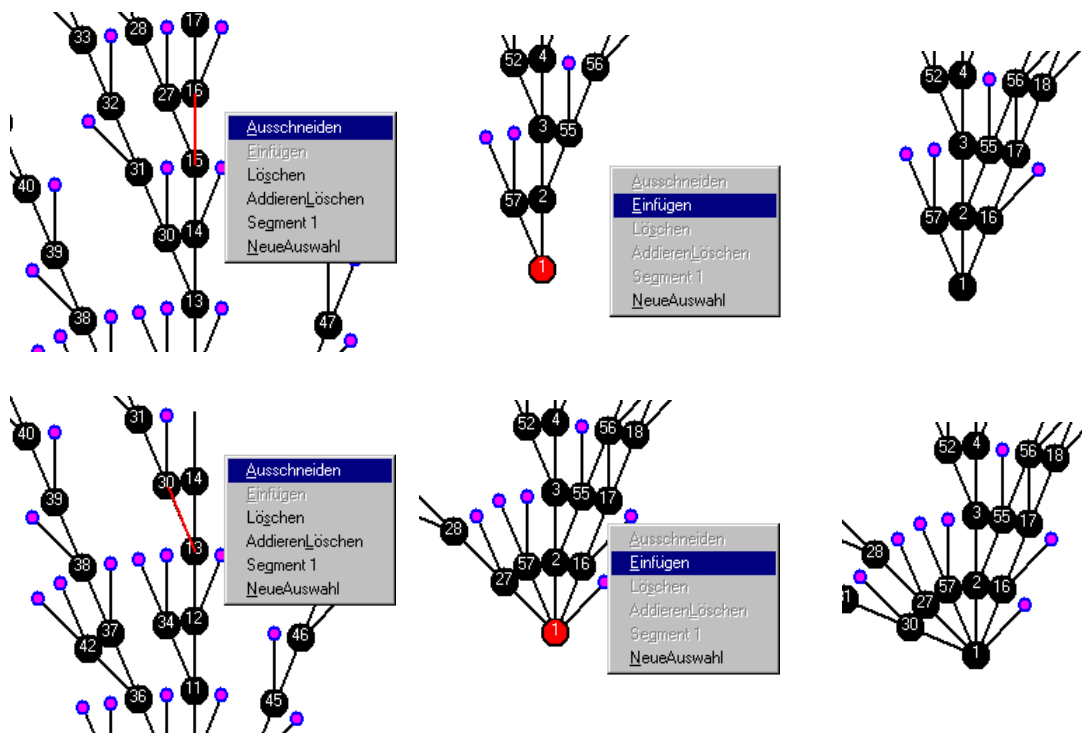


Abb. B.19: Die Versetzung des ersten Segmentes am Ende einer Reihe von zu eliminierenden Segmenten zum ersten Knoten am Anfang der Reihe (oben). Unten: Die Versetzung eines dazwischenliegenden Segmentes.

Nach der Versetzung der notwendigen Segmente eliminiert man die gewünschte Reihe von Segmenten. Wenn diese Reihe mit dem Segment 1 am Knoten 1 beginnt, soll man zuerst ein anderes Segment auswählen und als Segment 1 definieren. Dann wählt man das erste Segment der Reihe von zu eliminierenden Segmenten, aktiviert das PopUp-Menü und drückt dort den Untermenüpunkt „Addieren-Löschen“. Diese Option addiert die Zielgröße der zu eliminierenden Segmente zum vorhergehenden Segment. Das Löschen ohne Addieren erfolgt durch die Option „Löschen“ (Abbildung B.20).

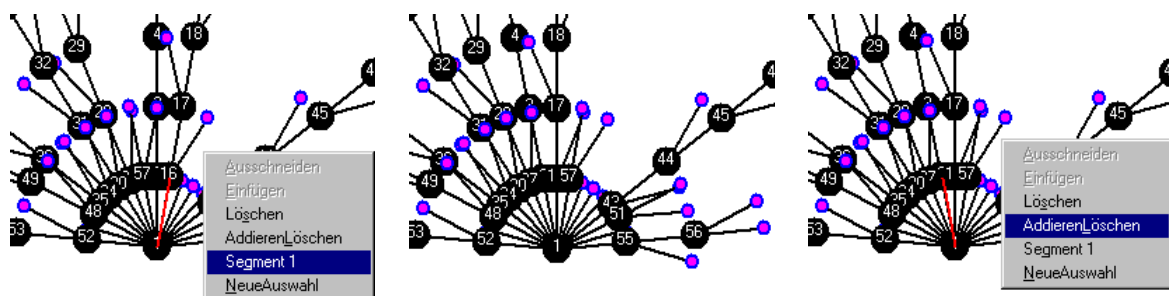


Abb. B.20: Die letzte Schritte des Löschens einer Reihe von Segmenten.

Anhang C. Tabellen mit Ergebnissen der Analysen

Tabelle C.1 Nummer des Knotens entlang des Hauptstammes zur Stratifizierung der Baumkrone und unbedingte Wahrscheinlichkeit für das Löschen der größten Segmente innerhalb des unteren und oberen Stratum^a.

Spezies	Baum	Anzahl von Knoten	Schnittpunkt am Hauptstamm						
			0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Fichte	1	11	2 ⁸⁷ / ₁₁	3 ⁸⁵ / ₁₂	4 ⁸³ / ₁₂	5 ⁸² / ₁₃	7 ⁶⁴ / ₂₁	8 ⁴⁸ / ₃₂	9 ³⁰ / ₅₂
	2	29	6 ⁸² / ₁₃	9 ⁶⁴ / ₁₀	12 ⁴⁷ / ₁₄	14 ³⁴ / ₁₇	17 ²⁴ / ₂₃	20 ¹⁶ / ₃₂	23 ¹⁰ / ₂₃
	3	50	10 ⁶⁹ / ₁₁	15 ⁴⁶ / ₈	20 ³⁸ / ₁₁	25 ²⁹ / ₁₅	30 ²² / ₁₇	35 ¹³ / ₂₂	40 ¹⁰ / ₂₉
	4	34	7 ⁷⁹ / ₁₈	10 ⁷⁰ / ₁₉	14 ⁶⁷ / ₂₀	17 ⁵⁰ / ₃₀	20 ⁴¹ / ₃₃	24 ³⁰ / ₅₀	27 ²² / ₆₃
junge Kiefer	1	27	5 ⁷⁵ / ₆	8 ⁵⁹ / ₆	11 ⁴⁸ / ₈	13 ³⁹ / ₁₀	16 ²⁸ / ₁₄	19 ²² / ₂₀	22 ¹¹ / ₄₈
	2	23	5 ⁷⁴ / ₈	7 ⁶⁰ / ₈	9 ⁴² / ₁₁	11 ³² / ₁₈	14 ¹⁸ / ₂₈	16 ¹⁵ / ₂₉	18 ¹⁰ / ₄₅
	3	7	1 ¹⁰¹ / ₃₀	2 ⁸⁴ / ₄₀	3 ⁶³ / ₄₁	3 ⁶³ / ₄₁	4 ⁶² / ₅₅	5 ⁴⁵ / ₇₃	6 ³⁴ / ₁₀₁
	4	13	3 ⁹³ / ₃₅	4 ⁸² / ₃₇	5 ⁷⁷ / ₄₂	6 ⁷⁰ / ₄₇	8 ⁵⁷ / ₅₇	9 ⁵² / ₆₇	10 ⁴³ / ₇₃
alte Kiefer	1	45	9 ⁸⁴ / ₈	13 ⁷⁷ / ₁₀	18 ⁶⁵ / ₁₁	22 ⁴⁴ / ₈	27 ³⁴ / ₁₄	31 ²² / ₂₁	36 ¹³ / ₃₃
	2	56	11 ⁷⁷ / ₆	17 ⁵⁶ / ₆	22 ⁴⁴ / ₇	28 ³⁰ / ₁₁	34 ¹⁶ / ₁₂	39 ⁵ / ₁₆	45 ⁵ / ₁₄
	3	31	6 ⁶⁸ / ₇	9 ⁵⁷ / ₉	12 ⁴⁴ / ₁₁	15 ³³ / ₁₃	19 ²⁵ / ₁₈	22 ¹⁷ / ₃₄	25 ¹⁰ / ₅₃
	4	53	11 ⁶¹ / ₅	16 ⁴⁰ / ₆	21 ²⁹ / ₉	26 ²⁰ / ₉	32 ⁸ / ₁₂	37 ⁵ / ₁₇	42 ⁵ / ₄₁
Vogelbeere	1	23	5 ⁸⁶ / ₁₆	7 ⁷⁴ / ₁₈	9 ⁶⁴ / ₂₂	11 ⁵¹ / ₂₆	14 ³⁷ / ₃₀	16 ²¹ / ₄₂	18 ¹⁷ / ₅₃
	2	32	6 ⁷⁹ / ₁₅	10 ⁵⁴ / ₁₁	13 ³⁸ / ₁₄	16 ³⁰ / ₁₇	19 ¹⁹ / ₂₇	22 ¹¹ / ₂₇	26 ¹² / ₄₈
	3	25	5 ⁷¹ / ₁₆	7 ⁶⁶ / ₁₉	10 ³⁷ / ₁₉	12 ²⁹ / ₂₅	15 ¹⁹ / ₁₇	17 ¹² / ₂₁	20 ¹² / ₃₄
	4	32	6 ⁵⁴ / ₃₃	10 ²⁰ / ₁₅	13 ¹⁸ / ₁₄	16 ¹⁸ / ₁₅	19 ¹⁸ / ₂₀	22 ¹⁹ / ₃₁	26 ¹⁸ / ₄₁

^a Nummer des Knotens

Löschen ab (%) innerhalb des unteren Stratum

Löschen ab (%) innerhalb des oberen Stratum

Tabelle C.2 Wahrscheinlichkeit für das Löschen der größten Segmente innerhalb des Mittelstratums, wenn der Baum in drei Straten geteilt wird.

Spezies	Baum	Schnittpunkte am Hauptstamm					
		0,2-0,4	0,2-0,6	0,2-0,8	0,4-0,6	0,4-0,8	0,6-0,8
Fichte	1	97	75	35	77	36	62
	2	62	32	13	61	19	38
	3	55	32	15	63	31	52
	4	88	55	29	63	33	54
junge Kiefer	1	66	40	16	70	29	45
	2	63	27	15	51	28	66
	3	76	74	41	101	55	75
	4	94	70	53	81	61	84
alte Kiefer	1	78	40	15	57	21	46
	2	56	20	6	39	7	18
	3	70	41	16	63	25	40
	4	53	15	5	32	8	23
Vogelbeere	1	83	48	21	64	28	54
	2	52	26	15	55	14	31
	3	53	26	16	53	23	57
	4	36	33	33	71	23	37

Tabelle C.3 Variationskoeffizient der Zielgröße am Baum mit und ohne Hauptstamm nach der Teilung der Baumkrone in zwei Straten.

Spezies	Baum	Biomasse (G)	Variationskoeffizient (%)	Stratum	Schnittpunkt am Hauptstamm																							
					0,2			0,3			0,4			0,5			0,6			0,7			0,8					
					Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo			
Fichte ^a	1	17,646	93,1	1	1,462	345,5	91,2	1,627	308,3	91,1	1,674	307,3	97,4	3,696	129,6	83,7	9,151	112,3	84,0	12,995	102,7	85,6	16,030	93,4	87,9			
	2	41,615	79,0	2	16,184	90,3	111,3	16,019	89,8	111,7	15,972	88,7	111,4	13,95	97,6	114,4	8,495	97,6	114,4	4,651	102,8	100,5	1,616	33,4	66,0			
	T			T	87,7	102,4		86,3	101,7		85,4	101,3		77,4	70,2		74,8	70,2		80,3	68,4		84,9	80,1				
	1	99,555	75,8	1	6,747	195,0	96,1	16,208	141,2	81,4	22,667	124,0	85,4	27,667	111,4	80,3	33,539	96,2	78,4	36,499	89,6	77,2	39,513	81,1	109,3			
	2	11,205	75,3	2	34,869	72,1	99,2	25,407	75,1	91,4	18,949	74,2	113,4	13,949	72,1	90,5	8,076	80,3	87,2	5,116	98,2	83,9	2,102	90,5	108,8			
	T			T	68,2	84,6		71,6	64,2		75,5	69,5		77,9	61,4		79,1	65,4		79,5	68,5		77,1	103,9				
	1	186,557	24,2	1	31,660	186,2	53,5	60,426	125,1	65,5	70,630	113,6	68,0	77,182	104,9	70,5	83,699	96,7	71,5	92,472	87,7	72,3	93,942	84,9	73,9			
	2	81,773	42,9	2	67,894	82,9	92,8	39,128	83,5	105,9	28,924	80,5	100,7	22,373	79,2	101,8	15,855	84,8	110,3	7,082	45,8	58,0	5,613	48,6	59,0			
	T			T	81,9	65,5		82,7	57,6		83,9	56,4		83,3	59,3		82,4	62,6		81,6	67,3		80,1	69,8				
	1	25,899	30,4	1	3,212	191,5	62,7	3,994	183,5	57,3	4,574	162,5	53,5	7,699	102,4	53,6	8,617	109,0	53,5	9,887	90,5	62,5	10,621	84,8	63,1			
	2	31,541	17,3	2	7,993	79,4	87,1	7,211	83,3	90,7	6,631	87,5	94,3	3,506	103,1	107,0	2,588	94,6	93,7	1,318	117,2	107,2	0,584	63,5	84,2			
	T			T	78,9	64,7		84,6	61,8		84,1	59,9		77,4	49,8		86,7	46,5		81,0	56,6		80,4	60,0				
Mittelwert					79,2	79,3		81,3	71,3		82,2	71,8		79,0	65,9		80,8	61,2		80,6	65,2		80,6	78,5				
junge Kiefer ^b	1	186,557	24,2	1	43,545	148,2	10,3	71,039	111,0	9,2	100,688	74,1	9,8	107,18	76,2	14,1	127,088	59,3	13,4	141,824	44,7	13,8	171,402	20,3	12,9			
	2	81,773	42,9	2	143,012	24,0	16,1	115,518	25,9	17,1	85,869	29,1	18,4	79,377	26,8	15,2	59,469	28,6	17,1	44,733	27,7	17,2	15,155	35,7	27,9			
	T			T	39,2	12,6		45,2	11,2		42,2	10,0		45,2	10,4		41,4	10,6		34,6	11,3		18,9	12,1				
	1	25,899	30,4	1	17,159	123,6	13,9	27,957	81,4	13,4	37,874	65,6	14,7	50,233	40,0	13,3	59,801	46,3	14,4	60,586	54,8	14,4	69,363	54,7	16,3			
	2	31,541	17,3	2	64,614	37,1	17,3	53,816	32,5	16,5	43,899	25,8	15,9	31,54	23,6	18,0	21,972	23,4	17,1	21,187	22,7	16,8	12,410	13,6	10,3			
	T			T	39,1	14,0		35,1	11,8		33,4	10,9		26,2	10,7		34,4	11,5		41,0	11,5		46,4	13,9				
	1	227,666	78,3	1	3,868	19,1	19,1	9,757	69,3	15,4	10,297	126,4	44,0	10,297	126,4	44,0	15,359	75,5	36,1	18,200	72,1	33,1	20,151	63,8	33,7			
	2	11,205	75,3	2	22,031	31,8	30,2	16,142	36,7	35,1	15,602	20,4	14,2	15,602	20,4	14,2	10,540	17,5	16,1	7,699	18,7	18,7	5,748	0,3	0,3			
	T			T	27,2	25,8		34,7	22,6		51,8	19,5		51,8	19,5		45,3	22,4		50,9	23,9		49,7	26,2				
	1	186,557	24,2	1	5,241	113,8	14,8	6,603	163,5	14,7	8,912	127,6	14,4	11,816	104,5	20,7	15,456	96,6	23,1	18,049	81,2	21,9	19,227	81,5	21,3			
	2	81,773	42,9	2	26,300	17,4	17,0	24,938	17,8	17,4	22,629	18,4	18,0	19,725	15,1	14,8	16,085	8,1	7,4	13,492	6,6	4,9	12,314	6,7	5,1			
	T			T	23,9	14,4		37,0	14,1		38,4	13,5		40,3	12,1		47,5	11,9		46,5	12,7		49,7	13,1				
Mittelwert					32,4	16,7		38,0	14,9		41,5	13,5		40,9	13,2		42,2	14,1		43,3	14,9		41,2	16,3				
alte Kiefer ^c	1	249,792	37,7	1	34,846	228,3	7,3	57,212	144,3	6,8	79,168	109,3	7,1	107,953	91,9	6,4	148,157	49,5	8,5	170,578	42,6	9,2	194,181	38,9	10,7			
	2	146,590	39,8	2	214,946	39,6	12,3	192,58	38,9	12,8	170,624	36,7	13,4	141,839	34,3	13,5	101,635	29,3	14,1	79,214	23,3	14,4	55,611	15,3	13,4			
	T			T	46,7	10,6		44,6	10,0		42,8	9,4		44,2	8,1		31,7	7,6		30,0	7,8		30,4	8,8				
	1	1035,912	63,0	1	158,909	184,7	7,6	384,567	85,5	9,0	469,467	79,4	9,0	621,199	51,2	8,8	714,258	45,0	9,4	878,426	42,5	8,9	940,090	41,6	25,0			
	2	227,666	78,3	2	877,003	63,1	32,2	651,345	65,4	40,0	566,445	65,9	42,9	414,713	65,1	47,9	321,654	57,0	41,6	157,486	61,8	34,6	95,822	62,5	31,5			
	T			T	60,4	27,3		52,0	25,4		50,9	23,8		40,3	19,9		35,7	14,5		37,3	9,2		38,2	22,9				
	1	146,590	39,8	1	43,072	114,3	12,2	59,751	80,4	11,2	68,574	79,6	10,8	77,950	73,3	10,7	89,665	61,1	9,9	109,991	35,5	9,4	120,529	33,9	11,2			
	2	227,666	78,3	2	103,518	40,1	13,8	86,839	38,7	14,6	78,016	37,1	15,2	68,640	35,1	15,9	56,925	33,3	17,4	36,599	28,2	21,0	26,061	23,9	20,5			
	T			T	43,9	10,4		40,0	9,8		42,1	9,5		42,3	9,4		39,5	9,1		27,6	8,8		28,2	9,9				
	1	227,666	78,3	1	66,714	94,7	1,5	94,561	82,7	3,7	121,325	57,1	4,3	142,022	43,7	4,3	169,959	34,4	4,1	190,134	38,1	29,7	208,172	55,8	21,1			
	2	11,205	75,3	2	160,952	75,6	19,8	133,105	74,1	14,4	106,341	71,9	15,6	85,644	63,2	18,8	57,707	44,9	13,0	37,532	28,3	17,0	19,494	23,4	21,8			
	T			T	60,2	14,0		55,3	8,6		45,3	7,6		36,1	7,6		28,1	4,5		32,2	25,0		51,1	19,4				
Mittelwert					52,8	15,6		48,0	13,5		45,3	12,6		40,7	11,3		33,8	8,9		31,8	12,7		37,0	15,3				

Tabelle C.3 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Biomasse (G)	Variationskoeffizient (%)	Stratum	Schnittpunkt am Hauptstamm																							
					0,2			0,3			0,4			0,5			0,6			0,7			0,8					
					Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo	Zg	Vm	Vo			
Vogelbeere ^a	1	106,872	60,7	1	12,270	66,8	54,5	15,011	184,3	49,2	29,219	108,2	45,0	38,883	105,3	43,2	65,948	74,5	58,2	78,477	73,7	55,2	89,547	58,3	59,3			
	2			2	94,602	52,6	50,1	91,861	50,4	49,3	77,653	51,8	53,5	67,989	54,6	56,9	40,924	56,5	53,9	28,395	51,9	59,9	17,325	72,4	77,9			
	T			T	47,2	44,8	44,8	47,9	40,8	40,5	47,9	40,8	40,8	47,9	39,5	39,5	50,8	41,4	41,4	55,8	55,8	43,5		50,2	51,3			
	1	15,996	245,8	112,7	119,106	130,7	111,1	140,073	137,0	91,9	174,4	117,5	84,9	231,694	98,4	76,1	267,718	85,8	70,5	308,022	85,8	70,5	308,022	88,6	79,0			
2	335,339	65,9	53,6	232,229	58,5	45,3	211,262	52,6	45,0	176,935	53,2	47,1	119,641	51,8	50,0	83,617	56,1	53,1	43,313	29,6	24,8	43,313	29,6	24,8				
T			T	63,9	51,4	48,1	63,1	45,5	48,4	64,2	48,4	48,4	64,2	48,4	48,4	66,8	55,2	55,2	77,8	69,3	69,3		77,8	69,3				
Vogelbeere ^a	1	23,910	230,1	105,5	52,229	92,7	107,5	107,687	150,3	98,6	120,538	133,0	95,3	167,413	95,3	85,3	177,816	95,5	81,0	193,872	95,5	81,0	193,872	88,4	86,0			
	2	210,915	66,4	60,1	182,596	63,1	58,9	127,138	51,9	37,6	114,287	42,7	34,7	67,412	30,0	12,4	57,009	27,3	13,4	40,953	17,2	14,6	40,953	17,2	14,6			
	T			T	64,1	55,0	51,7	74,4	49,6	49,6	71,4	51,8	51,8	68,5	60,9	60,9	72,7	61,4	61,4	73,0	71,0	71,0		73,0	71,0			
	1	82,958	118,2	178,0	215,135	173,3	144,4	240,474	170,1	164,8	256,832	162,4	156,4	286,285	144,8	138,4	316,374	139,9	131,7	355,685	133,7	123,9	355,685	133,7	123,9			
2	303,460	78,7	76,5	171,283	56,4	55,5	145,944	41,6	40,3	129,586	32,8	32,7	100,133	29,6	30,3	70,044	30,5	34,1	30,733	27,2	35,0	30,733	27,2	35,0				
T			T	66,8	71,2	84,1	107,0	103,7	108,5	104,5	108,5	104,5	107,6	102,8	102,8	114,6	108,0	108,0	123,1	114,1	114,1		123,1	114,1				
Mittelwert					60,5	55,6	56,7	73,1	59,9	74,0	61,1	73,6	64,5	77,5	67,0	81,0	76,4	61,5	81,0	76,4	61,5	81,0	76,4	61,5				
Vogelbeere ^a	1	2513,49	73,6	51,5	3067,73	182,0	46,6	5890,60	107,0	43,1	7795,29	104,6	41,3	12589,57	76,4	56,4	14715,17	72,3	54,2	16403,06	58,6	61,5	16403,06	58,6	61,5			
	2	16213,64	47,5	52,4	15659,4	46,0	52,4	12836,53	49,8	57,7	10931,84	53,9	61,7	6137,56	49,6	52,4	4011,96	46,3	57,0	2324,07	69,6	77,5	2324,07	69,6	77,5			
	T			T	42,3	45,9	48,7	44,5	47,9	41,8	47,9	41,8	53,7	39,9	39,9	53,9	41,6	41,6	57,6	44,3	44,3	52,1	54,7	54,7				
	1	2746,55	249,8	110,1	17315,6	125,4	98,7	20541,85	125,4	82,7	25614,01	110,0	77,7	32912,61	91,9	70,3	37251,26	79,2	66,1	41478,85	78,4	73,0	41478,85	78,4	73,0			
2	42865,61	53,7	48,4	28296,56	46,1	41,9	25070,31	42,5	43,1	19998,15	45,1	42,5	12699,55	47,3	46,2	8360,9	55,1	55,3	4133,31	31,2	30,8	4133,31	31,2	30,8				
T			T	52,6	46,0	45,6	55,5	45,6	61,1	44,1	44,1	64,9	47,4	47,4	67,6	52,3	52,3	65,5	54,9	54,9	71,4	66,4	66,4					
Vogelbeere ^a	1	4126,54	204,1	85,8	8454,15	85,0	91,7	17370,48	136,2	86,1	19525,2	119,9	83,0	26394,87	84,4	73,1	27890,68	83,4	70,4	30110,42	77,0	76,9	30110,42	77,0	76,9			
	2	30956,22	55,7	53,0	26628,61	52,4	52,0	17712,28	40,2	29,7	15557,56	32,5	27,9	8687,89	24,6	21,1	7192,08	23,6	22,8	4972,34	16,5	24,2	4972,34	16,5	24,2			
	T			T	54,7	47,8	44,7	45,2	45,2	70,4	45,2	68,3	47,8	47,8	63,8	55,2	55,2	66,5	56,2	56,2	66,2	66,1	66,1					
	1	11935,52	108,4	153,2	29010,3	152,9	126,4	32458,09	151,9	147,0	34709,69	145,0	139,2	38618,05	128,8	122,5	42484,58	126,3	118,1	46904,71	121,0	111,5	46904,71	121,0	111,5			
2	37846,59	71,5	69,4	20771,81	53,2	53,4	17324,02	38,9	39,5	15072,42	32,5	35,0	11164,06	26,9	31,9	7297,53	31,4	37,4	2877,4	29,2	43,8	2877,4	29,2	43,8				
T			T	60,3	64,3	77,0	91,8	77,0	99,9	96,8	101,5	97,6	100,1	95,3	95,3	107,9	100,9	100,9	114,0	105,1	105,1		114,0	105,1				
Mittelwert					52,5	51,0	51,0	60,2	53,1	58,2	72,1	58,2	71,4	61,1	61,1	74,4	64,1	64,1	75,9	73,1	73,1		75,9	73,1				

Zg: Zielgröße (G); Vm: Variationskoeffizient mit Hauptstamm (%); Vo: Variationskoeffizient ohne Hauptstamm (%); T: Variationskoeffizient am Baum.

^a Nadelbiomasse; ^b Astbiomasse; ^c Blattbiomasse; ^d Blattfläche

Tabelle C.4 Variationskoeffizient der Zielgröße am Baum mit und ohne Hauptstamm nach der Teilung der Baumkrone in drei Straten.

Spezies	Baum	Stratum	Schnittpunkte am Hauptstamm															
			0,2/0,4		0,2/0,6		0,2/0,8		0,4/0,6		0,4/0,8		0,6/0,8					
			Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm				
Fichte ^a	1	1	1.462	345,5	91,2	1.462	345,5	91,2	1.462	307,3	97,4	1.674	307,3	97,4	9.151	112,3	84,0	
		2	0.212	525,6	76,5	7.689	116,1	79,7	7.477	116,7	76,6	14.356	90,0	86,3	6.879	96,9	85,9	
		3	15,972	88,7	111,4	8.495	97,6	114,4	66,0	8.495	97,6	114,4	1.616	33,4	66,0	1.616	33,4	66,0
		Total	85,5	103,8	65,5	74,8	65,5	80,7	72,6	74,2	64,6	78,9	71,1	69,5	55,3	69,5	55,3	
	2	1	6.747	195,0	96,1	6.747	195,0	96,1	22.667	124,0	85,4	22.667	124,0	85,4	33.539	96,2	78,4	
		2	15,920	131,8	78,7	26.793	94,0	72,3	10.873	122,9	69,9	16.847	80,1	91,3	5.974	85,4	80,8	
		3	18,949	74,2	113,4	8.076	80,3	108,8	8.076	80,3	87,2	2.102	90,5	108,8	2.102	90,5	108,8	
		Total	68,4	61,8	51,9	70,0	51,9	67,0	87,0	76,4	52,8	75,1	59,7	78,6	64,5	78,6	64,5	
	3	1	31.660	186,2	53,5	31.660	186,2	53,5	70.630	113,6	68,0	70.630	113,6	68,0	83.699	96,7	71,5	
		2	38.970	148,2	78,2	52.039	115,9	80,8	62.281	96,4	82,1	13.069	165,8	74,2	23.312	112,3	75,5	
		3	28.924	80,5	100,7	15.855	84,8	110,3	5.613	84,8	110,3	5.613	48,6	59,0	5.613	48,6	59,0	
		Total	86,1	45,6	48,8	85,8	48,8	84,6	54,2	84,6	52,3	84,8	51,5	82,8	60,7	82,8	60,7	
4	1	3.212	191,5	62,7	3.212	191,5	62,7	4.574	162,5	53,5	4.574	162,5	53,5	8.617	109,0	53,5		
	2	1.362	245,7	22,5	5.405	129,7	47,0	7.409	92,7	60,4	4.043	154,4	53,2	6.047	103,6	65,9		
	3	6.631	87,5	94,3	2.588	94,6	93,7	0.584	84,2	84,2	2.588	94,6	93,7	0.584	63,5	84,2		
	Total	81,1	58,7	36,1	86,1	36,1	82,3	44,0	89,3	36,2	81,1	51,5	86,8	42,0	87,5	42,7		
Mittelwert			80,3	67,5	50,6	79,2	50,6	78,7	64,5	81,1	51,5	81,4	56,1	79,6	55,8	55,8		
junge Kiefer ^b	1	1	43.545	148,2	10,3	43.545	148,2	10,3	100.688	74,1	9,8	100.688	74,1	9,8	127.088	59,3	13,4	
		2	57.143	97,4	9,3	83.543	73,9	14,7	127.857	21,7	13,7	26,40	20,9	27,1	15,5	44.314	30,0	10,9
		3	85.869	29,1	18,4	59.469	28,6	17,1	15.155	35,7	27,9	59.469	28,6	17,1	15.155	35,7	27,9	
		Total	47,6	9,3	8,9	48,7	8,9	37,8	10,0	44,4	8,2	41,4	8,2	41,4	8,2	41,1	9,8	
	2	1	17.159	123,6	13,9	17.159	123,6	13,9	37.874	65,6	14,7	37.874	65,6	14,7	59.801	46,3	14,4	
		2	20.715	87,0	15,4	42.642	52,2	14,6	21.927	72,2	13,7	31.489	67,1	17,5	9.562	128,9	19,7	
		3	43.899	25,8	15,9	21.972	23,4	17,1	12.410	13,6	10,3	12.410	13,6	10,3	12.410	13,6	10,3	
		Total	36,8	9,8	9,4	38,1	9,4	44,8	11,3	44,8	9,0	39,9	9,7	37,1	37,1	10,9		
	3	1	3.868	19,1	19,1	3.868	19,1	19,1	10.297	126,4	44,0	10.297	126,4	44,0	15.359	75,5	36,1	
		2	6.429	161,1	50,2	11.491	85,5	38,1	16.283	70,9	34,9	5.062	8,5	8,5	4.792	85,6	23,9	
		3	15.602	20,4	14,2	10.540	17,5	16,1	5.748	0,3	0,3	10.540	17,5	16,1	5.748	0,3	0,3	
		Total	41,9	15,4	18,4	38,7	18,4	44,7	22,1	50,8	18,8	57,9	18,8	47,5	47,5	21,9		
4	1	5.241	113,8	14,8	5.241	113,8	14,8	8.912	127,6	14,4	8.912	127,6	14,4	15.456	96,6	23,1		
	2	3.671	145,2	9,0	10.215	118,0	23,6	13.986	96,0	21,2	6.544	142,2	28,2	10.315	111,4	24,0		
	3	22.629	18,4	18,0	16.085	8,1	7,4	12.314	6,7	5,1	16.085	8,1	7,4	12.314	6,7	5,1		
	Total	28,6	13,2	8,9	42,9	8,9	46,7	9,9	46,8	8,1	44,7	11,0	51,3	51,3	9,1	50,6	11,6	
Mittelwert			38,7	11,9	11,4	42,1	11,4	43,5	13,3	44,7	11,0	47,6	11,5	44,1	13,6	13,6		

Tabelle C.4 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Schnittpunkte am Hauptstamm																		
		0,2/0,4		0,2/0,6		0,2/0,8		0,4/0,6		0,4/0,8		0,6/0,8								
		Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm							
alle Kiefer ^b	1	1	34,846	228,3	7,3	34,846	228,3	7,3	79,168	109,3	7,1	79,168	109,3	7,1	148,157	49,5	8,5			
		2	44,322	126,2	6,2	113,311	53,5	8,4	159,335	42,8	10,9	68,989	67,2	9,5	115,013	49,6	12,2	46,024	78,6	14,8
		3	170,624	36,7	13,4	101,635	29,3	14,1	55,611	15,3	13,4	101,635	29,3	14,1	55,611	15,3	13,4	55,611	15,3	13,4
	Total		46,3	9,3	41,8	7,0	42,1	7,6	41,1	6,7	41,1	6,7	41,1	6,7	41,6	6,7	32,9	6,5		
	2	1	158,909	184,7	7,6	158,909	184,7	7,6	469,467	79,4	9,0	469,467	79,4	9,0	714,258	45,0	9,4			
		2	310,558	98,8	9,6	555,349	50,8	9,8	781,181	41,7	28,3	244,791	76,5	9,6	470,623	46,6	10,7	225,832	52,4	11,2
		3	566,445	65,9	42,9	321,654	57,0	41,6	95,822	62,5	31,5	321,654	57,0	41,6	95,822	62,5	31,5	95,822	62,5	31,5
	Total		54,6	23,7	43,1	14,0	42,7	21,6	44,0	13,7	42,1	7,0	42,1	7,0	42,1	7,0	33,6	7,5		
	3	1	43,072	114,3	12,2	43,072	114,3	12,2	68,574	79,6	10,8	68,574	79,6	10,8	89,665	61,1	9,9			
		2	25,502	122,2	7,9	46,593	84,8	7,2	77,457	40,3	10,6	21,091	129,1	6,0	51,955	48,1	11,6	30,864	63,1	14,2
		3	78,016	37,1	15,2	56,925	33,3	17,4	26,061	23,9	20,5	56,925	33,3	17,4	26,061	23,9	20,5	26,061	23,9	20,5
	Total		44,4	44,4	9,0	45,0	8,0	40,0	7,6	43,6	8,5	41,2	7,5	41,2	7,5	39,9	7,7			
4	1	66,714	94,7	1,5	66,714	94,7	1,5	121,325	57,1	4,3	121,325	57,1	4,3	169,959	34,4	4,1				
	2	54,611	87,6	6,2	103,245	39,7	5,0	141,458	54,2	26,9	48,634	57,7	3,2	86,847	55,3	38,3	38,213	52,6	6,9	
	3	106,341	71,9	15,6	57,707	44,9	13,0	19,494	23,4	21,8	57,707	44,9	13,0	19,494	23,4	21,8	19,494	23,4	21,8	
Total		48,4	7,4	35,0	4,0	43,7	16,8	43,7	16,8	43,7	16,8	43,7	16,8	37,1	14,9	27,2	3,8			
Mittelwert			48,4	12,4	41,2	8,3	42,1	13,4	40,9	8,3	40,5	9,0	40,5	9,0	33,4	6,4				
Vogelberrere ^c	1	1	12,270	66,8	54,5	12,270	66,8	54,5	29,219	108,2	45,0	29,219	108,2	45,0	65,948	74,5	58,2			
		2	16,949	125,6	23,0	53,678	76,1	49,3	77,277	52,8	43,6	36,729	92,9	53,7	60,328	56,9	46,2	23,599	58,1	36,6
		3	77,653	51,8	53,5	40,924	56,5	53,9	17,325	72,4	77,9	40,924	56,5	53,9	17,325	72,4	77,9	17,325	72,4	77,9
	Total		43,3	39,5	44,6	32,8	40,7	34,5	48,6	30,3	45,2	31,5	45,2	31,5	49,2	38,9				
	2	1	15,996	245,8	112,7	15,996	245,8	112,7	140,073	137,0	91,9	140,073	137,0	91,9	231,694	98,4	76,1			
		2	124,077	127,8	62,8	215,698	81,4	53,3	292,026	68,2	63,1	91,621	98,1	36,9	167,949	63,1	45,8	76,328	86,0	54,5
		3	211,262	52,6	45,0	119,641	51,8	50,0	43,313	29,6	24,8	119,641	51,8	50,0	43,313	29,6	24,8	43,313	29,6	24,8
	Total		56,3	35,4	54,1	37,2	57,9	52,8	62,8	41,5	62,5	42,8	62,5	42,8	67,6	51,7				
	3	1	23,910	230,1	105,5	23,910	230,1	105,5	107,687	150,3	98,6	107,687	150,3	98,6	167,413	95,3	85,3			
		2	83,777	155,2	77,7	143,503	83,4	71,1	169,962	73,1	76,6	59,726	75,4	58,5	86,185	63,4	43,6	26,459	70,3	8,2
		3	127,138	51,9	37,6	67,412	30,0	12,4	40,953	17,2	14,6	67,412	30,0	12,4	40,953	17,2	14,6	40,953	17,2	14,6
	Total		66,3	36,0	56,8	44,9	58,0	56,5	72,1	47,7	72,8	48,0	72,8	48,0	68,5	60,9				
4	1	82,958	118,2	178,0	82,958	118,2	178,0	240,474	170,1	164,8	240,474	170,1	164,8	286,285	144,8	138,4				
	2	157,516	145,5	100,5	203,327	108,2	110,9	272,727	88,2	87,0	45,811	102,7	54,0	115,211	66,2	42,7	69,4	71,3	28,3	
	3	145,944	41,6	40,3	100,133	29,6	30,3	30,733	27,2	35,0	100,133	29,6	30,3	30,733	27,2	35,0	30,733	27,2	35,0	
Total		66,4	58,1	62,8	70,2	67,2	72,4	106,8	103,1	107,7	103,4	107,7	103,4	108,1	102,7					
Mittelwert			58,1	42,3	54,6	46,3	56,0	54,1	72,6	55,7	72,1	56,4	73,4	63,6						

Tabelle C.4 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Schnittpunkte am Hauptstamm														
		0,2/0,4		0,2/0,6		0,2/0,8		0,4/0,6		0,4/0,8		0,6/0,8				
		Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm	Zielgröße	Variationskoeffizient mit/ohne Hauptstamm			
1	1	2513,49	73,6	51,5	2513,49	73,6	51,5	2513,49	73,6	51,5	5890,60	107,0	43,1	12589,57	76,4	56,4
	2	3377,11	124,7	22,5	10076,08	79,8	49,3	13883,57	55,3	45,1	6693,97	99,2	56,2	10512,46	62,1	49,6
	3	12836,53	49,8	57,7	6137,56	49,6	52,4	2324,07	69,6	77,5	6137,56	49,6	52,4	2324,07	69,6	77,5
	Total	42,0	40,4	32,3	47,0	32,3	43,1	35,5	29,7	51,5	29,7	49,2	32,4	53,5	39,7	70,3
2	1	2746,55	249,8	110,1	2746,55	249,8	110,1	2746,55	249,8	110,1	20541,85	125,4	82,7	20541,85	125,4	82,7
	2	17795,30	118,8	55,2	30166,06	76,7	48,7	38732,30	59,4	59,5	12370,76	97,2	37,5	20937,00	56,6	45,0
	3	25070,31	42,5	43,1	12699,55	47,3	46,2	4133,31	31,2	30,8	12699,55	47,3	46,2	4133,31	31,2	30,8
	Total	54,0	32,7	35,3	54,5	35,3	52,7	51,0	40,6	63,7	63,7	62,2	42,7	68,1	51,7	
3	1	4126,54	204,1	85,8	4126,54	204,1	85,8	4126,54	204,1	85,8	17370,48	136,2	86,1	17370,48	136,2	86,1
	2	13243,94	144,3	67,8	22268,33	74,7	60,6	25983,88	63,7	69,6	9024,39	66,7	43,2	12739,94	53,0	33,2
	3	17712,28	40,2	29,7	8687,89	24,6	21,1	4972,34	16,5	24,2	8687,89	24,6	21,1	4972,34	16,5	24,2
	Total	62,9	32,3	40,1	53,5	40,1	53,0	52,6	44,4	69,8	69,8	70,2	44,4	63,9	55,1	
4	1	11935,52	108,4	153,2	11935,52	108,4	153,2	11935,52	108,4	153,2	32458,09	151,9	147,0	32458,09	151,9	147,0
	2	20522,57	133,6	88,8	26682,53	96,9	99,1	34969,19	80,0	78,5	6159,96	95,1	50,0	14446,62	62,3	37,5
	3	17324,02	38,9	39,5	11164,06	26,9	31,9	2877,4	29,2	43,8	11164,06	26,9	31,9	2877,4	29,2	43,8
	Total	62,4	53,6	58,4	65,0	58,4	61,9	66,9	99,9	99,9	99,9	100,7	96,5	100,6	95,1	
	Mittelwert	55,3	39,8	43,2	53,4	43,2	52,7	51,5	71,2	52,8	70,6	54,0	71,5	60,4	60,4	

^a Nadelbiomasse, ^b Astbiomasse, ^c Blattbiomasse, ^d Blattfläche

Tabelle C.5 Variationskoeffizient der Zielgröße aus Ziehen mit und ohne Zurücklegen am Baum ohne Hauptstamm.

Spezies	Baum	Zielgröße	Löschen ab (%)	Verfahren	Stichprobenumfang (n)											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fichte ^a	1	17,646	10	ZmZ... ZoZ ZmZ...	109,7	77,6	63,4	54,9	49,1	44,8	41,5	38,8	36,6	34,7	33,1	31,7
	2	41,615	10	ZmZ... ZoZ ZmZ...	101,4	71,7	58,5	50,7	45,3	41,4	38,3	35,8	33,8	32,1	30,6	29,3
	3	99,555	9	ZmZ... ZoZ ZmZ...	80,1	56,7	46,3	40,1	35,8	32,7	30,3	28,3	26,7	25,3	24,2	23,1
	4	11,205	13	ZmZ... ZoZ ZmZ...	85,2	60,2	49,2	42,6	38,1	34,8	32,2	30,1	28,4	26,9	25,7	24,6
junge Kiefer ^b	1	186,557	5	ZmZ... ZoZ ZmZ...	15,2	10,7	8,8	7,6	6,8	6,2	5,7	5,4	5,1	4,8	4,6	4,4
	2	81,773	6	ZmZ... ZoZ ZmZ...	16,7	11,8	9,6	8,3	7,4	6,8	6,3	5,9	5,6	5,3	5,0	4,8
	3	25,899	23	ZmZ... ZoZ ZmZ...	29,7	21,0	17,1	14,8	13,3	12,1	11,2	10,5	9,9	9,4	8,9	8,6
	4	31,541	20	ZmZ... ZoZ ZmZ...	17,3	12,2	10,0	8,6	7,7	7,0	6,5	6,1	5,8	5,5	5,2	5,0
alte Kiefer ^b	1	249,792	7	ZmZ... ZoZ ZmZ...	11,9	8,4	6,9	6,0	5,3	4,9	4,5	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4
	2	1035,912	5	ZmZ... ZoZ ZmZ...	32,6	23,0	18,8	16,3	14,6	13,3	12,3	11,5	10,9	10,3	9,8	9,4
	3	146,590	6	ZmZ... ZoZ ZmZ...	13,9	9,8	8,0	6,9	6,2	5,7	5,2	4,9	4,6	4,4	4,2	4,0
	4	227,666	5	ZmZ... ZoZ ZmZ...	26,9	19,0	15,5	13,4	12,0	11,0	10,2	9,5	9,0	8,5	8,1	7,8
Vogelbeere ^c	1	106,872	12	ZmZ... ZoZ ZmZ...	54,4	38,5	31,4	27,2	24,3	22,2	20,6	19,2	18,1	17,2	16,4	15,7
	2	351,335	11	ZmZ... ZoZ ZmZ...	71,0	50,2	41,0	35,5	31,8	29,0	26,8	25,1	23,7	22,5	21,4	20,5
	3	234,825	12	ZmZ... ZoZ ZmZ...	72,2	51,1	41,7	36,1	32,3	29,5	27,3	25,5	24,1	22,8	21,8	20,8
	4	386,418	18	ZmZ... ZoZ ZmZ...	116,9	82,7	67,9	58,5	52,3	47,7	44,2	41,3	39,0	37,0	35,3	33,8
Vogelbeere ^d	1	18727,13	12	ZmZ... ZoZ ZmZ...	54,6	38,6	31,5	27,3	24,4	22,3	20,6	19,3	18,2	17,3	16,5	15,8
	2	45612,16	11	ZmZ... ZoZ ZmZ...	64,5	45,6	37,2	32,2	28,8	26,3	24,4	22,8	21,5	20,4	19,4	18,6
	3	35082,76	12	ZmZ... ZoZ ZmZ...	63,4	44,9	36,6	31,7	28,4	25,9	24,0	22,4	21,1	20,1	19,1	18,3
	4	49782,11	18	ZmZ... ZoZ ZmZ...	105,7	74,7	61,0	52,8	47,2	43,1	39,9	37,4	35,2	33,4	31,9	30,5

^a Nadelbiomasse; ^b Astbiomasse; ^c Blattbiomasse; ^d Blattfläche

Tabelle C.6 Variationskoeffizient der Zielgröße aus Ziehen mit und ohne Zurücklegen am Baum ohne Hauptstamm nach der Teilung der Baumkrone in zwei Straten (Schnittpunkt: 0,6).

Spezies	Baum	Verfahren	Stratum	Zielgröße	Löschen ab (%)	Stichprobenumfang (n)														
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Fichte ^a	1	ZmZ...	1	9,151	64	84,0	59,4	48,5	42,0	37,6	34,3	31,8	29,7	28,0	26,6	25,3	24,3			
			2	8,495	21	114,4	80,9	66,0	57,2	51,2	46,7	43,2	40,4	38,1	36,2	34,5	33,0			
		ZoZ_ZmZ...	1				59,2	48,2	41,6	37,0	33,7	-	-	-	-	-	-	-		
	junge Kiefer ^b	1	ZmZ...	1	127,088	28	13,4	9,4	7,7	6,7	6,0	5,5	5,0	4,7	4,5	4,2	4,0	3,9		
				2	59,469	14	17,1	12,1	9,8	8,5	7,6	7,0	6,4	6,0	5,7	5,4	5,1	4,9		
			ZoZ_ZmZ...	1				9,3	7,6	6,5	5,7	5,2	4,7	4,4	4,1	3,8	3,6	3,4		
		alte Kiefer ^b	1	ZmZ...	1	148,157	34	8,5	6,0	4,9	4,2	3,8	3,5	3,2	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	
					2	101,635	14	14,1	10,0	8,1	7,0	6,3	5,7	5,3	5,0	4,7	4,5	4,2	4,1	
				ZoZ_ZmZ...	1				5,9	4,7	4,0	3,6	3,2	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	-	
			alte Kiefer ^b	2	ZmZ...	1	714,258	16	9,4	6,6	5,4	4,7	4,2	3,8	3,5	3,3	3,1	3,0	2,8	2,7
						2	321,654	12	41,6	29,4	24,0	20,8	18,6	17,0	15,7	14,7	13,9	13,1	12,5	12,0
					ZoZ_ZmZ...	1				6,6	5,3	4,6	4,1	3,7	3,4	3,1	2,9	2,8	2,6	2,5
alte Kiefer ^b				3	ZmZ...	1	89,665	25	9,9	7,0	5,7	5,0	4,4	4,1	3,8	3,5	3,3	3,1	3,0	2,9
						2	56,925	18	17,4	12,3	10,0	8,7	7,8	7,1	6,6	6,1	5,8	5,5	5,2	5,0
					ZoZ_ZmZ...	1				6,9	5,6	4,8	4,2	3,8	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4
	alte Kiefer ^b			4	ZmZ...	1	169,959	8	4,1	2,9	2,3	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2
						2	57,707	12	13,0	9,2	7,5	6,5	5,8	5,3	4,9	4,6	4,3	4,1	3,9	3,8
					ZoZ_ZmZ...	1				2,9	2,3	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1
		alte Kiefer ^b		4	ZmZ...	1				9,2	7,5	6,5	5,8	-	-	-	-	-	-	-
						2														
					ZoZ_ZmZ...	1														

Tabelle C.6 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Verfahren	Stratum	Zielgröße	Löschen ab (%)	Stichprobenumfang (n)											
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vogelbeere ^c	1	ZmZ...	1	65,948	37	58,2	41,2	33,6	29,1	26,0	23,8	22,0	20,6	19,4	18,4	17,6	16,8
			2	40,924	30	53,9	38,1	31,1	27,0	24,1	22,0	20,4	19,1	18,0	17,1	16,3	15,6
		ZoZ_ZmZ...	1			40,4	32,3	27,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2				37,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	ZmZ...	1	231,694	19	76,1	53,8	43,9	38,0	34,0	31,1	28,8	26,9	25,4	24,1	22,9	22,0
			2	119,641	27	50,0	35,4	28,9	25,0	22,4	20,4	18,9	17,7	16,7	15,8	15,1	14,4
		ZoZ_ZmZ...	1			52,9	42,5	36,2	31,8	28,4	25,8	23,6	-	-	-	-	-
	2				34,1	26,8	22,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	ZmZ...	1	167,413	19	85,3	60,4	49,3	42,7	38,2	34,8	32,3	30,2	28,4	27,0	25,7	24,6
			2	67,412	17	12,4	8,8	7,2	6,2	5,6	5,1	4,7	4,4	4,1	3,9	3,7	3,6
		ZoZ_ZmZ...	1			59,3	47,5	40,3	35,3	31,5	28,4	-	-	-	-	-	-
	2				8,5	6,7	5,6	4,8	4,1	-	-	-	-	-	-	-	
4	ZmZ...	1	286,285	18	138,4	97,8	79,9	69,2	61,9	56,5	52,3	48,9	46,1	43,8	41,7	39,9	
		2	100,133	20	30,3	21,4	17,5	15,2	13,6	12,4	11,5	10,7	10,1	9,6	9,1	8,7	
	ZoZ_ZmZ...	1			96,4	77,6	66,2	58,3	-	-	-	-	-	-	-	-	
2				20,8	16,5	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Vogelbeere ^d	1	ZmZ...	1	12589,57	37	56,4	39,9	32,6	28,2	25,2	23,0	21,3	19,9	18,8	17,8	17,0	16,3
			2	6137,56	30	52,4	37,0	30,3	26,2	23,4	21,4	19,8	18,5	17,5	16,6	15,8	15,1
		ZoZ_ZmZ...	1			39,1	31,3	26,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2				35,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	ZmZ...	1	32912,61	19	70,3	49,7	40,6	35,1	31,4	28,7	26,6	24,8	23,4	22,2	21,2	20,3
			2	12699,55	27	46,2	32,7	26,7	23,1	20,7	18,9	17,5	16,4	15,4	14,6	13,9	13,4
		ZoZ_ZmZ...	1			48,9	39,3	33,5	29,4	26,4	24,0	22,0	-	-	-	-	
	2				32,0	25,5	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-		
	3	ZmZ...	1	26394,87	19	73,1	51,7	42,2	36,6	32,7	29,9	27,6	25,9	24,4	23,1	22,0	21,1
			2	8687,89	17	21,1	14,9	12,2	10,6	9,5	8,6	8,0	7,5	7,0	6,7	6,4	6,1
		ZoZ_ZmZ...	1			50,7	40,6	34,4	30,1	26,8	24,1	-	-	-	-	-	
	2				14,3	11,1	9,1	7,6	6,4	-	-	-	-	-	-		
4	ZmZ...	1	38618,05	18	122,5	86,6	70,7	61,3	54,8	50,0	46,3	43,3	40,8	38,7	36,9	35,4	
		2	11164,06	20	31,9	22,6	18,4	16,0	14,3	13,0	12,1	11,3	10,6	10,1	9,6	9,2	
	ZoZ_ZmZ...	1			85,3	68,6	58,5	51,5	-	-	-	-	-	-	-		
2				21,1	16,1	12,9	-	-	-	-	-	-	-	-			

^a Nadelbiomasse; ^b Astbiomasse; ^c Blattbiomasse; ^d Blattfläche

Tabelle C.7 Variationskoeffizient der Zielgröße aus Ziehen mit und ohne Zurücklegen am Mittelstratum des Baumes ohne Hauptstamm nach der Teilung der Baumkrone in drei Straten (Schnittpunkte: 0,4/0,6).

Spezies	Baum	Verfahren	Zielgröße	Löschen ab (%)	Stichprobenumfang (n)											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fichte ^a	1	ZmZ...	7,477	77	76,6	54,2	44,2	38,3	34,3	31,3	29,0	27,1	25,5	24,2	23,1	22,1
		ZoZ_ZmZ...				54,1	44,1	38,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	ZmZ...	10,873	61	69,9	49,4	40,3	34,9	31,2	28,5	26,4	24,7	23,3	22,1	21,1	20,2
		ZoZ_ZmZ...				49,1	39,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	ZmZ...	13,069	63	74,2	52,4	42,8	37,1	33,2	30,3	28,0	26,2	24,7	23,5	22,4	21,4	
	ZoZ_ZmZ...				51,9	41,9	35,8	31,7	28,6	26,1	-	-	-	-	-	
4	ZmZ...	4,043	63	53,2	37,6	30,7	26,6	23,8	21,7	20,1	18,8	17,7	16,8	16,0	15,3	
	ZoZ_ZmZ...				36,7	29,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
junge Kiefer ^b	1	ZmZ...	26,400	70	20,9	14,8	12,1	10,5	9,4	8,5	7,9	7,4	7,0	6,6	6,3	6,0
		ZoZ_ZmZ...				14,2	11,1	9,2	7,8	6,7	5,7	4,9	4,2	3,5	-	-
	2	ZmZ...	21,927	51	13,7	9,7	7,9	6,8	6,1	5,6	5,2	4,8	4,6	4,3	4,1	4,0
		ZoZ_ZmZ...				9,4	7,4	6,2	5,3	4,7	4,1	3,7	3,3	-	-	-
3	ZmZ...	5,062	101	8,5	6,0	4,9	4,2	3,8	3,5	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6	2,4	
	ZoZ_ZmZ...				4,5	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	ZmZ...	6,544	81	28,2	19,9	16,3	14,1	12,6	11,5	10,7	10,0	9,4	8,9	8,5	8,1	
	ZoZ_ZmZ...				19,3	15,3	12,8	11,0	9,7	8,6	7,7	6,9	6,2	-	-	
alte Kiefer ^b	1	ZmZ...	68,989	57	9,5	6,7	5,5	4,8	4,3	3,9	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	2,7
		ZoZ_ZmZ...				6,6	5,3	4,5	3,9	-	-	-	-	-	-	-
	2	ZmZ...	244,791	39	9,6	6,8	5,6	4,8	4,3	3,9	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8
		ZoZ_ZmZ...				6,7	5,4	4,5	4,0	3,5	3,2	2,9	2,7	-	-	-
3	ZmZ...	21,091	63	6,0	4,3	3,5	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	
	ZoZ_ZmZ...				4,0	3,1	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	ZmZ...	48,634	32	3,2	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	
	ZoZ_ZmZ...				2,3	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	-	
Vogelbeere ^c	1	ZmZ...	36,729	64	53,7	38,0	31,0	26,9	24,0	21,9	20,3	19,0	17,9	17,0	16,2	15,5
		ZoZ_ZmZ...				32,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	ZmZ...	91,621	55	36,9	26,1	21,3	18,4	16,5	15,0	13,9	13,0	12,3	11,7	11,1	10,6
		ZoZ_ZmZ...				24,7	19,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	ZmZ...	59,726	53	58,5	41,4	33,8	29,3	26,2	23,9	22,1	20,7	19,5	18,5	17,6	16,9	
	ZoZ_ZmZ...				39,9	31,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	ZmZ...	45,811	71	54,0	38,2	31,2	27,0	24,2	22,1	20,4	19,1	18,0	17,1	16,3	15,6	
	ZoZ_ZmZ...				37,1	29,3	24,6	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vogelbeere ^d	1	ZmZ...	6698,97	64	56,2	39,7	32,4	28,1	25,1	22,9	21,2	19,9	18,7	17,8	16,9	16,2
		ZoZ_ZmZ...				33,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	ZmZ...	12370,7 6	55	37,5	26,5	21,6	18,7	16,7	15,3	14,2	13,2	12,5	11,8	11,3	10,8
		ZoZ_ZmZ...				24,9	18,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	ZmZ...	9024,39	53	43,2	30,6	24,9	21,6	19,3	17,6	16,3	15,3	14,4	13,7	13,0	12,5	
	ZoZ_ZmZ...				29,6	23,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	ZmZ...	6159,96	71	50,0	35,3	28,8	25,0	22,3	20,4	18,9	17,7	16,7	15,8	15,1	14,4	
	ZoZ_ZmZ...				34,2	27,0	22,6	-	-	-	-	-	-	-	-	

^a Nadelbiomasse; ^b Astbiomasse; ^c Blattbiomasse; ^d Blattfläche

Tabelle C.8 Quotient zwischen den Variationskoeffizienten der Zielgröße aus Ziehen mit und ohne Zurücklegen am Baum ohne Hauptstamm.

Spezies	Zielgröße	Baum	Löschen ab (%)	Variationskoeffizient (%)	VarI/VarY	Primäreinheiten	Maximal n _{ZoZ}	Beziehung Zielgröße-unbedingte Wahrscheinlichkeit				Quotient zwischen Variationskoeffizienten (ZoZ / ZmZ) (%)				
								Baum		Primäreinheiten		Stichprobenumfang (n)				
								Steigung	S _y (%)	Steigung	S _y (%)	2	3	4	5	6
Fichte	Nadelbiomasse	1	10	109,7	0,33	29	12	26,2	130	17,5	67	99	99	98	97	97
		2	10	101,4	0,36	24	4	40,2	154	41,1	90	98	96	93	-	-
		3	9	80,1	0,27	46	7	112,8	98	98,7	71	99	98	97	96	95
		4	13	85,2	0,67	36	6	11,1	99	10,9	110	97	94	91	88	84
junge Kiefer	Astbiomasse	1	5	15,2	0,98	128	18	184,0	20	186,6	19	100	99	97	97	97
		2	6	16,7	0,98	89	12	80,6	25	81,8	25	98	98	96	95	93
		3	23	29,7	1,00	46	5	25,9	19	25,9	19	100	99	99	98	-
		4	20	17,3	1,00	72	5	31,5	17	31,5	17	99	98	99	97	-
alte Kiefer	Astbiomasse	1	7	11,9	0,93	120	8	240,6	15	249,8	17	99	97	97	96	94
		2	5	32,6	0,27	101	10	1381,5	78	1035,9	45	99	98	96	95	94
		3	6	13,9	0,86	106	9	149,8	17	146,6	16	99	99	99	97	96
		4	5	26,9	0,59	113	8	318,8	83	227,7	71	96	92	88	83	78
Vogelbeere	Blattbiomasse	1	12	54,4	0,64	21	6	100,3	40	100,2	32	99	98	97	97	96
		2	11	71,0	0,47	23	6	421,3	59	351,0	58	98	97	95	93	91
		3	12	72,2	0,41	18	5	294,7	63	230,4	55	98	96	94	92	-
		4	18	116,9	0,36	12	5	633,0	137	386,4	91	97	93	91	87	-
Vogelbeere	Blattfläche	1	12	54,6	0,76	21	6	16597,8	45	17585,8	40	99	97	96	94	93
		2	11	64,5	0,48	23	6	51084,1	48	45578,7	44	99	98	97	96	95
		3	12	63,4	0,41	18	5	41252,9	51	34364,5	46	98	97	95	93	-
		4	18	105,7	0,37	12	5	75754,4	116	49782,1	81	97	94	91	88	-

Tabelle C.9 Quotient zwischen den Variationskoeffizienten der Zielgröße aus Ziehen mit und ohne Zurücklegen im unteren Stratum des Baumes ohne Hauptstamm nach der Teilung der Baumkrone in zwei Straten (Schnittpunkt: 0,6).

Spezies	Zielgröße	Baum	Löschen ab (%)	Variationskoeffizient (%)	Var./VarY	Primäreinheiten	Maximal n _{ZoZ}	Beziehung Zielgröße-unbedingte Wahrscheinlichkeit				Quotient zwischen Variationskoeffizienten (ZoZ / ZmZ) (%)				
								Baum		Primäreinheiten		Stichprobenumfang (n)				
								Steigung	S _y (%)	Steigung	S _y (%)	2	3	4	5	6
Fichte	Nadelbiomasse	1	64	84,0	0,14	14	6	11,2	63	9,1	27	100	99	99	98	98
		2	24	78,4	0,14	18	8	34,2	59	33,1	28	100	99	99	99	98
		3	22	71,5	0,15	33	9	90,5	45	83,1	34	100	99	99	98	98
		4	41	53,5	0,39	21	7	7,1	46	8,5	36	99	98	97	95	94
junge Kiefer	Astbiomasse	1	28	13,4	1,00	84	17	127,1	17	127,1	17	99	99	97	95	95
		2	18	14,4	1,00	56	17	59,8	15	59,8	15	99	98	97	97	95
		3	62	36,1	1,00	27	8	15,4	20	15,4	20	100	99	98	98	97
		4	57	2,1	1,00	41	14	15,5	25	15,5	25	98	97	95	94	93
alte Kiefer	Astbiomasse	1	34	8,5	1,00	71	11	148,2	11	148,2	11	98	96	95	95	91
		2	16	9,4	1,00	83	20	714,3	10	714,3	10	100	98	98	98	97
		3	25	9,9	1,00	67	13	89,7	12	89,7	12	99	98	96	95	93
		4	8	4,1	1,00	104	27	170,0	3	170,0	3	100	100	100	100	94
Vogelbeere	Blattbiomasse	1	37	58,2	1,00	15	4	65,3	45	65,3	45	98	94	96	-	-
		2	19	76,1	0,54	19	8	277,1	68	231,4	59	98	97	95	94	91
		3	19	85,3	0,42	16	7	206,4	79	163,7	63	98	96	94	92	91
		4	18	138,4	0,26	12	5	422,3	171	286,3	79	99	97	96	94	-
Vogelbeere	Blattfläche	1	37	56,4	1,00	15	4	12462,6	43	12462,6	43	98	96	94	-	-
		2	19	70,3	0,56	19	8	38212,5	60	32879,1	53	98	97	95	94	92
		3	19	73,1	0,43	16	7	31334,1	69	25784,1	55	98	96	94	92	90
		4	18	122,5	0,29	12	5	53826,2	149	38618,1	72	98	97	95	94	-

Tabelle C.10 Quotient zwischen den Variationskoeffizienten der Zielgröße aus Ziehen mit und ohne Zurücklegen im oberen Stratum des Baumes ohne Hauptstamm nach der Teilung der Baumkrone in zwei Straten (Schnittpunkt: 0,6).

Spezies	Zielgröße	Baum	Löschen ab (%)	Variationskoeffizient (%)	Var1/VarY	Primäreinheiten	Maximal n _{ZoZ}	Beziehung Zielgröße-unbedingte Wahrscheinlichkeit				Quotient zwischen Variationskoeffizienten (ZoZ / ZmZ) (%)				
								Baum		Primäreinheiten		Stichprobenumfang (n)				
								Steigung	S _y (%)	Steigung	S _y (%)	2	3	4	5	6
Fichte	Nadelbiomasse	1	21	114,4	0,33	15	8	13,7	133	8,4	70	99	97	96	95	93
		2	23	87,2	0,55	11	4	6,8	85	8,0	66	97	94	89	-	-
		3	17	110,3	0,48	19	3	27,2	235	15,4	122	95	91	-	-	-
		4	33	93,7	0,63	15	3	2,6	116	2,5	125	89	76	-	-	-
junge Kiefer	Astbiomasse	1	14	17,1	1,00	54	10	59,5	16	59,5	16	99	99	98	97	96
		2	28	17,1	1,00	36	4	22,0	31	22,0	31	95	89	83	-	-
		3	55	16,1	1,00	19	2	10,5	17	10,5	17	98	-	-	-	-
		4	57	7,4	1,00	31	2	16,1	7	16,1	7	100	-	-	-	-
alte Kiefer	Astbiomasse	1	14	14,1	1,00	69	6	101,6	19	101,6	19	98	98	96	94	93
		2	12	41,6	0,40	38	7	437,6	94	321,7	55	97	94	91	88	85
		3	18	17,4	1,00	50	4	56,9	19	56,9	19	98	98	97	-	-
		4	12	13,0	0,28	60	5	56,9	5	57,7	6	100	100	100	100	100
Vogelbeere	Blattbiomasse	1	30	53,9	0,20	9	2	36,1	53	34,9	30	97	-	-	-	-
		2	27	50,0	0,60	9	4	125,5	37	116,8	38	96	93	89	-	-
		3	17	12,4	0,63	11	6	67,2	11	66,7	11	97	93	90	86	80
		4	20	30,3	0,33	12	4	102,4	29	98,9	23	97	94	91	-	-
Vogelbeere	Blattfläche	1	30	52,4	0,25	9	2	5429,7	58	5123,2	39	95	-	-	-	-
		2	27	46,2	0,57	9	4	12551,0	28	12380,6	30	98	96	93	-	-
		3	17	21,1	0,81	11	6	8628,2	20	8580,5	20	96	91	86	80	74
		4	20	31,9	0,58	12	4	10987,4	37	10992,1	35	93	88	81	-	-

Tabelle C.11 Quotient zwischen den Variationskoeffizienten der Zielgröße aus Ziehen mit und ohne Zurücklegen im Mittelstratum des Baumes ohne Hauptstamm nach der Teilung der Baumkrone in drei Straten (Schnittpunkte: 0,4/0,6).

Spezies	Zielgröße	Baum	Löschen ab (%)	Variationskoeffizient (%)	Var1/VarY	Primäreinheiten	Maximal n _{ZoZ}	Beziehung Zielgröße-unbedingte Wahrscheinlichkeit				Quotient zwischen Variationskoeffizienten (ZoZ / ZmZ) (%)				
								Baum		Primäreinheiten		Stichprobenumfang (n)				
								Steigung	S _y (%)	Steigung	S _y (%)	2	3	4	5	6
Fichte	Nadelbiomasse	1	77	76,0	0,03	8	4	8,5	50	7,5	12	100	100	99	-	-
		2	61	69,9	0,09	6	3	11,0	50	10,6	20	99	99	-	-	-
		3	63	74,2	0,22	13	7	14,4	50	12,8	39	99	98	96	95	94
		4	63	53,2	0,17	7	3	3,3	40	4,0	27	98	95	-	-	-
junge Kiefer	Astbiomasse	1	70	20,9	1,00	24	10	26,4	28	26,4	28	96	92	88	83	79
		2	51	13,7	1,00	24	9	21,9	16	21,9	16	97	94	91	87	84
		3	10 1	8,5	1,00	8	3	5,1	13	5,1	13	75	41	-	-	-
		4	81	28,2	1,00	20	10	6,5	30	6,5	30	97	94	91	87	84
alte Kiefer	Astbiomasse	1	57	9,5	1,00	34	5	69,0	11	69,0	11	99	96	94	91	-
		2	39	9,6	1,00	39	9	244,8	12	244,8	12	99	96	94	93	90
		3	63	6,0	1,00	18	4	21,1	8	21,1	8	93	89	83	-	-
		4	32	3,2	1,00	36	11	48,6	3	48,6	3	100	95	100	100	92
Vogelbeere	Blattbiomasse	1	64	53,7	1,00	6	2	36,1	51	36,1	51	84	-	-	-	-
		2	55	36,9	0,50	6	3	89,1	30	91,6	29	95	89	-	-	-
		3	53	58,5	0,46	6	3	67,6	52	56,0	41	96	94	-	-	-
		4	71	54,0	0,58	7	4	48,4	37	45,4	37	97	94	91	-	-
Vogelbeere	Blattfläche	1	64	56,2	1,00	6	2	6572,0	51	6572,0	51	84	-	-	-	-
		2	55	37,5	0,63	6	3	11634,0	31	12370,8	32	94	88	-	-	-
		3	53	43,2	0,49	6	3	9774,6	38	8413,6	29	97	95	-	-	-
		4	71	50,0	0,63	7	4	6339,6	35	6095,7	35	97	94	90	-	-

Tabelle C.12 Alternative Varianzschätzer der Zielgröße für das Ziehen ohne Zurücklegen auf Stufe 1, mit $m_i = 1$ auf Stufe 2, Bäume ohne Hauptstamm (Hilfsgröße: Querschnitt).

Spezies	Zielgröße	Baum	Var1/VarY	Streuung um die Gerade (%) ^c		Varianz				
				Baum	Primäreinheiten	Stichprobenumfang (n)				
						2	3	4	5	6
Fichte	Nadelbiomasse	1	0,18	87	38	114,558 ^a	75,663	56,215	44,545	36,764
						115,233 ^b	78,448	57,261	47,981	39,663
						114,205 ^c	77,283	56,076	46,704	38,361
						113,706 ^d	76,932	55,824	46,495	38,196
		2	0,38	129	75	856,149	558,180	409,159	319,715	260,053
						916,451	586,392	442,701	353,655	299,332
						900,180	570,355	426,324	336,899	282,265
						888,797	561,036	417,836	329,020	275,055
	3	0,09	38	22	1843,876	1221,845	910,662	723,790	599,042	
					1878,160	1295,200	913,391	722,841	619,208	
					1866,341	1282,299	900,914	710,212	606,087	
					1862,227	1278,933	898,296	707,879	604,077	
	4	0,49	50	36	19,144	12,437	9,082	7,069	5,725	
					20,143	13,560	9,954	8,034	6,793	
					19,448	12,840	9,228	7,291	6,030	
					19,085	12,552	8,986	7,072	5,836	
Vogelbeere	Blattbiomasse	2	0,35	36	27	12058,130	7843,860	5736,986	4473,157	3630,967
						12645,418	8389,350	6268,318	5004,234	4210,430
						12190,983	7912,699	5784,145	4514,450	3715,418
						12124,575	7873,181	5760,412	4501,235	3711,175
		3	0,32	48	33	7867,409	5050,611	3640,284	2791,629	2222,307
						8585,445	5615,436	4179,804	3437,378	2846,280
	4	0,38	131	76	8174,269	5181,208	3738,103	2976,153	2382,540	
					8108,339	5150,113	3727,028	2980,930	2397,973	
	Blattbiomasse	4	0,38	131	76	76741,528	49381,097	35700,638	27481,864	21965,712
						82293,401	54321,583	41180,576	33112,458	27216,335
						80168,020	52041,471	38820,677	30666,255	24775,426
						79160,239	51330,191	38267,334	30216,957	24393,659

^a Wahre Varianz; ^b klassisches RBS-Verfahren; ^c klassisches RBS-Verfahren mit Korrekturfaktor; ^d HTH-Sampford_{approx}; ^e der Beziehung Zielgröße-unbedingte Wahrscheinlichkeit.

Tabelle C.13 Zeitaufwand (Minuten) je Knoten und Segment an stratifizierten Bäumen ohne Hauptstamm für das ZoZ-ZmZ und an unstratifizierten Bäumen mit Hauptstamm für das ZmZ (Hilfsgröße: Querschnitt).

Stufe	ZoZ-ZmZ			ZmZ										
	am Knoten	Zielgröße		am Knoten	Zielgröße		Stufe	am Knoten	Zielgröße		Stufe	am Knoten	Zielgröße	
		mit	ohne		mit	ohne			mit	ohne			mit	ohne
1	0,294	1,986	-	0,242	1,660	0,220	11	0,161	1,275	0,104	21	0,135	1,140	0,040
2	0,146	1,632	0,095	0,168	0,720	0,111	12	0,168	1,640	0,158	22	0,152	3,400	0,055
3	0,132	1,515	0,113	0,150	-	0,117	13	0,151	1,492	0,098	23	0,183	1,030	0,140
4	0,130	1,875	0,095	0,146	1,320	0,106	14	0,197	1,185	0,126	24	0,150	3,050	0,100
5	0,107	1,277	-	0,140	1,220	0,076	15	0,146	1,498	0,120	25	0,185	-	0,070
6	0,135	2,120	-	0,149	1,313	0,111	16	0,155	1,728	0,193	26	0,110	-	0,080
7	-	-	-	0,158	1,374	0,265	17	0,151	2,430	0,077	27	0,140	-	0,250
8	-	-	-	0,134	1,554	0,132	18	0,155	3,080	0,330	28	0,220	2,760	-
9	-	-	-	0,158	1,480	0,276	19	0,155	2,220	0,050	29	-	-	-
10	-	-	-	0,163	1,963	0,157	20	0,155	-	0,080	30	-	-	-

Tabelle C.14 Zeitaufwand zur Erlangung einer Stichprobe bestimmter Größe mit ZoZ-ZmZ unter unterschiedlichen optimalen Sekundärstichprobenunfängen (m_o) am Baum ohne Hauptstamm (Hilfsgröße: Querschnitt).

Spezies	# Baum	#	$\frac{m_o}{m}$	$m_o = -$				$m_o = 1$				$m_o = 2$				$m_o = 3$				WI
				K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Vogelbäre	2	2	1	31,3	-	-	-	10,57	5,29	1,86	3,42	21,77	10,88	7,44	3,44	40,35	20,18	16,74	3,44	1,00
		2	2	25,5	-	-	-	14,40	3,60	1,88	2,66	25,43	6,36	7,44	2,64	44,01	11,00	16,73	2,64	1,50
		2	3	23,3	-	-	-	16,78	2,80	1,86	2,18	27,94	4,66	7,45	2,17	46,58	7,76	16,75	2,18	1,94
		2	4	22,1	-	-	-	18,62	2,33	1,88	1,86	29,65	3,71	7,45	1,84	48,26	6,03	16,74	1,85	2,35
		2	5	21,3	-	-	-	20,01	2,00	1,87	1,63	31,07	3,11	7,44	1,62	49,65	4,97	16,73	1,62	2,76
		2	6	20,8	-	-	-	21,08	1,76	1,87	1,45	32,16	2,68	7,45	1,44	50,75	4,23	16,73	1,44	3,17
		3	1	25,2	-	-	-	16,00	5,33	1,87	3,46	32,64	10,88	7,44	3,44	60,58	20,19	16,74	3,45	1,00
		3	2	20,4	-	-	-	21,47	3,58	1,87	2,64	38,33	6,39	7,45	2,66	66,08	11,01	16,74	2,65	1,49
		3	3	18,6	-	-	-	25,19	2,80	1,87	2,18	41,90	4,66	7,44	2,18	69,74	7,75	16,73	2,17	1,92
		3	4	17,6	-	-	-	27,86	2,32	1,87	1,85	44,63	3,72	7,45	1,86	72,49	6,04	16,74	1,86	2,32
		3	5	17,0	-	-	-	30,06	2,00	1,87	1,63	46,61	3,11	7,45	1,62	74,55	4,97	16,73	1,62	2,72
		3	6	16,5	-	-	-	31,70	1,76	1,87	1,45	48,22	2,68	7,44	1,44	76,25	4,24	16,73	1,45	3,11
		4	1	21,6	-	-	-	21,30	5,33	1,87	3,45	43,48	10,87	7,44	3,43	80,72	20,18	16,73	3,45	1,00
		4	2	17,4	-	-	-	28,69	3,59	1,87	2,65	51,02	6,38	7,45	2,65	88,26	11,03	16,74	2,66	1,48
		4	3	15,7	-	-	-	33,54	2,80	1,87	2,17	55,75	4,65	7,44	2,17	93,04	7,75	16,73	2,18	1,91
		4	4	14,8	-	-	-	37,10	2,32	1,87	1,85	59,52	3,72	7,45	1,86	96,58	6,04	16,73	1,85	2,32
		4	5	14,3	-	-	-	39,84	1,99	1,87	1,62	62,32	3,12	7,45	1,63	99,46	4,97	16,74	1,63	2,70
		4	6	13,9	-	-	-	42,17	1,76	1,87	1,45	64,42	2,68	7,44	1,44	101,57	4,23	16,73	1,44	3,08
		5	1	19,0	-	-	-	26,48	5,30	1,87	3,43	54,47	10,89	7,45	3,45	100,91	20,18	16,74	3,44	1,00
		5	2	15,2	-	-	-	35,91	3,59	1,87	2,66	63,82	6,38	7,45	2,66	110,20	11,02	16,73	2,65	1,48
		5	3	13,7	-	-	-	42,02	2,80	1,87	2,18	69,84	4,66	7,44	2,18	116,27	7,75	16,74	2,17	1,90
		5	4	12,9	-	-	-	46,46	2,32	1,87	1,86	74,30	3,72	7,44	1,85	120,82	6,04	16,74	1,86	2,30
		5	5	12,4	-	-	-	49,98	2,00	1,87	1,63	77,83	3,11	7,45	1,62	124,28	4,97	16,74	1,62	2,69
		5	6	12,0	-	-	-	52,71	1,76	1,87	1,45	80,67	2,69	7,45	1,45	126,93	4,23	16,74	1,44	3,07
6	1	17,2	-	-	-	31,93	5,32	1,87	3,45	65,38	10,90	7,45	3,45	121,15	20,19	16,74	3,45	1,00		
6	2	13,6	-	-	-	42,96	3,58	1,87	2,65	76,45	6,37	7,45	2,65	132,24	11,02	16,74	2,65	1,48		
6	3	12,2	-	-	-	50,24	2,79	1,87	2,17	83,77	4,65	7,45	2,17	139,63	7,76	16,74	2,18	1,90		
6	4	11,4	-	-	-	55,58	2,32	1,87	1,85	89,11	3,71	7,45	1,85	144,86	6,04	16,73	1,85	2,30		
6	5	11,0	-	-	-	59,91	2,00	1,87	1,62	93,36	3,11	7,44	1,62	149,10	4,97	16,74	1,62	2,69		
6	6	10,6	-	-	-	63,18	1,76	1,87	1,44	96,80	2,69	7,44	1,45	152,46	4,24	16,73	1,45	3,07		

Stdf.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten (Minuten): K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primärenheit (k1) und je restlicher Pfad (k2,..., ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.14 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	#	m	Σ H _i	m ₀ = 0,8				m ₀ = 1				m ₀ = 2				m ₀ = 3				WI
					K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Vogelbäre	3	2	1	37,8	7,60	3,80	0,89	2,91	2,94	1,39	1,39	5,53	2,93	30,64	15,32	12,39	2,93	2,93	1,00		
		2	2	30,4	10,88	2,72	0,89	2,88	2,28	1,38	1,38	5,53	2,29	33,90	8,47	12,38	2,28	2,28	1,49		
		2	3	27,5	13,10	2,18	0,89	1,89	1,89	1,39	1,39	5,53	1,89	36,10	6,02	12,39	1,89	1,89	1,90		
		2	4	26,0	14,61	1,83	0,89	1,60	1,60	1,39	1,39	5,52	1,61	37,65	4,71	12,39	1,61	1,61	2,30		
		2	5	25,0	15,78	1,58	0,89	1,40	1,40	1,39	1,39	5,52	1,40	38,80	3,88	12,38	1,40	1,40	2,70		
		2	6	24,3	16,68	1,39	0,90	1,24	1,24	1,39	1,39	5,52	1,25	39,68	3,31	12,39	1,24	1,24	3,10		
		3	1	30,3	11,48	3,83	0,90	2,93	2,93	1,39	1,39	5,53	2,92	45,94	15,31	12,39	2,92	2,92	1,00		
		3	2	24,1	16,42	2,74	0,89	2,29	2,29	1,38	1,38	5,52	2,29	50,91	8,49	12,39	2,29	2,29	1,47		
		3	3	21,7	19,65	2,18	0,89	1,89	1,89	1,40	1,39	5,52	1,89	54,16	6,02	12,39	1,89	1,89	1,88		
		3	4	20,4	22,02	1,84	0,89	1,61	1,61	1,39	1,39	5,52	1,61	56,41	4,70	12,39	1,60	1,60	2,27		
		3	5	19,5	23,76	1,58	0,90	1,41	1,41	1,39	1,39	5,52	1,40	58,29	3,89	12,40	1,41	1,41	2,66		
		3	6	18,9	25,06	1,39	0,89	1,24	1,24	1,38	1,38	5,52	1,24	59,58	3,31	12,39	1,25	1,25	3,04		
		4	1	25,7	15,31	3,83	0,90	2,93	2,93	1,39	1,39	5,52	2,94	61,29	15,32	12,39	2,93	2,93	1,00		
		4	2	20,2	21,90	2,74	0,90	2,29	2,29	1,39	1,39	5,52	2,29	67,90	8,49	12,39	2,29	2,29	1,47		
		4	3	18,1	26,18	2,18	0,90	1,88	1,88	1,38	1,38	5,52	1,88	72,13	6,01	12,39	1,88	1,88	1,87		
		4	4	16,9	29,41	1,84	0,90	1,61	1,61	1,39	1,39	5,53	1,61	75,39	4,71	12,40	1,61	1,61	2,25		
		4	5	16,1	31,76	1,59	0,90	1,41	1,41	1,39	1,39	5,52	1,41	77,66	3,88	12,39	1,41	1,41	2,63		
		4	6	15,6	33,43	1,39	0,90	1,24	1,24	1,38	1,38	5,52	1,25	79,49	3,31	12,39	1,25	1,25	3,02		
		5	1	22,5	19,08	3,82	0,90	2,92	2,92	1,39	1,39	5,53	2,92	84,79	15,31	12,39	2,93	2,93	1,00		
		5	2	17,5	27,28	2,73	0,89	2,28	2,28	1,39	1,39	5,52	2,28	84,79	8,48	12,39	2,29	2,29	1,47		
		5	3	15,5	32,81	2,19	0,89	1,89	1,89	1,39	1,39	5,52	1,89	90,14	6,01	12,39	1,88	1,88	1,86		
		5	4	14,3	36,74	1,84	0,90	1,61	1,61	1,39	1,39	5,53	1,61	94,10	4,71	12,39	1,61	1,61	2,24		
		5	5	13,6	39,65	1,59	0,90	1,41	1,41	1,39	1,39	5,52	1,40	96,95	3,88	12,39	1,40	1,40	2,62		
		5	6	13,1	41,88	1,40	0,90	1,25	1,25	1,39	1,39	5,52	1,24	99,36	3,31	12,39	1,25	1,25	3,00		
6	1	20,1	22,91	3,82	0,90	2,93	2,93	1,39	1,39	5,52	2,93	101,81	15,32	12,39	2,93	2,93	1,00				
6	2	15,4	32,87	2,74	0,90	2,29	2,29	1,39	1,39	5,52	2,28	101,81	8,48	12,39	2,29	2,29	1,46				
6	3	13,4	39,42	2,19	0,90	1,89	1,89	1,39	1,39	5,52	1,89	108,29	6,02	12,39	1,89	1,89	1,86				
6	4	12,3	43,99	1,83	0,90	1,61	1,61	1,39	1,39	5,52	1,61	112,90	4,70	12,39	1,61	1,61	2,24				
6	5	11,7	47,46	1,58	0,90	1,40	1,40	1,39	1,39	5,52	1,41	116,49	3,88	12,39	1,40	1,40	2,62				
6	6	11,2	50,18	1,39	0,90	1,24	1,24	1,38	1,38	5,52	1,24	119,20	3,31	12,39	1,25	1,25	2,99				

Stdf.: Standardfehler der Zielgröße, Zeiten (Minuten): K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2..., ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.14 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	n	m	Std. f	m ₀ = 0,6				m ₀ = 1				m ₀ = 2				m ₀ = 3				WT				
					K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...		K	ko	k1	k2...
Vogelbäre	4	2	1	71,7	7,81	3,91	0,69	3,21	10,47	5,23	2,02	2,02	3,21	22,41	11,21	7,99	3,21	41,75	20,87	17,65	3,22	1,00			
		2	2	59,0	12,20	3,05	0,70	2,70	14,90	3,72	2,03	2,03	2,71	26,76	6,69	8,00	2,69	46,14	11,53	17,64	2,71	1,40			
		2	3	54,2	15,47	2,58	0,69	2,35	18,22	3,04	2,02	2,02	2,36	30,12	5,02	8,01	2,35	49,34	8,22	17,64	2,34	1,73			
		2	4	51,5	18,22	2,28	0,69	2,11	20,88	2,61	2,02	2,02	2,10	32,78	4,10	8,00	2,10	52,10	6,51	17,65	2,10	2,04			
		2	5	49,9	20,39	2,04	0,69	1,90	23,06	2,31	2,03	2,03	1,90	35,14	3,51	8,00	1,91	54,32	5,43	17,65	1,90	2,34			
		2	6	48,8	22,32	1,86	0,70	1,74	24,92	2,08	2,03	2,03	1,74	37,07	3,09	8,00	1,76	56,27	4,69	17,65	1,75	2,63			
		3	1	57,5	11,75	3,92	0,70	3,22	15,74	5,25	2,03	2,03	3,22	33,71	11,24	8,00	3,24	62,67	20,89	17,64	3,25	1,00			
		3	2	46,9	18,32	3,05	0,68	2,71	22,27	3,71	2,03	2,03	2,70	40,15	6,69	8,00	2,69	69,18	11,53	17,65	2,71	1,39			
		3	3	42,8	23,35	2,59	0,69	2,37	27,24	3,03	2,03	2,03	2,35	45,21	5,02	8,00	2,36	74,09	8,23	17,65	2,35	1,72			
		3	4	40,6	27,31	2,28	0,69	2,10	31,34	2,61	2,03	2,03	2,11	49,28	4,11	7,99	2,11	78,19	6,52	17,65	2,10	2,01			
		3	5	39,3	30,68	2,05	0,69	1,91	34,64	2,31	2,03	2,03	1,90	52,56	3,50	8,00	1,91	81,57	5,44	17,65	1,91	2,30			
		3	6	38,3	33,59	1,87	0,69	1,75	37,35	2,08	2,03	2,03	1,74	55,35	3,08	8,00	1,74	84,46	4,69	17,65	1,75	2,58			
		4	1	48,9	15,69	3,92	0,69	3,24	21,00	5,25	2,03	2,03	3,22	44,86	11,22	8,00	3,22	83,51	20,88	17,64	3,23	1,00			
		4	2	39,5	24,43	3,05	0,69	2,71	29,75	3,72	2,02	2,02	2,71	53,64	6,71	8,00	2,71	92,12	11,52	17,65	2,69	1,39			
		4	3	35,9	31,08	2,59	0,69	2,36	36,38	3,03	2,03	2,03	2,36	60,32	5,03	7,99	2,36	98,92	8,24	17,65	2,36	1,71			
		4	4	33,9	36,40	2,28	0,69	2,10	41,76	2,61	2,02	2,02	2,10	65,58	4,10	8,00	2,10	104,16	6,51	17,65	2,10	2,00			
		4	5	32,7	40,78	2,04	0,69	1,90	46,26	2,31	2,03	2,03	1,91	70,06	3,50	8,00	1,90	108,64	5,43	17,64	1,90	2,28			
		4	6	31,8	44,83	1,87	0,69	1,75	50,06	2,09	2,03	2,03	1,75	73,87	3,08	8,00	1,75	112,46	4,69	17,65	1,75	2,56			
		5	1	42,9	19,59	3,92	0,69	3,23	26,29	5,26	2,02	2,02	3,23	56,11	11,22	8,00	3,23	104,40	20,88	17,65	3,23	1,00			
		5	2	34,3	30,61	3,06	0,69	2,72	37,14	3,71	2,03	2,03	2,70	67,01	6,70	8,00	2,70	115,27	11,53	17,65	2,70	1,38			
		5	3	30,9	38,90	2,59	0,69	2,36	45,47	3,03	2,03	2,03	2,35	75,47	5,03	8,00	2,37	123,59	8,24	17,65	2,36	1,70			
		5	4	29,1	45,54	2,28	0,70	2,10	52,14	2,61	2,03	2,03	2,10	82,02	4,10	8,00	2,10	130,18	6,51	17,65	2,10	2,00			
		5	5	27,9	51,25	2,05	0,69	1,91	57,73	2,31	2,03	2,03	1,90	87,55	3,50	8,00	1,90	135,90	5,44	17,65	1,91	2,28			
		5	6	27,1	55,86	1,86	0,69	1,75	62,52	2,08	2,03	2,03	1,75	92,37	3,08	8,00	1,75	140,67	4,69	17,65	1,75	2,55			
6	1	38,4	23,52	3,92	0,69	3,23	31,46	5,24	2,03	2,03	3,22	67,34	11,22	8,00	3,23	125,23	20,87	17,65	3,23	1,00					
6	2	30,3	36,65	3,05	0,69	2,71	44,64	3,72	2,03	2,03	2,71	80,48	6,71	8,00	2,71	138,34	11,53	17,65	2,70	1,38					
6	3	27,1	46,60	2,59	0,69	2,36	54,47	3,03	2,03	2,03	2,35	90,32	5,02	8,00	2,35	148,25	8,24	17,65	2,35	1,70					
6	4	25,4	54,72	2,28	0,69	2,11	62,45	2,60	2,03	2,03	2,10	98,40	4,10	7,99	2,10	156,19	6,51	17,65	2,10	1,99					
6	5	24,3	61,35	2,05	0,69	1,91	69,39	2,31	2,03	2,03	1,91	105,03	3,50	8,00	1,90	162,93	5,43	17,65	1,90	2,27					
6	6	23,5	67,21	1,87	0,69	1,75	75,10	2,09	2,03	2,03	1,75	110,77	3,08	8,00	1,74	168,94	4,69	17,65	1,75	2,54					

Std.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten (Minuten): K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2,..., ab Stufe 2). WT: Wiederholungsindex.

Tabelle C.14 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	#	m	Stf	m ₀ = -				m ₀ = 1				m ₀ = 2				m ₀ = 3				WT
					K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Fichte	1	2	1	60,7	-	-	-	-	126,61	63,31	11,50	51,81	195,22	97,61	45,85	51,76	310,96	155,48	103,10	52,38	1,00
		2	2	46,5	-	-	-	-	188,34	47,09	11,50	41,34	256,85	64,21	45,85	41,29	370,76	92,69	103,10	41,14	1,36
		2	3	40,8	-	-	-	-	231,59	38,60	11,50	34,76	301,22	50,20	45,85	34,92	415,54	69,26	103,10	34,89	1,66
		2	4	37,5	-	-	-	-	266,14	33,27	11,50	30,39	335,75	41,97	45,85	30,51	449,48	56,19	103,10	30,41	1,92
		2	5	35,5	-	-	-	-	293,99	29,40	11,50	27,10	363,74	36,37	45,85	27,20	477,61	47,76	103,10	27,14	2,18
		2	6	34,0	-	-	-	-	320,64	26,72	11,50	24,80	387,37	32,28	45,85	24,64	502,75	41,90	103,10	24,71	2,41
		3	1	49,3	-	-	-	-	191,39	63,80	11,50	52,30	294,51	98,17	45,85	52,32	464,76	154,92	103,10	51,82	1,00
		3	2	37,7	-	-	-	-	281,74	46,96	11,50	41,21	385,38	64,23	45,85	41,31	538,08	93,01	103,10	41,46	1,36
		3	3	32,9	-	-	-	-	347,45	38,61	11,50	34,77	450,20	50,02	45,85	34,74	621,26	69,03	103,10	34,66	1,65
		3	4	30,3	-	-	-	-	397,63	33,14	11,50	30,26	502,82	41,90	45,85	30,44	673,45	56,12	103,10	30,35	1,92
		3	5	28,6	-	-	-	-	443,34	29,56	11,50	27,26	545,30	36,35	45,85	27,18	716,00	47,73	103,10	27,11	2,16
		3	6	27,4	-	-	-	-	478,60	26,59	11,50	24,67	581,06	32,28	45,85	24,64	753,17	41,84	103,10	24,66	2,39
		4	1	42,5	-	-	-	-	255,50	63,87	11,50	52,37	390,62	97,65	45,85	51,80	619,55	154,89	103,10	51,79	1,00
		4	2	32,4	-	-	-	-	376,98	47,12	11,50	41,37	512,94	64,12	45,85	41,19	742,09	92,76	103,10	41,21	1,36
		4	3	28,2	-	-	-	-	462,68	38,56	11,50	34,72	599,95	50,00	45,85	34,71	829,39	69,12	103,10	34,75	1,65
		4	4	25,9	-	-	-	-	533,68	33,36	11,50	30,48	669,73	41,86	45,85	30,40	898,74	56,17	103,10	30,40	1,91
		4	5	24,4	-	-	-	-	588,94	29,45	11,50	27,15	728,14	36,41	45,85	27,24	956,56	47,83	103,10	27,21	2,16
		4	6	23,3	-	-	-	-	639,74	26,66	11,50	24,74	775,54	32,31	45,85	24,67	1007,42	41,98	103,10	24,79	2,39
		5	1	37,8	-	-	-	-	318,51	63,70	11,50	52,20	488,84	97,77	45,85	51,92	775,69	155,14	103,10	52,04	1,00
		5	2	28,7	-	-	-	-	470,96	47,10	11,50	41,35	642,53	64,25	45,85	41,33	929,52	92,95	103,10	41,40	1,35
		5	3	25,0	-	-	-	-	577,07	38,47	11,50	34,64	749,75	49,98	45,85	34,70	1037,61	69,17	103,10	34,81	1,64
		5	4	22,9	-	-	-	-	664,36	33,22	11,50	30,34	837,06	41,85	45,85	30,39	1123,58	56,18	103,10	30,40	1,91
		5	5	21,5	-	-	-	-	738,83	29,55	11,50	27,25	909,53	36,38	45,85	27,21	1195,68	47,83	103,10	27,21	2,15
		5	6	20,5	-	-	-	-	797,28	26,58	11,50	24,66	969,18	32,31	45,85	24,66	1255,47	41,85	103,10	24,67	2,39
6	1	34,4	-	-	-	-	382,01	63,67	11,50	52,17	587,26	97,88	45,85	52,03	930,91	155,15	103,10	52,05	1,00		
6	2	26,0	-	-	-	-	563,22	46,94	11,50	41,19	769,55	64,13	45,85	41,20	1112,33	92,69	103,10	41,14	1,35		
6	3	22,5	-	-	-	-	695,99	38,67	11,50	34,83	901,03	50,06	45,85	34,77	1244,57	69,14	103,10	34,78	1,64		
6	4	20,6	-	-	-	-	799,15	33,30	11,50	30,42	1005,77	41,91	45,85	30,44	1348,92	56,21	103,10	30,43	1,91		
6	5	19,3	-	-	-	-	884,04	29,47	11,50	27,17	1089,69	36,32	45,85	27,15	1434,54	47,82	103,10	27,20	2,15		
6	6	18,4	-	-	-	-	958,79	26,63	11,50	24,72	1163,16	32,31	45,85	24,67	1507,90	41,89	103,10	24,70	2,38		

Stdf.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2...; ab Stufe 2). WT: Wiederholungsindex.

Tabelle C.14 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	#	m	Stf	m ₀ = -				m ₀ = 1				m ₀ = 2				m ₀ = 3				WT
					K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
		2	1	70,3	-	-	-	-	144,60	72,30	27,60	44,70	310,21	155,10	110,30	44,80	589,38	294,69	249,50	45,19	1,00
		2	2	58,0	-	-	-	-	195,96	48,99	27,60	35,19	360,98	90,25	110,30	35,10	640,67	160,17	249,50	35,42	1,40
		2	3	53,3	-	-	-	-	232,16	38,69	27,60	29,49	398,77	66,46	110,30	29,69	676,58	112,76	249,50	29,60	1,73
		2	4	50,8	-	-	-	-	260,50	32,56	27,60	25,66	426,84	53,36	110,30	25,78	705,81	88,23	249,50	25,85	2,03
		2	5	49,2	-	-	-	-	287,07	28,71	27,60	23,19	454,51	45,45	110,30	23,39	731,55	73,16	249,50	23,26	2,29
		2	6	48,1	-	-	-	-	310,54	25,88	27,60	21,28	473,52	39,46	110,30	21,08	755,05	62,92	249,50	21,34	2,54
		3	1	56,8	-	-	-	-	218,03	72,68	27,60	45,08	465,73	155,24	110,30	44,94	883,52	294,51	249,50	45,01	1,00
		3	2	46,6	-	-	-	-	295,10	49,18	27,60	35,38	541,88	90,31	110,30	35,16	960,40	160,07	249,50	35,32	1,39
		3	3	42,7	-	-	-	-	348,54	38,73	27,60	29,53	598,42	66,49	110,30	29,73	1015,33	112,81	249,50	29,65	1,71
		3	4	40,6	-	-	-	-	393,91	32,83	27,60	25,93	642,37	53,53	110,30	25,96	1060,04	88,34	249,50	25,96	1,99
		3	5	39,2	-	-	-	-	431,60	28,77	27,60	23,25	679,53	45,30	110,30	23,24	1098,20	73,21	249,50	23,31	2,25
		3	6	38,3	-	-	-	-	463,61	25,76	27,60	21,16	712,58	39,59	110,30	21,21	1129,45	62,75	249,50	21,16	2,49
		4	1	48,6	-	-	-	-	290,70	72,68	27,60	45,08	621,06	155,27	110,30	44,97	1178,06	294,51	249,50	45,01	1,00
		4	2	39,7	-	-	-	-	393,14	49,14	27,60	35,34	722,04	90,26	110,30	35,11	1279,77	159,97	249,50	35,22	1,38
		4	3	36,2	-	-	-	-	466,06	38,84	27,60	29,64	796,54	66,38	110,30	29,61	1353,58	112,80	249,50	29,63	1,70
		4	4	34,3	-	-	-	-	525,07	32,82	27,60	25,92	855,18	53,45	110,30	25,87	1413,34	88,33	249,50	25,96	1,98
		4	5	33,2	-	-	-	-	574,96	28,75	27,60	23,23	904,88	45,24	110,30	23,18	1464,30	73,22	249,50	23,32	2,23
		4	6	32,4	-	-	-	-	619,37	25,81	27,60	21,21	948,79	39,53	110,30	21,15	1506,02	62,75	249,50	21,17	2,47
		5	1	43,0	-	-	-	-	361,95	72,39	27,60	44,79	775,48	155,10	110,30	44,80	1471,80	294,36	249,50	44,86	1,00
		5	2	34,9	-	-	-	-	489,77	48,98	27,60	35,18	902,96	90,30	110,30	35,15	1598,70	159,87	249,50	35,12	1,38
		5	3	31,7	-	-	-	-	582,83	38,86	27,60	29,66	996,20	66,41	110,30	29,65	1692,23	112,82	249,50	29,65	1,69
		5	4	30,0	-	-	-	-	655,96	32,80	27,60	25,90	1069,32	53,47	110,30	25,89	1765,16	88,26	249,50	25,88	1,97
		5	5	28,9	-	-	-	-	719,95	28,80	27,60	23,28	1131,45	45,26	110,30	23,20	1828,18	73,13	249,50	23,23	2,23
		5	6	28,2	-	-	-	-	771,90	25,73	27,60	21,13	1186,62	39,55	110,30	21,17	1883,01	62,77	249,50	21,18	2,47
		6	1	38,8	-	-	-	-	434,89	72,48	27,60	44,88	932,24	155,37	110,30	45,07	1765,85	294,31	249,50	44,81	1,00
		6	2	31,2	-	-	-	-	587,42	48,95	27,60	35,15	1083,11	90,26	110,30	35,11	1919,66	159,97	249,50	35,22	1,38
		6	3	28,3	-	-	-	-	696,40	38,69	27,60	29,49	1196,26	66,46	110,30	29,69	2029,68	112,76	249,50	29,59	1,69
		6	4	26,7	-	-	-	-	787,66	32,82	27,60	25,92	1285,27	53,55	110,30	25,98	2120,59	88,36	249,50	25,98	1,97
		6	5	25,7	-	-	-	-	862,89	28,76	27,60	23,24	1360,92	45,36	110,30	23,30	2190,60	73,02	249,50	23,12	2,21
		6	6	25,0	-	-	-	-	927,68	25,77	27,60	21,17	1423,15	39,53	110,30	21,15	2259,07	62,75	249,50	21,17	2,46

Stdf.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2..., ab Stufe 2). WT: Wiederholungsindex.

Tabelle C.14 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	#	m	Stf	m ₀ = -				m ₀ = 1				m ₀ = 2				m ₀ = 3				WT
					K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Fichte		2	1	43,1	-	-	8,00	78,26	172,53	86,26	8,00	30,70	217,60	108,80	30,70	78,10	292,28	146,14	68,90	77,24	1,00
		2	2	31,8	-	-	8,00	59,25	253,00	63,25	8,00	30,70	298,77	74,69	30,70	59,34	373,93	93,48	68,90	59,03	1,39
		2	3	26,9	-	-	8,00	49,05	310,30	51,72	8,00	30,70	357,49	59,58	30,70	49,35	432,01	72,00	68,90	49,03	1,71
		2	4	24,1	-	-	8,00	42,53	356,26	44,53	8,00	30,70	400,93	50,12	30,70	42,44	479,46	59,93	68,90	42,71	2,00
		2	5	22,3	-	-	8,00	38,08	396,82	39,68	8,00	30,70	440,99	44,10	30,70	37,96	515,90	51,59	68,90	37,81	2,27
		2	6	21,0	-	-	8,00	34,58	430,90	35,91	8,00	30,70	475,34	39,61	30,70	34,50	549,82	45,82	68,90	34,33	2,52
		3	1	35,1	-	-	8,00	77,51	256,54	85,51	8,00	30,70	324,75	108,25	30,70	77,55	440,48	146,83	68,90	77,93	1,00
		3	2	25,8	-	-	8,00	59,37	380,24	63,37	8,00	30,70	446,24	74,37	30,70	59,02	560,86	93,48	68,90	59,03	1,38
		3	3	21,8	-	-	8,00	49,12	466,04	51,78	8,00	30,70	533,69	59,30	30,70	49,07	648,35	72,04	68,90	49,07	1,70
		3	4	19,5	-	-	8,00	42,64	535,64	44,64	8,00	30,70	603,31	50,28	30,70	42,60	716,82	59,74	68,90	42,51	1,98
		3	5	18,0	-	-	8,00	37,90	592,47	39,50	8,00	30,70	658,88	43,93	30,70	37,79	777,03	51,80	68,90	38,02	2,25
		3	6	16,9	-	-	8,00	34,36	642,49	35,69	8,00	30,70	711,13	39,51	30,70	34,39	821,99	45,67	68,90	34,18	2,50
		4	1	30,3	-	-	8,00	78,01	344,06	86,01	8,00	30,70	433,58	108,39	30,70	77,69	584,80	146,20	68,90	77,30	1,00
		4	2	22,2	-	-	8,00	59,03	504,26	63,03	8,00	30,70	596,47	74,56	30,70	59,21	749,64	93,71	68,90	59,26	1,38
		4	3	18,7	-	-	8,00	49,05	620,60	51,72	8,00	30,70	710,50	59,21	30,70	48,98	863,93	71,99	68,90	49,03	1,69
		4	4	16,7	-	-	8,00	42,54	712,69	44,54	8,00	30,70	802,02	50,13	30,70	42,45	957,66	59,85	68,90	42,63	1,98
		4	5	15,4	-	-	8,00	37,97	791,30	39,57	8,00	30,70	882,74	44,14	30,70	38,00	1033,00	51,65	68,90	37,87	2,24
		4	6	14,5	-	-	8,00	34,41	857,90	35,75	8,00	30,70	947,16	39,47	30,70	34,35	1100,54	45,86	68,90	34,37	2,48
		5	1	27,0	-	-	8,00	77,68	428,40	85,68	8,00	30,70	541,58	108,32	30,70	77,62	732,66	146,53	68,90	77,63	1,00
		5	2	19,7	-	-	8,00	59,18	631,77	63,18	8,00	30,70	745,18	74,52	30,70	59,17	937,68	93,77	68,90	59,32	1,38
		5	3	16,6	-	-	8,00	49,22	778,31	51,89	8,00	30,70	890,99	59,40	30,70	49,17	1080,44	72,03	68,90	49,06	1,69
		5	4	14,8	-	-	8,00	42,48	889,56	44,48	8,00	30,70	1003,96	50,20	30,70	42,52	1197,42	59,87	68,90	42,65	1,97
		5	5	13,6	-	-	8,00	37,96	989,10	39,56	8,00	30,70	1099,05	43,96	30,70	37,82	1292,55	51,69	68,90	37,91	2,23
		5	6	12,7	-	-	8,00	34,30	1069,11	35,64	8,00	30,70	1182,99	39,43	30,70	34,32	1375,41	45,85	68,90	34,36	2,48
	6	1	24,6	-	-	8,00	77,72	514,31	85,72	8,00	30,70	652,39	108,73	30,70	78,03	882,34	147,06	68,90	78,16	1,00	
	6	2	17,9	-	-	8,00	59,45	761,38	63,45	8,00	30,70	893,98	74,50	30,70	59,15	1126,72	93,89	68,90	59,44	1,37	
	6	3	15,0	-	-	8,00	49,03	930,62	51,70	8,00	30,70	1067,96	59,33	30,70	49,10	1297,13	72,06	68,90	49,10	1,69	
	6	4	13,4	-	-	8,00	42,58	1069,90	44,58	8,00	30,70	1207,37	50,31	30,70	42,63	1435,18	59,80	68,90	42,57	1,97	
	6	5	12,3	-	-	8,00	37,90	1185,09	39,50	8,00	30,70	1319,34	43,98	30,70	37,84	1550,55	51,69	68,90	37,91	2,23	
	6	6	11,5	-	-	8,00	34,36	1285,06	35,70	8,00	30,70	1421,96	39,50	30,70	34,38	1651,18	45,87	68,90	34,38	2,47	

Stof.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2... ab Stufe 2). WT: Wiederholungsindex.

Tabelle C.14 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	n	m	Stdf	$m_0 = -$				$m_0 = 1$				$m_0 = 2$				$m_0 = 3$				WT	
					K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...		
Fichte		2	1	39,0	-	-	-	-	143,88	71,94	35,56	36,38	352,61	176,31	140,03	140,03	36,28	700,74	350,37	314,02	36,35	1,00
		2	2	33,5	-	-	-	-	173,44	43,36	35,51	25,61	382,82	95,71	140,04	140,04	25,69	731,09	182,77	314,03	25,76	1,54
		2	3	31,5	-	-	-	-	191,21	31,87	35,54	20,02	400,59	66,77	140,04	140,04	20,09	748,99	124,83	314,01	20,16	2,03
		2	4	30,4	-	-	-	-	204,22	25,53	35,51	16,65	414,14	51,77	140,03	140,03	16,76	761,32	95,17	314,05	16,65	2,50
		2	5	29,7	-	-	-	-	214,88	21,49	35,53	14,38	423,45	42,35	140,04	140,04	14,34	771,64	77,16	314,05	14,36	2,94
		2	6	29,2	-	-	-	-	222,37	18,53	35,54	12,61	431,20	35,93	140,02	140,02	12,60	779,15	64,93	314,03	12,59	3,37
		3	1	31,5	-	-	-	-	215,22	71,74	35,54	36,20	529,26	176,42	140,03	140,03	36,39	1050,33	350,11	314,03	36,08	1,00
		3	2	26,9	-	-	-	-	260,89	43,48	35,53	25,72	574,40	95,73	140,04	140,04	25,71	1096,31	182,72	314,04	25,70	1,53
		3	3	25,2	-	-	-	-	287,65	31,96	35,54	20,11	600,44	66,72	140,02	140,02	20,04	1123,12	124,79	314,02	20,12	2,01
		3	4	24,3	-	-	-	-	306,28	25,52	35,53	16,64	619,70	51,64	140,04	140,04	16,63	1141,93	95,16	314,03	16,65	2,48
		3	5	23,7	-	-	-	-	321,51	21,43	35,53	14,33	635,16	42,34	140,02	140,02	14,34	1156,59	77,11	314,02	14,30	2,91
		3	6	23,3	-	-	-	-	332,12	18,45	35,51	12,53	646,87	35,94	140,02	140,02	12,60	1168,81	64,93	314,01	12,60	3,34
		4	1	26,9	-	-	-	-	286,51	71,63	35,52	36,11	704,92	176,23	140,02	140,02	36,21	1401,33	350,33	314,04	36,30	1,00
		4	2	22,9	-	-	-	-	347,38	43,42	35,53	25,66	764,72	95,59	140,02	140,02	25,58	1461,46	182,68	314,03	25,67	1,53
		4	3	21,3	-	-	-	-	383,32	31,94	35,51	20,11	800,33	66,69	140,02	140,02	20,02	1497,97	124,83	314,02	20,16	2,01
		4	4	20,5	-	-	-	-	408,91	25,56	35,53	16,67	826,30	51,64	140,02	140,02	16,64	1522,46	95,15	314,01	16,65	2,47
		4	5	20,1	-	-	-	-	427,98	21,40	35,52	14,30	846,14	42,31	140,03	140,03	14,30	1542,04	77,10	314,02	14,30	2,90
		4	6	19,7	-	-	-	-	445,34	18,56	35,54	12,63	861,94	35,91	140,03	140,03	12,58	1558,46	64,94	314,03	12,60	3,32
		5	1	23,7	-	-	-	-	358,81	71,76	35,51	36,25	881,57	176,31	140,02	140,02	36,30	1752,04	350,41	314,04	36,37	1,00
		5	2	20,1	-	-	-	-	433,89	43,39	35,53	25,62	956,59	95,66	140,02	140,02	25,65	1826,70	182,67	314,04	25,65	1,52
		5	3	18,7	-	-	-	-	478,98	31,93	35,53	20,09	1002,05	66,80	140,02	140,02	20,13	1872,66	124,84	314,03	20,17	2,01
		5	4	17,9	-	-	-	-	511,96	25,60	35,52	16,72	1033,78	51,69	140,04	140,04	16,68	1903,42	95,17	314,04	16,66	2,46
		5	5	17,5	-	-	-	-	535,40	21,42	35,53	14,31	1057,53	42,30	140,02	140,02	14,30	1928,20	77,13	314,02	14,32	2,89
		5	6	17,2	-	-	-	-	555,45	18,52	35,52	12,60	1076,67	35,89	140,02	140,02	12,55	1948,50	64,95	314,04	12,61	3,31
	6	1	21,4	-	-	-	-	430,22	71,70	35,53	36,17	1057,55	176,26	140,03	140,03	36,23	2102,16	350,36	314,03	36,33	1,00	
	6	2	17,9	-	-	-	-	520,72	43,39	35,52	25,64	1148,59	95,72	140,02	140,02	25,71	2192,84	182,74	314,03	25,72	1,52	
	6	3	16,7	-	-	-	-	574,81	31,93	35,53	20,09	1201,68	66,76	140,02	140,02	20,09	2245,77	124,77	314,03	20,09	2,00	
	6	4	16,0	-	-	-	-	613,54	25,56	35,52	16,69	1239,94	51,66	140,04	140,04	16,66	2284,15	95,17	314,03	16,67	2,45	
	6	5	15,6	-	-	-	-	642,03	21,40	35,52	14,30	1268,85	42,30	140,02	140,02	14,29	2314,68	77,16	314,04	14,35	2,89	
	6	6	15,3	-	-	-	-	667,19	18,53	35,53	12,61	1294,42	35,96	140,03	140,03	12,62	2336,58	64,91	314,02	12,57	3,31	

Stdf.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2...), ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.15 Zeitaufwand zur Erlangung einer Stichprobe bestimmter Größe mit dem klassischen RBS-Verfahren unter unterschiedlichen optimalen Sekundärstichprobenunfängen (m_0) am Baum ohne Hauptstamm (Hilfsgröße: Querschnitt).

Spezies	Baum	#	Baum ohne Hauptstamm												Baum mit Hauptstamm									
			$m_0 = 1$				$m_0 = 2$				$m_0 = 3$				WT	K	ko	k1	k2...	WT				
			K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...										
		2	31,6	-	-	10,33	5,17	1,79	3,38	21,07	10,53	7,15	3,38	38,91	19,45	16,08	3,38	1,04	61,9	14,51	7,25	0,28	6,97	1,34
		3	25,8	-	-	15,10	5,03	1,72	3,31	30,41	10,14	6,85	3,29	56,25	18,75	15,45	3,30	1,07	50,6	19,56	6,52	0,21	6,31	1,63
		4	22,4	-	-	19,64	4,91	1,66	3,25	39,27	9,82	6,58	3,24	72,25	18,06	14,83	3,23	1,10	43,8	23,96	5,99	0,17	5,82	1,87
		5	20,0	-	-	23,88	4,78	1,60	3,18	47,64	9,53	6,34	3,19	87,65	17,83	14,34	3,19	1,12	39,2	28,30	5,66	0,14	5,52	2,09
		6	18,3	-	-	27,96	4,66	1,53	3,13	55,40	9,23	6,11	3,12	101,00	16,53	13,72	3,11	1,16	35,8	32,36	5,39	0,13	5,27	2,28
		7	16,9	-	-	31,82	4,55	1,47	3,08	62,57	8,94	5,89	3,05	114,11	16,30	13,25	3,06	1,19	33,1	36,16	5,17	0,12	5,05	2,47
		8	15,8	-	-	35,43	4,43	1,42	3,01	69,62	8,70	5,69	3,01	126,41	15,80	12,79	3,01	1,21	31,0	39,79	4,97	0,11	4,87	2,64
		9	14,9	-	-	38,88	4,32	1,36	2,96	76,27	8,47	5,51	2,97	137,63	15,29	12,34	2,95	1,25	29,2	43,17	4,80	0,10	4,70	2,80
		10	14,1	-	-	42,32	4,23	1,32	2,91	81,99	8,20	5,30	2,90	148,39	14,84	11,94	2,90	1,27	27,7	46,42	4,64	0,09	4,55	2,95
		11	13,5	-	-	45,27	4,12	1,27	2,84	87,80	7,98	5,13	2,86	158,19	14,38	11,54	2,84	1,30	26,4	49,54	4,50	0,09	4,42	3,08
		12	12,9	-	-	48,52	4,04	1,24	2,81	93,08	7,76	4,95	2,81	167,92	13,99	11,19	2,81	1,33	25,3	52,76	4,40	0,08	4,31	3,23
		13	12,4	-	-	51,42	3,96	1,20	2,76	98,50	7,58	4,81	2,76	176,42	13,57	10,81	2,76	1,36	24,3	55,76	4,29	0,08	4,21	3,36
		14	12,0	-	-	54,29	3,88	1,16	2,72	103,11	7,37	4,65	2,71	184,65	13,19	10,47	2,72	1,39	23,4	58,52	4,18	0,08	4,10	3,49
		15	11,6	-	-	56,79	3,79	1,12	2,67	107,97	7,20	4,52	2,68	192,30	12,82	10,15	2,67	1,42	22,6	61,19	4,08	0,08	4,00	3,61
		16	11,2	-	-	59,57	3,72	1,09	2,64	112,16	7,01	4,38	2,63	200,16	12,51	9,87	2,64	1,44	21,9	63,81	3,99	0,07	3,92	3,72
		17	10,8	-	-	62,03	3,65	1,05	2,60	116,04	6,83	4,24	2,59	206,65	12,16	9,56	2,59	1,47	21,2	66,56	3,92	0,07	3,84	3,84
		18	10,5	-	-	64,37	3,58	1,02	2,55	120,22	6,68	4,13	2,55	213,07	11,84	9,29	2,55	1,50	20,6	69,08	3,84	0,07	3,77	3,96
		19	10,3	-	-	66,61	3,51	0,99	2,51	123,96	6,52	4,01	2,52	219,81	11,57	9,05	2,52	1,53	20,1	71,44	3,76	0,07	3,69	4,06
		20	10,0	-	-	68,94	3,45	0,97	2,48	127,62	6,38	3,90	2,48	225,34	11,27	8,79	2,48	1,56	19,6	73,96	3,70	0,07	3,63	4,18
		21	9,8	-	-	70,96	3,38	0,94	2,44	131,08	6,24	3,80	2,45	231,08	11,00	8,56	2,45	1,59	19,1	76,13	3,63	0,06	3,56	4,28
		22	9,5	-	-	73,08	3,32	0,91	2,41	134,49	6,11	3,70	2,41	236,32	10,74	8,34	2,40	1,62	18,7	78,32	3,56	0,06	3,50	4,38
		23	9,3	-	-	75,28	3,27	0,89	2,38	137,20	5,97	3,59	2,38	241,43	10,50	8,12	2,37	1,65	18,3	80,45	3,50	0,06	3,44	4,49
		24	9,1	-	-	77,09	3,21	0,87	2,34	140,38	5,85	3,51	2,34	245,81	10,24	7,90	2,34	1,67	17,9	82,58	3,44	0,06	3,38	4,59
		25	8,9	-	-	79,05	3,16	0,85	2,32	143,28	5,73	3,42	2,32	250,48	10,02	7,71	2,31	1,70	17,5	84,68	3,39	0,06	3,33	4,69
		26	8,8	-	-	80,91	3,11	0,83	2,29	146,04	5,62	3,34	2,28	255,22	9,82	7,53	2,28	1,73	17,2	86,79	3,34	0,06	3,28	4,79
		27	8,6	-	-	82,62	3,06	0,81	2,25	148,82	5,51	3,26	2,25	259,23	9,60	7,35	2,25	1,76	16,9	88,72	3,29	0,06	3,23	4,88
		28	8,5	-	-	84,25	3,01	0,79	2,22	151,31	5,40	3,18	2,22	262,92	9,39	7,16	2,23	1,79	16,5	90,47	3,23	0,05	3,18	4,98
		29	8,3	-	-	85,84	2,96	0,77	2,19	153,99	5,31	3,11	2,20	266,95	9,21	7,01	2,20	1,82	16,3	92,34	3,18	0,05	3,13	5,09
		30	8,2	-	-	87,45	2,92	0,75	2,17	156,15	5,21	3,04	2,17	270,36	9,01	6,85	2,17	1,85	16,0	94,17	3,14	0,05	3,09	5,18
		31	8,0	-	-	89,09	2,87	0,73	2,14	158,38	5,11	2,97	2,14	273,85	8,83	6,69	2,14	1,88	15,7	95,95	3,10	0,05	3,04	5,27
		32	7,9	-	-	90,59	2,83	0,72	2,12	160,45	5,01	2,90	2,11	276,80	8,65	6,54	2,11	1,91	15,5	97,73	3,05	0,05	3,00	5,37
		33	7,8	-	-	92,04	2,79	0,70	2,09	162,62	4,93	2,84	2,09	279,84	8,48	6,39	2,09	1,94	15,2	99,33	3,01	0,05	2,96	5,47
		34	7,7	-	-	93,47	2,75	0,69	2,06	164,80	4,85	2,78	2,07	283,25	8,33	6,26	2,07	1,96	15,0	100,95	2,97	0,05	2,92	5,55
		35	7,6	-	-	94,99	2,71	0,67	2,04	166,85	4,77	2,72	2,04	286,27	8,18	6,14	2,04	1,99	14,8	102,48	2,93	0,05	2,88	5,66
		36	7,5	-	-	96,16	2,67	0,66	2,02	168,55	4,68	2,66	2,02	289,19	8,03	6,02	2,02	2,03	14,6	104,15	2,89	0,05	2,85	5,75

Stof.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten (Minuten): K (Insgesamt), je Prad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2...), ab Stufe 2). WT: Wiederholungsindex.

Tabelle C.15 Kontinuierlich...

Spezies	#	Baum ohne Hauptstamm												Baum mit Hauptstamm													
		$m_0 = 0,6$						$m_0 = 1$						$m_0 = 2$						$m_0 = 3$							
		K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	WI	K	ko	k1	k2...	WI
Vogelbeere	2	72,9	3,83	0,66	3,16	10,21	5,11	1,93	3,18	21,53	10,77	7,60	3,17	39,89	19,95	16,78	3,17	1,04	90,2	10,65	5,33	0,30	5,03	1,18			
	3	59,5	11,25	3,75	0,64	3,11	14,91	4,97	1,85	3,12	31,11	10,37	7,25	3,12	57,38	19,13	15,99	3,14	1,07	70,6	14,94	4,98	0,22	4,76	1,32		
	4	51,6	14,72	3,68	0,61	3,07	19,40	4,85	1,77	3,08	40,04	10,01	6,93	3,08	73,24	18,31	15,22	3,09	1,11	63,8	18,95	4,74	0,18	4,56	1,45		
	5	46,1	18,05	3,61	0,59	3,02	23,67	4,73	1,69	3,04	48,23	9,65	6,62	3,02	87,99	17,60	14,57	3,02	1,13	57,0	22,68	4,54	0,15	4,39	1,55		
	6	42,1	21,34	3,56	0,58	2,98	27,63	4,61	1,63	2,98	55,92	9,32	6,34	2,98	101,62	16,94	13,96	2,98	1,16	52,1	26,39	4,40	0,13	4,27	1,65		
	7	39,0	24,44	3,49	0,56	2,94	31,41	4,49	1,56	2,93	63,05	9,01	6,07	2,94	114,03	16,29	13,35	2,94	1,20	48,2	29,82	4,26	0,12	4,15	1,73		
	8	36,5	27,46	3,43	0,53	2,90	35,22	4,40	1,51	2,90	69,97	8,75	5,84	2,91	126,19	15,77	12,87	2,90	1,23	45,1	33,07	4,13	0,10	4,03	1,82		
	9	34,4	30,44	3,38	0,52	2,86	38,80	4,31	1,45	2,86	76,18	8,46	5,61	2,85	137,15	15,24	12,38	2,86	1,25	42,5	36,50	4,06	0,09	3,96	1,91		
	10	32,6	33,32	3,33	0,51	2,83	42,25	4,23	1,41	2,82	82,36	8,24	5,41	2,83	147,15	14,72	11,89	2,83	1,28	40,3	39,45	3,95	0,09	3,86	1,98		
	11	31,1	36,06	3,28	0,49	2,79	45,58	4,14	1,36	2,79	88,21	8,02	5,24	2,78	156,96	14,27	11,49	2,78	1,31	38,5	42,61	3,87	0,08	3,80	2,05		
	12	29,8	38,72	3,23	0,48	2,75	48,82	4,07	1,32	2,75	93,60	7,80	5,05	2,75	166,02	13,84	11,09	2,75	1,34	36,8	45,48	3,79	0,07	3,72	2,13		
	13	28,6	41,46	3,19	0,47	2,72	51,92	3,99	1,28	2,72	98,74	7,60	4,88	2,71	174,82	13,45	10,73	2,72	1,37	35,4	48,14	3,70	0,07	3,64	2,20		
	14	27,6	43,92	3,14	0,46	2,68	54,82	3,92	1,24	2,68	103,36	7,38	4,71	2,68	183,41	13,10	10,42	2,68	1,40	34,1	50,97	3,64	0,06	3,58	2,27		
	15	26,6	46,44	3,10	0,45	2,65	57,69	3,85	1,20	2,64	108,71	7,25	4,60	2,65	190,58	12,71	10,05	2,65	1,42	32,9	53,55	3,57	0,06	3,51	2,34		
	16	25,8	48,78	3,05	0,44	2,61	60,48	3,78	1,17	2,61	113,15	7,07	4,46	2,62	198,05	12,38	9,76	2,62	1,45	31,9	56,19	3,51	0,06	3,46	2,39		
	17	25,0	51,15	3,01	0,43	2,58	63,22	3,72	1,13	2,59	117,64	6,92	4,33	2,59	204,73	12,04	9,46	2,59	1,48	30,9	58,75	3,46	0,05	3,40	2,46		
	18	24,3	53,50	2,97	0,42	2,56	65,84	3,66	1,10	2,56	121,43	6,75	4,20	2,55	211,70	11,76	9,21	2,55	1,51	30,1	61,09	3,39	0,05	3,34	2,52		
	19	23,7	55,78	2,94	0,41	2,53	68,50	3,61	1,08	2,53	125,72	6,62	4,09	2,53	217,97	11,47	8,95	2,52	1,53	29,3	63,59	3,35	0,05	3,30	2,59		
	20	23,1	57,94	2,90	0,40	2,50	71,00	3,55	1,05	2,50	129,78	6,49	3,99	2,50	224,20	11,21	8,71	2,50	1,56	28,5	65,94	3,30	0,05	3,25	2,65		
	21	22,5	60,21	2,87	0,39	2,47	73,40	3,50	1,03	2,47	133,37	6,35	3,88	2,47	230,22	10,96	8,49	2,47	1,59	27,8	68,19	3,25	0,04	3,20	2,71		
	22	22,0	62,22	2,83	0,38	2,45	75,94	3,45	1,00	2,45	137,02	6,23	3,79	2,44	236,15	10,73	8,28	2,45	1,61	27,2	70,53	3,21	0,04	3,17	2,77		
	23	21,5	64,35	2,80	0,38	2,42	78,38	3,41	0,98	2,43	140,37	6,10	3,69	2,42	241,75	10,51	8,09	2,42	1,64	26,6	72,61	3,16	0,04	3,12	2,83		
	24	21,1	66,31	2,76	0,37	2,40	80,54	3,36	0,96	2,40	144,19	6,01	3,61	2,40	247,37	10,31	7,91	2,40	1,67	26,0	74,86	3,12	0,04	3,08	2,89		
	25	20,6	68,40	2,74	0,36	2,37	82,78	3,31	0,94	2,37	147,35	5,89	3,52	2,37	251,28	10,05	7,68	2,37	1,69	25,5	77,18	3,09	0,04	3,05	2,95		
	26	20,2	70,38	2,71	0,36	2,35	84,81	3,26	0,92	2,35	150,67	5,80	3,45	2,35	257,24	9,89	7,55	2,35	1,72	25,0	78,96	3,04	0,04	3,00	3,00		
	27	19,8	72,25	2,68	0,35	2,33	86,99	3,22	0,90	2,32	153,71	5,69	3,37	2,33	261,71	9,69	7,36	2,33	1,74	24,5	81,24	3,01	0,03	2,98	3,06		
	28	19,5	74,06	2,65	0,34	2,30	89,07	3,18	0,88	2,30	156,77	5,60	3,30	2,30	266,28	9,51	7,21	2,30	1,77	24,1	83,05	2,97	0,03	2,93	3,12		
	29	19,2	75,89	2,62	0,34	2,28	91,21	3,15	0,87	2,28	159,59	5,50	3,23	2,28	270,60	9,33	7,05	2,28	1,79	23,7	84,97	2,93	0,03	2,90	3,17		
	30	18,8	77,79	2,59	0,33	2,26	93,42	3,11	0,85	2,26	162,87	5,43	3,17	2,26	275,52	9,18	6,92	2,26	1,82	23,3	86,94	2,90	0,03	2,87	3,22		
	31	18,5	79,48	2,56	0,33	2,24	95,26	3,07	0,84	2,24	165,76	5,35	3,11	2,24	279,03	9,00	6,77	2,24	1,85	22,9	88,91	2,87	0,03	2,84	3,27		
	32	18,2	81,18	2,54	0,32	2,21	97,09	3,03	0,82	2,21	168,54	5,27	3,05	2,22	283,23	8,85	6,64	2,22	1,87	22,5	90,85	2,84	0,03	2,81	3,33		
	33	18,0	82,90	2,51	0,32	2,19	99,07	3,00	0,81	2,20	170,97	5,18	2,99	2,20	287,23	8,70	6,51	2,20	1,89	22,2	92,63	2,81	0,03	2,78	3,39		
	34	17,7	84,63	2,49	0,31	2,18	100,84	2,97	0,79	2,18	173,23	5,10	2,92	2,17	291,11	8,56	6,39	2,17	1,92	21,9	94,38	2,78	0,03	2,75	3,40		
	35	17,4	86,24	2,46	0,31	2,16	102,83	2,94	0,78	2,16	176,12	5,03	2,87	2,16	294,46	8,41	6,26	2,16	1,94	21,6	96,18	2,75	0,03	2,72	3,50		
	36	17,2	88,06	2,45	0,30	2,14	104,51	2,90	0,77	2,14	178,92	4,97	2,83	2,14	299,05	8,31	6,17	2,14	1,96	21,3	98,06	2,72	0,03	2,70	3,55		

Stuf.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten (Minuten): K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2,..., ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.15 Kontinuierlich

Spezies	Baum	n	Stdf. (%)	$m_o = 1$				$m_o = 2$				$m_o = 3$				WI
				K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Fichte	1	2	60,9	125,80	62,90	11,15	51,75	191,77	95,89	44,65	51,24	303,09	151,54	100,22	51,32	1,02
		3	49,8	185,66	61,89	10,85	51,04	280,74	93,58	43,19	50,40	444,54	148,18	97,04	51,14	1,04
		4	43,1	242,64	60,66	10,55	50,11	367,95	91,99	41,96	50,03	578,76	144,69	94,34	50,35	1,06
		5	38,5	298,42	59,68	10,25	49,43	451,55	90,31	40,85	49,46	707,54	141,51	91,94	49,57	1,07
		6	35,2	353,61	58,94	9,97	48,97	533,30	88,88	39,78	49,10	828,79	138,13	89,31	48,82	1,09
		7	32,6	407,40	58,20	9,71	48,49	610,20	87,17	38,64	48,54	947,10	135,30	86,95	48,35	1,10
		8	30,5	458,62	57,33	9,45	47,87	684,38	85,55	37,65	47,90	1060,46	132,56	84,80	47,76	1,12
		9	28,7	507,55	56,39	9,21	47,18	755,13	83,90	36,66	47,24	1164,27	129,36	82,28	47,09	1,13
		10	27,3	556,22	55,62	8,97	46,65	824,56	82,46	35,77	46,68	1270,84	127,08	80,39	46,70	1,15
		11	26,0	603,92	54,90	8,74	46,16	891,24	81,02	34,78	46,25	1366,08	124,19	78,02	46,17	1,16
		12	24,9	650,45	54,20	8,53	45,68	955,85	79,65	33,99	45,67	1462,34	121,86	76,26	45,61	1,18
		13	23,9	692,86	53,30	8,28	45,01	1017,02	78,23	33,07	45,17	1547,91	119,07	74,14	44,93	1,19
		14	23,0	738,65	52,76	8,10	44,66	1077,85	76,99	32,38	44,61	1640,91	117,21	72,69	44,52	1,21
		15	22,3	783,83	52,26	7,92	44,34	1134,45	75,63	31,54	44,09	1727,79	115,19	70,84	44,34	1,22
		16	21,5	822,34	51,40	7,72	43,68	1193,41	74,59	30,84	43,75	1808,18	113,01	69,24	43,77	1,24
		17	20,9	863,63	50,80	7,54	43,26	1249,40	73,49	30,18	43,31	1885,62	110,92	67,54	43,38	1,25
		18	20,3	903,74	50,21	7,36	42,85	1301,29	72,29	29,40	42,90	1959,48	108,86	66,11	42,76	1,27
		19	19,8	944,36	49,70	7,20	42,51	1352,29	71,17	28,74	42,43	2028,88	106,78	64,45	42,34	1,28
		20	19,3	982,02	49,10	7,05	42,05	1403,30	70,17	28,09	42,08	2104,18	105,21	63,15	42,06	1,30
		21	18,8	1018,06	48,48	6,90	41,58	1455,64	69,32	27,52	41,79	2171,95	103,43	61,78	41,65	1,31
		22	18,4	1056,84	48,04	6,76	41,28	1497,14	68,05	26,90	41,15	2238,02	101,73	60,47	41,26	1,33
		23	18,0	1092,34	47,49	6,59	40,90	1543,21	67,10	26,26	40,84	2296,67	99,86	59,11	40,75	1,34
		24	17,6	1125,89	46,91	6,46	40,45	1585,78	66,07	25,70	40,38	2361,50	98,40	57,90	40,50	1,36
		25	17,2	1162,10	46,48	6,34	40,15	1631,68	65,27	25,21	40,06	2422,85	96,91	56,79	40,12	1,37
		26	16,9	1194,75	45,95	6,20	39,75	1674,14	64,39	24,69	39,70	2477,83	95,30	55,55	39,75	1,39
		27	16,6	1226,12	45,41	6,07	39,34	1715,80	63,55	24,21	39,34	2530,41	93,72	54,45	39,27	1,40
		28	16,3	1260,70	45,03	5,96	39,07	1759,04	62,82	23,75	39,08	2585,55	92,34	53,34	39,00	1,41
		29	16,0	1290,18	44,49	5,84	38,66	1795,85	61,93	23,27	38,66	2641,96	91,10	52,39	38,72	1,43
		30	15,7	1322,40	44,08	5,73	38,36	1833,63	61,12	22,81	38,31	2684,46	89,48	51,22	38,26	1,44
		31	15,5	1353,65	43,67	5,61	38,05	1874,66	60,47	22,41	38,07	2739,19	88,36	50,32	38,04	1,46
		32	15,2	1382,11	43,19	5,52	37,67	1910,08	59,69	21,97	37,72	2784,99	87,03	49,36	37,67	1,47
		33	15,0	1410,98	42,76	5,40	37,35	1946,93	59,00	21,55	37,45	2833,45	85,86	48,48	37,38	1,49
		34	14,8	1443,03	42,44	5,31	37,14	1974,75	58,08	21,12	36,96	2879,05	84,68	47,58	37,10	1,50
		35	14,6	1468,18	41,95	5,21	36,74	2011,21	57,46	20,78	36,68	2923,66	83,53	46,76	36,77	1,52
		36	14,4	1496,09	41,56	5,12	36,44	2047,57	56,88	20,43	36,45	2963,20	82,31	45,90	36,41	1,53

Stdf.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2..., ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.15 Kontinuierlich

Spezies	Baum	n	Std. (%)	$m_o = 1$				$m_o = 2$				$m_o = 3$				WI
				K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Fichte	2	2	71,1	142,71	71,36	26,95	44,41	303,39	151,70	107,43	44,26	574,04	287,02	242,86	44,16	1,02
		3	58,0	210,11	70,04	26,19	43,85	445,79	148,60	104,82	43,78	841,94	280,65	236,96	43,69	1,04
		4	50,3	275,20	68,80	25,57	43,23	582,15	145,54	102,22	43,32	1099,42	274,86	231,46	43,39	1,05
		5	45,0	338,63	67,73	25,00	42,73	712,88	142,58	99,69	42,89	1343,52	268,70	225,88	42,82	1,07
		6	41,0	399,68	66,61	24,35	42,27	839,29	139,88	97,52	42,36	1576,58	262,76	220,54	42,22	1,08
		7	38,0	460,54	65,79	23,85	41,94	960,30	137,19	95,15	42,04	1801,18	257,31	215,18	42,14	1,09
		8	35,5	518,98	64,87	23,29	41,58	1078,52	134,82	93,23	41,59	2017,33	252,17	210,71	41,45	1,11
		9	33,5	574,88	63,88	22,77	41,11	1186,85	131,87	90,85	41,03	2227,89	247,54	206,28	41,26	1,12
		10	31,8	628,32	62,83	22,24	40,60	1295,95	129,60	89,02	40,58	2422,19	242,22	201,46	40,76	1,14
		11	30,3	682,00	62,00	21,75	40,25	1400,15	127,29	87,02	40,27	2605,10	236,83	196,56	40,27	1,15
		12	29,0	733,99	61,17	21,29	39,88	1497,64	124,80	84,98	39,83	2782,70	231,89	192,12	39,77	1,16
		13	27,9	784,10	60,32	20,86	39,46	1594,80	122,68	83,29	39,39	2965,16	228,09	188,65	39,44	1,18
		14	26,9	832,45	59,46	20,39	39,07	1685,74	120,41	81,44	38,98	3129,48	223,53	184,53	39,00	1,19
		15	26,0	879,71	58,65	20,00	38,65	1777,76	118,52	79,82	38,70	3287,76	219,18	180,53	38,65	1,21
		16	25,1	926,22	57,89	19,57	38,32	1864,30	116,52	78,16	38,36	3435,90	214,74	176,48	38,27	1,22
		17	24,4	973,40	57,26	19,17	38,09	1945,94	114,47	76,61	37,86	3589,52	211,15	173,24	37,91	1,23
		18	23,7	1013,22	56,29	18,75	37,54	2028,74	112,71	75,11	37,60	3732,44	207,36	169,79	37,57	1,25
		19	23,1	1059,19	55,75	18,47	37,28	2108,20	110,96	73,79	37,17	3872,22	203,80	166,55	37,25	1,26
		20	22,5	1101,24	55,06	18,09	36,97	2187,34	109,37	72,41	36,96	4004,96	200,25	163,38	36,87	1,27
		21	21,9	1140,85	54,33	17,75	36,58	2254,33	107,35	70,72	36,63	4127,34	196,54	159,99	36,55	1,29
		22	21,4	1182,35	53,74	17,36	36,38	2328,28	105,83	69,54	36,29	4251,13	193,23	156,97	36,27	1,30
		23	21,0	1220,89	53,08	17,09	35,99	2395,68	104,16	68,12	36,04	4371,36	190,06	154,09	35,97	1,31
		24	20,5	1256,28	52,35	16,76	35,59	2463,24	102,64	66,98	35,66	4492,87	187,20	151,54	35,67	1,33
		25	20,1	1295,50	51,82	16,49	35,34	2528,73	101,15	65,79	35,36	4611,58	184,46	149,06	35,41	1,34
		26	19,7	1334,24	51,32	16,19	35,13	2591,97	99,69	64,64	35,05	4709,28	181,13	145,98	35,14	1,35
		27	19,3	1368,39	50,68	15,88	34,80	2654,13	98,30	63,55	34,76	4820,50	178,54	143,70	34,84	1,37
		28	19,0	1404,70	50,17	15,62	34,55	2715,22	96,97	62,41	34,57	4916,52	175,59	141,14	34,45	1,38
		29	18,7	1436,43	49,53	15,35	34,18	2771,82	95,58	61,28	34,30	5018,57	173,05	138,84	34,21	1,39
		30	18,4	1473,24	49,11	15,10	34,01	2829,84	94,33	60,33	34,00	5110,38	170,35	136,38	33,96	1,40
		31	18,1	1505,55	48,57	14,83	33,73	2884,49	93,05	59,31	33,74	5206,79	167,96	134,23	33,73	1,42
		32	17,8	1537,57	48,05	14,60	33,45	2938,21	91,82	58,34	33,48	5287,78	165,24	131,79	33,45	1,43
		33	17,5	1569,41	47,56	14,35	33,21	2989,70	90,60	57,40	33,20	5384,94	163,18	129,93	33,25	1,44
		34	17,2	1600,69	47,08	14,12	32,96	3043,41	89,51	56,59	32,92	5461,28	160,63	127,69	32,94	1,46
		35	17,0	1634,05	46,69	13,93	32,76	3092,04	88,34	55,63	32,72	5549,95	158,57	125,89	32,68	1,47
		36	16,8	1664,35	46,23	13,69	32,54	3141,83	87,27	54,72	32,55	5628,56	156,35	123,85	32,50	1,48

Std.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2..., ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.15 Kontinuierlich

Spezies	Baum	n	Std. (%)	m _o = 1				m _o = 2				m _o = 3				WI
				K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Fichte	3	2	43,3	168,92	84,46	7,76	76,70	212,26	106,13	29,80	76,33	287,91	143,96	67,09	76,87	1,02
		3	35,3	248,77	82,92	7,55	75,38	313,91	104,64	29,00	75,64	421,50	140,50	65,12	75,38	1,04
		4	30,6	326,42	81,60	7,35	74,26	410,56	102,64	28,25	74,39	553,04	138,26	63,22	75,04	1,06
		5	27,4	403,13	80,63	7,17	73,46	502,18	100,44	27,40	73,04	676,48	135,30	61,76	73,54	1,07
		6	25,0	476,40	79,40	6,96	72,44	592,48	98,75	26,71	72,04	793,31	132,22	59,96	72,26	1,09
		7	23,1	547,23	78,18	6,79	71,39	681,15	97,31	26,05	71,26	908,73	129,82	58,50	71,32	1,11
		8	21,6	615,93	76,99	6,62	70,37	767,10	95,89	25,39	70,50	1021,23	127,65	57,11	70,54	1,12
		9	20,4	680,59	75,62	6,45	69,17	847,76	94,20	24,74	69,46	1125,50	125,06	55,66	69,40	1,14
		10	19,3	747,85	74,79	6,28	68,50	925,87	92,59	24,14	68,44	1227,46	122,75	54,25	68,50	1,16
		11	18,4	810,45	73,68	6,14	67,54	1001,67	91,06	23,54	67,53	1323,12	120,28	52,80	67,49	1,17
		12	17,7	870,92	72,58	5,99	66,58	1079,65	89,97	22,99	66,99	1420,03	118,34	51,62	66,72	1,19
		13	17,0	933,95	71,84	5,87	65,98	1148,68	88,36	22,47	65,89	1514,42	116,49	50,40	66,09	1,20
		14	16,4	992,74	70,91	5,73	65,18	1215,73	86,84	21,92	64,92	1601,81	114,42	49,16	65,25	1,22
		15	15,8	1049,54	69,97	5,59	64,38	1286,73	85,78	21,42	64,36	1688,87	112,59	48,16	64,43	1,24
		16	15,3	1105,90	69,12	5,46	63,66	1354,32	84,65	21,02	63,62	1771,07	110,69	47,13	63,57	1,25
		17	14,8	1158,35	68,14	5,36	62,78	1418,51	83,44	20,55	62,89	1850,40	108,85	46,01	62,84	1,27
		18	14,4	1213,22	67,40	5,24	62,16	1482,17	82,34	20,15	62,20	1933,02	107,39	45,21	62,18	1,29
		19	14,0	1267,49	66,71	5,14	61,57	1543,85	81,26	19,73	61,53	2011,30	105,86	44,28	61,58	1,30
		20	13,7	1319,06	65,95	5,03	60,92	1600,44	80,02	19,28	60,74	2079,08	103,95	43,20	60,75	1,31
		21	13,3	1365,90	65,04	4,92	60,12	1657,22	78,92	18,92	60,00	2157,41	102,73	42,44	60,29	1,33
		22	13,0	1416,07	64,37	4,83	59,54	1714,86	77,95	18,52	59,43	2224,57	101,12	41,57	59,55	1,35
		23	12,8	1464,09	63,66	4,73	58,93	1769,99	76,96	18,16	58,80	2294,25	99,75	40,77	58,98	1,36
		24	12,5	1509,48	62,90	4,63	58,26	1827,00	76,13	17,78	58,34	2359,90	98,33	40,05	58,28	1,38
		25	12,2	1557,80	62,31	4,55	57,77	1878,40	75,14	17,50	57,64	2422,50	96,90	39,16	57,74	1,39
		26	12,0	1599,78	61,53	4,46	57,07	1927,82	74,15	17,14	57,01	2484,46	95,56	38,49	57,07	1,41
		27	11,8	1643,68	60,88	4,39	56,49	1980,05	73,34	16,81	56,53	2548,21	94,38	37,76	56,62	1,42
		28	11,6	1688,99	60,32	4,30	56,02	2030,53	72,52	16,54	55,97	2604,45	93,02	36,99	56,03	1,44
		29	11,4	1732,40	59,74	4,22	55,52	2077,36	71,63	16,22	55,41	2663,77	91,85	36,39	55,46	1,45
		30	11,2	1770,12	59,00	4,15	54,86	2125,41	70,85	15,93	54,92	2722,38	90,75	35,78	54,97	1,47
		31	11,0	1815,67	58,57	4,08	54,49	2173,66	70,12	15,66	54,46	2777,26	89,59	35,15	54,44	1,48
		32	10,8	1855,62	57,99	4,01	53,98	2218,91	69,34	15,37	53,97	2825,44	88,30	34,48	53,81	1,50
		33	10,6	1892,45	57,35	3,94	53,41	2261,89	68,54	15,12	53,43	2883,08	87,37	33,89	53,47	1,51
		34	10,5	1928,58	56,72	3,87	52,85	2304,18	67,77	14,84	52,93	2932,40	86,25	33,34	52,91	1,53
		35	10,3	1972,25	56,35	3,82	52,54	2349,10	67,12	14,63	52,49	2983,16	85,23	32,78	52,45	1,54
		36	10,2	2007,76	55,77	3,75	52,03	2392,31	66,45	14,39	52,07	3033,72	84,27	32,25	52,02	1,56

Std.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2..., ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.15 Kontinuierlich

Spezies	Baum	n	Std. (%)	m _o = 1				m _o = 2				m _o = 3				WI
				K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	K	ko	k1	k2...	
Fichte	4	2	39,5	139,47	69,73	34,30	35,43	342,70	171,35	135,56	35,79	679,08	339,54	303,97	35,57	1,04
		3	32,3	204,26	68,09	33,30	34,78	497,73	165,91	131,09	34,82	987,67	329,22	294,21	35,02	1,06
		4	28,0	265,74	66,44	32,25	34,19	647,06	161,77	127,39	34,37	1278,31	319,58	285,22	34,36	1,08
		5	25,0	324,51	64,90	31,20	33,71	785,89	157,18	123,51	33,67	1552,10	310,42	276,76	33,66	1,11
		6	22,8	379,46	63,24	30,31	32,94	913,51	152,25	119,23	33,02	1809,52	301,59	268,40	33,19	1,13
		7	21,1	432,94	61,85	29,39	32,46	1038,21	148,32	115,84	32,48	2044,37	292,05	259,59	32,46	1,15
		8	19,8	484,54	60,57	28,60	31,97	1154,59	144,32	112,47	31,86	2271,24	283,91	252,05	31,86	1,17
		9	18,6	530,58	58,95	27,67	31,28	1267,54	140,84	109,51	31,33	2480,18	275,58	244,26	31,32	1,20
		10	17,7	576,81	57,68	26,95	30,73	1374,05	137,41	106,48	30,93	2688,70	268,87	238,12	30,75	1,22
		11	16,9	622,01	56,55	26,22	30,33	1471,27	133,75	103,39	30,37	2879,59	261,78	231,50	30,28	1,24
		12	16,1	662,70	55,23	25,44	29,79	1561,97	130,16	100,42	29,74	3065,15	255,43	225,64	29,79	1,27
		13	15,5	701,90	53,99	24,74	29,25	1653,09	127,16	97,89	29,27	3222,47	247,88	218,66	29,23	1,29
		14	14,9	741,44	52,96	24,14	28,82	1736,00	124,00	95,12	28,88	3385,05	241,79	213,02	28,78	1,31
		15	14,4	778,01	51,87	23,46	28,41	1813,53	120,90	92,51	28,40	3534,11	235,61	207,25	28,36	1,34
		16	14,0	813,82	50,86	22,90	27,96	1889,33	118,08	90,14	27,94	3675,41	229,71	201,80	27,92	1,36
		17	13,6	846,63	49,80	22,27	27,53	1960,25	115,31	87,75	27,56	3809,04	224,06	196,61	27,46	1,39
		18	13,2	877,93	48,77	21,67	27,11	2027,47	112,64	85,56	27,08	3937,97	218,78	191,71	27,07	1,41
		19	12,8	909,93	47,89	21,17	26,72	2091,16	110,06	83,37	26,70	4054,83	213,41	186,79	26,62	1,43
		20	12,5	937,96	46,90	20,62	26,28	2151,78	107,59	81,31	26,28	4177,32	208,87	182,53	26,34	1,46
		21	12,2	966,74	46,04	20,14	25,90	2210,52	105,26	79,39	25,88	4288,07	204,19	178,26	25,94	1,48
		22	11,9	992,66	45,12	19,62	25,50	2259,27	102,69	77,20	25,50	4384,75	199,31	173,73	25,57	1,51
		23	11,7	1019,54	44,33	19,17	25,16	2318,03	100,78	75,64	25,15	4471,82	194,43	169,27	25,16	1,53
		24	11,4	1044,43	43,52	18,70	24,82	2369,14	98,71	73,92	24,79	4571,42	190,48	165,66	24,82	1,56
		25	11,2	1068,78	42,75	18,30	24,45	2417,15	96,69	72,22	24,46	4656,60	186,26	161,80	24,47	1,58
		26	11,0	1090,41	41,94	17,86	24,08	2458,01	94,54	70,46	24,08	4746,17	182,55	158,41	24,13	1,61
		27	10,8	1113,80	41,25	17,47	23,78	2500,74	92,62	68,84	23,79	4825,47	178,72	154,88	23,84	1,63
		28	10,6	1135,65	40,56	17,09	23,47	2545,03	90,89	67,41	23,49	4890,96	174,68	151,20	23,48	1,65
		29	10,4	1157,01	39,90	16,72	23,17	2587,73	89,23	66,05	23,18	4964,92	171,20	148,05	23,16	1,68
		30	10,2	1176,90	39,23	16,37	22,86	2623,32	87,44	64,56	22,88	5031,33	167,71	144,83	22,88	1,70
		31	10,0	1196,82	38,61	16,02	22,59	2660,17	85,81	63,24	22,57	5090,54	164,21	141,67	22,54	1,73
		32	9,9	1217,41	38,04	15,70	22,35	2694,37	84,20	61,89	22,31	5155,36	161,11	138,83	22,28	1,75
		33	9,7	1233,05	37,37	15,36	22,00	2726,53	82,62	60,63	22,00	5212,19	157,95	135,94	22,00	1,78
		34	9,6	1249,33	36,75	15,03	21,72	2759,78	81,17	59,41	21,76	5260,79	154,73	133,02	21,71	1,80
		35	9,5	1266,37	36,18	14,73	21,46	2789,08	79,69	58,19	21,50	5326,62	152,19	130,68	21,51	1,83
		36	9,3	1283,76	35,66	14,45	21,21	2814,08	78,17	56,95	21,22	5364,58	149,02	127,82	21,19	1,85

Std.: Standardfehler der Zielgröße; Zeiten: K (Insgesamt), je Pfad (ko), je Primäreinheit (k1) und je restlicher Pfad (k2..., ab Stufe 2). WI: Wiederholungsindex.

Tabelle C.16 Stichprobenumfang (n) und Zeitaufwand für unterschiedliche optimale Sekundärstichprobenumfänge (m_o) zur Erlangung einer bestimmten Präzision mit der Anwendung des ZmZ (Hilfsgröße: Querschnitt).

Spezies	Baum	m_o	Standardfehler (%)									
			10	15	20	25	30					
			Stichprobenumfang (n) und Zeitaufwand für ein bestimmtes m_o									
Fichte ^a	1	1	-	-	1410,98	927,82	646,01	470,98				
		2	-	-	33,00	1946,93	18,59	1331,49	11,90	949,56	8,25	702,33
		3	-	-	2833,45	2000,00	1453,19	1086,79				
	2	1	-	-	-	-	1305,95	932,51	693,63			
		2	-	-	-	-	25,26	2545,34	16,13	1875,04	11,22	1421,91
		3	-	-	-	-	4637,73	3455,66	2644,06			
	3	1	-	-	1136,38	704,06	476,40	338,79				
		2	-	-	16,58	1391,74	9,35	875,42	6,00	592,48	4,16	425,46
		3	-	-	1816,90	1161,60	793,31	573,40				
	4	1	1196,82	734,89	476,66	324,51	234,16					
		2	31,00	2660,17	13,83	1722,47	7,84	1136,32	5,00	785,89	3,48	570,43
		3	5090,54	3357,79	2236,15	1552,10	1129,63					
Vogelbeere ^b	2	1 ^d	68,94	38,50	23,88	16,03	11,44					
		2	20,00	127,62	8,89	75,59	5,00	47,64	3,20	32,23	2,23	23,24
		3	225,34	136,42	87,65	59,53	42,97					
		Urbaum ^c	-	-	34,00	100,95	19,20	71,94	12,29	53,66	8,53	41,61
	3	0,8 ^d	59,33	36,42	23,51	16,23	11,71					
		1	64,12	40,09	26,24	18,11	13,16					
		2	29,37	105,06	13,16	71,17	7,40	48,58	4,73	34,25	3,28	25,25
		3	172,89	122,98	85,62	61,13	45,19					
	4	Urbaum	-	-	32,35	77,93	18,16	56,72	11,63	43,01	8,05	33,65
		0,6 ^d	-	-	-	-	71,29	51,15	38,29			
		1	-	-	-	-	85,85	63,22	48,30			
		2	-	-	-	-	26,48	152,15	17,00	117,64	11,84	92,75
4	3	-	-	-	-	259,54	204,73	154,61				
	Urbaum	-	-	-	-	-	-	26,00	78,96	18,13	61,41	

^a Bäume ohne Hauptstamm, Zeit ohne Einheiten; ^b Bäume ohne Hauptstamm, Zeit in Minuten; ^c Baum mit Hauptstamm; ^d aktueller Baum.

Tabelle C.17 Stichprobenumfang (n) und Zeitaufwand für unterschiedliche optimale Sekundärstichprobenumfänge (m_o) zur Erlangung einer bestimmten Präzision mit der Anwendung des ZoZ-ZmZ (Hilfsgröße: Querschnitt).

Spezies	Baum	Stichprobenumfang		Standardfehler (%)						
				10	15	20	25	30		
		m	m_o	Stichprobenumfang (n) und Zeitaufwand für ein bestimmtes m_o						
Fichte	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
			2	-	-	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-	-	-
		2	1	-	-	-	-	-	-	433,62
			2	-	-	-	-	-	-	4,60 590,74
			3	-	-	-	-	-	-	854,62
	3	1	-	-	-	-	-	577,06	412,19	
		2	-	-	-	-	-	5,00 749,74	3,56 534,04	
		3	-	-	-	-	-	1037,61	737,62	
	4	1	-	-	-	-	-	568,00	405,74	
		2	-	-	-	-	-	4,26 713,14	3,06 512,84	
		3	-	-	-	-	-	957,24	686,94	
	5	1	-	-	-	-	836,60	563,95	406,46	
		2	-	-	-	-	5,67 1030,29	3,83 697,09	2,75 499,76	
		3	-	-	-	-	1355,69	915,69	656,17	
	6	1	-	-	-	-	832,39	564,16	407,07	
		2	-	-	-	-	5,22 1011,80	3,53 684,15	2,55 493,79	
		3	-	-	-	-	1310,49	888,26	639,89	
2	1	1	-	-	-	-	-	-		
		2	-	-	-	-	-	-		
		3	-	-	-	-	-	-		
	2	1	-	-	-	-	-	-	-	
		2	-	-	-	-	-	-	-	
		3	-	-	-	-	-	-	-	
3	1	-	-	-	-	-	-	637,64		
	2	-	-	-	-	-	-	5,48 1092,24		
	3	-	-	-	-	-	-	1854,34		
4	1	-	-	-	-	-	-	655,96		
	2	-	-	-	-	-	-	5,00 1069,32		
	3	-	-	-	-	-	-	1765,16		
5	1	-	-	-	-	-	-	677,96		
	2	-	-	-	-	-	-	4,71 1065,47		
	3	-	-	-	-	-	-	1722,87		
6	1	-	-	-	-	-	927,68	700,26		
	2	-	-	-	-	-	6,00 1423,15	4,53 1074,76		
	3	-	-	-	-	-	2259,07	1705,91		

Tabelle C.17 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Stichprobenumfang		Standardfehler (%)					
				10	15	20	25	30	
		m	m_o	Stichprobenumfang (n) und Zeitaufwand für ein bestimmtes m_o					
Fichte	3	1	1	-	-	-	-	498,72	350,92
			2	-	-	-	-	632,30	442,23
			3	-	-	-	-	855,37	596,45
		2	1	-	-	-	613,71	403,90	285,06
			2	-	-	-	724,41	474,67	335,44
			3	-	-	-	911,33	596,64	420,53
		3	1	-	-	-	930,62	546,13	360,32
			2	-	-	6,00	1067,96	625,21	413,92
			3	-	-	-	1297,13	760,43	501,31
		4	1	-	-	-	866,39	510,65	-
			2	-	-	4,87	977,55	575,24	-
			3	-	-	-	1166,39	683,37	-
		5	1	-	-	-	829,06	488,45	-
			2	-	-	4,19	924,32	542,58	-
			3	-	-	-	1082,00	639,23	-
		6	1	-	-	-	808,62	470,84	-
			2	-	-	3,77	892,94	520,12	-
			3	-	-	-	1036,54	601,16	-
	4	1	1	-	-	-	-	325,54	235,12
			2	-	-	-	-	800,27	578,46
			3	-	-	-	-	1590,81	1148,51
		2	1	-	-	-	437,36	297,29	214,63
			2	-	-	-	964,28	654,33	473,03
			3	-	-	-	1841,33	1249,68	902,75
3		1	-	-	-	427,29	291,49	211,50	
		2	-	-	-	893,11	608,42	442,59	
		3	-	-	-	1670,47	1138,10	827,52	
4		1	-	-	-	425,42	291,96	210,33	
		2	-	-	-	859,50	590,88	426,47	
		3	-	-	-	1583,40	1088,66	784,16	
5		1	-	-	-	431,19	292,76	-	
		2	-	-	-	852,47	578,08	-	
		3	-	-	-	1553,62	1052,62	-	
6		1	-	-	-	434,12	294,36	-	
		2	-	-	-	840,48	573,57	-	
		3	-	-	-	1519,46	1036,35	-	

Tabelle C.17 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Stichproben- umfang		Standardfehler (%)									
				10		15		20		25		30	
		<i>m</i>	<i>m_o</i>	Stichprobenumfang (<i>n</i>) und Zeitaufwand für ein bestimmtes <i>m_o</i>									
Vogelbeere	2	1	1	-	-	-	-	24,18	-	16,27	-	11,50	
			2	-	-	-	4,56	49,63	3,05	33,18	2,17	23,62	
			3	-	-	-	-	92,01	-	61,58	-	43,79	
		2	1	-	-	-	36,69	22,26	-	14,96	-	-	
			2	-	-	5,11	65,22	3,11	39,73	2,08	26,47	-	-
			3	-	-	-	112,62	68,52	-	45,77	-	-	
		3	1	-	-	-	36,17	22,26	-	-	-	-	
			2	-	-	4,31	60,10	2,65	37,03	-	-	-	
			3	-	-	-	100,24	61,62	-	-	-	-	
		4	1	-	-	-	36,26	22,51	-	-	-	-	
			2	-	-	3,91	58,18	2,42	35,94	-	-	-	
			3	-	-	-	94,40	58,46	-	-	-	-	
	5	1	-	-	-	36,88	22,65	-	-	-	-		
		2	-	-	3,70	57,61	2,26	35,09	-	-	-		
		3	-	-	-	91,99	56,12	-	-	-	-		
	6	1	-	-	-	37,35	22,68	-	-	-	-		
		2	-	-	3,54	56,95	2,15	34,56	-	-	-		
		3	-	-	-	89,93	54,58	-	-	-	-		
	3	1	0,8	-	-	-	-	-	16,02	-	11,67		
			1	-	-	-	-	-	18,12	-	13,14		
			2	-	-	-	-	-	35,41	3,05	25,77		
			3	-	-	-	-	-	64,20	-	46,71		
		2	0,8	-	-	-	-	22,23	-	15,43	-	11,16	
			1	-	-	-	-	24,21	4,06	16,77	2,82	12,16	
2			-	-	-	-	40,94	-	28,48	-	20,72		
3		2	-	-	-	-	68,92	-	47,85	-	34,75		
		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		0,8	-	-	-	34,33	22,39	-	15,59	-	-		
3		1	-	-	5,23	36,82	3,42	24,10	2,38	16,82	-		
		2	-	-	-	58,50	38,20	-	26,58	-	-		
	3	-	-	-	94,30	61,72	-	42,97	-	-			
4	0,8	-	-	-	34,55	22,76	-	15,72	-	-			
	1	-	-	4,70	36,76	3,10	24,26	2,15	16,81	-			
	2	-	-	-	56,26	37,06	-	25,68	-	-			
5	3	-	-	-	88,50	58,31	-	40,45	-	-			
	0,8	-	-	-	34,93	22,80	-	15,78	-	-			
	1	-	-	4,40	36,97	2,88	24,17	2,00	16,79	-			
6	2	-	-	-	55,18	36,10	-	25,01	-	-			
	3	-	-	-	85,36	55,96	-	38,80	-	-			
	0,8	-	-	-	35,20	22,88	-	-	-	-			
6	1	-	-	4,21	37,32	2,74	24,18	-	-	-			
	2	-	-	-	54,74	35,57	-	-	-	-			
	3	-	-	-	83,66	54,40	-	-	-	-			

Tabelle C.17 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Stichproben- umfang		Standardfehler (%)					
				10	15	20	25	30	
		m	m_o	Stichprobenumfang (n) und Zeitaufwand für ein bestimmtes m_o					
Vogelbeere	4	1	0,6	-	-	-	-	-	-
			1	-	-	-	-	-	-
			2	-	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-	-
		2	0,6	-	-	-	-	-	-
			1	-	-	-	-	-	-
			2	-	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-	-
		3	0,6	-	-	-	-	-	40,60
			1	-	-	-	-	-	47,45
			2	-	-	-	-	-	5,22 78,76
			3	-	-	-	-	-	129,01
		4	0,6	-	-	-	-	-	43,52
			1	-	-	-	-	-	49,86
			2	-	-	-	-	-	4,78 78,40
			3	-	-	-	-	-	124,45
		5	0,6	-	-	-	-	59,35	46,22
			1	-	-	-	-	67,04	52,22
			2	-	-	-	-	101,53	4,52 79,16
			3	-	-	-	-	157,54	122,81
		6	0,6	-	-	-	-	62,29	48,58
			1	-	-	-	-	69,67	54,32
			2	-	-	-	-	102,87	4,34 80,17
			3	-	-	-	-	156,74	122,04

Tabelle C.18 Verhältnis des Zeitaufwandes des klassischen RBS-Verfahrens zu ZoZ-ZmZ für unterschiedliche optimale Sekundärstichprobenumfänge (m_o) und Präzisionsniveau (Hilfsgröße: Querschnitt).

Spezies	Baum	Stichproben- umfang		Standardfehler (%)				
				10	15	20	25	30
		m	m_o	Verhältnis des Zeitaufwandes ($ZmZ/ZoZ-ZmZ$) für ein bestimmtes m_o (%)				
Fichte	1	1	1	-	-	-	-	-
			2	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-
		2	1	-	-	-	-	108,6
			2	-	-	-	-	118,9
			3	-	-	-	-	127,2
		3	1	-	-	-	111,9	114,3
			2	-	-	-	126,7	131,5
			3	-	-	-	140,1	147,3
		4	1	-	-	-	113,7	116,1
			2	-	-	-	133,2	136,9
			3	-	-	-	151,8	158,2
	5	1	-	-	110,9	114,6	115,9	
		2	-	-	129,2	136,2	140,5	
		3	-	-	147,5	158,7	165,6	
	6	1	-	-	111,5	114,5	115,7	
		2	-	-	131,6	138,8	142,2	
		3	-	-	152,6	163,6	169,8	
	2	1	1	-	-	-	-	
			2	-	-	-	-	
			3	-	-	-	-	
		2	1	-	-	-	-	-
			2	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-
3		1	-	-	-	-	108,8	
		2	-	-	-	-	130,2	
		3	-	-	-	-	142,6	
4		1	-	-	-	-	105,7	
		2	-	-	-	-	133,0	
		3	-	-	-	-	149,8	
5	1	-	-	-	-	102,3		
	2	-	-	-	-	133,5		
	3	-	-	-	-	153,5		
6	1	-	-	-	100,5	99,1		
	2	-	-	-	131,8	132,3		
	3	-	-	-	153,0	155,0		

Tabelle C.18 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Stichproben- umfang		Standardfehler (%)				
				10	15	20	25	30
		m	m_o	Verhältnis des Zeitaufwandes ($ZmZ/ZoZ-ZmZ$) für ein bestimmtes m_o (%)				
Fichte	3	1	1	-	-	-	95,5	96,5
			2	-	-	-	93,7	96,2
			3	-	-	-	92,7	96,1
		2	1	-	-	114,7	117,9	118,8
			2	-	-	120,8	124,8	126,8
			3	-	-	127,5	133,0	136,4
		3	1	-	122,1	128,9	132,2	-
			2	-	130,3	140,0	143,1	-
			3	-	140,1	152,8	158,2	-
		4	1	-	131,2	137,9	-	-
			2	-	142,4	152,2	-	-
			3	-	155,8	170,0	-	-
		5	1	-	137,1	144,1	-	-
			2	-	150,6	161,3	-	-
			3	-	167,9	181,7	-	-
		6	1	-	140,5	149,5	-	-
			2	-	155,9	168,3	-	-
			3	-	175,3	193,2	-	-
	4	1	1	-	-	-	99,7	99,6
			2	-	-	-	98,2	98,6
			3	-	-	-	97,6	98,4
		2	1	-	-	109,0	109,2	109,1
			2	-	-	117,8	120,1	120,6
			3	-	-	121,4	124,2	125,1
3		1	-	-	111,6	111,3	110,7	
		2	-	-	127,2	129,2	128,9	
		3	-	-	133,9	136,4	136,5	
4		1	-	-	112,0	111,1	111,3	
		2	-	-	132,2	133,0	133,8	
		3	-	-	141,2	142,6	144,1	
5		1	-	-	110,5	110,8	-	
		2	-	-	133,3	135,9	-	
		3	-	-	143,9	147,5	-	
6		1	-	-	109,8	110,2	-	
		2	-	-	135,2	137,0	-	
		3	-	-	147,2	149,8	-	

Tabelle C.18 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Stichproben- umfang		Standardfehler (%)				
				10	15	20	25	30
		m	m_o	Verhältnis des Zeitaufwandes (Z_mZ/Z_oZ-Z_mZ) für ein bestimmtes m_o (%)				
Vogelbeere	2	1	1	-	-	98,8	98,5	99,5
			2	-	-	96,0	97,1	98,4
			3	-	-	95,3	96,7	98,1
		2	1	-	104,9	107,3	107,2	-
			2	-	115,9	119,9	121,8	-
			3	-	121,1	127,9	130,1	-
	3	1	-	106,4	107,3	-	-	
		2	-	125,8	128,7	-	-	
		3	-	136,1	142,2	-	-	
	4	1	-	106,2	106,1	-	-	
		2	-	129,9	132,6	-	-	
		3	-	144,5	149,9	-	-	
	5	1	-	104,4	105,4	-	-	
		2	-	131,2	135,8	-	-	
		3	-	148,3	156,2	-	-	
	6	1	-	103,1	105,3	-	-	
		2	-	132,7	137,8	-	-	
		3	-	151,7	160,6	-	-	
3	1	0,8	-	-	-	101,3	100,3	
		1	-	-	-	99,9	100,2	
		2	-	-	-	96,7	98,0	
		3	-	-	-	95,2	96,7	
	2	0,8	-	-	105,8	105,2	104,9	
		1	-	-	108,4	108,0	108,2	
		2	-	-	118,7	120,3	121,9	
		3	-	-	124,2	127,8	130,0	
	3	0,8	-	106,1	105,0	104,1	-	
		1	-	108,9	108,9	107,7	-	
		2	-	121,7	127,2	128,9	-	
		3	-	130,4	138,7	142,3	-	
	4	0,8	-	105,4	103,3	103,2	-	
		1	-	109,1	108,2	107,7	-	
		2	-	126,5	131,1	133,4	-	
		3	-	139,0	146,8	151,1	-	
	5	0,8	-	104,3	103,1	102,9	-	
		1	-	108,4	108,6	107,9	-	
		2	-	129,0	134,6	136,9	-	
		3	-	144,1	153,0	157,6	-	
	6	0,8	-	103,5	102,8	-	-	
		1	-	107,4	108,5	-	-	
		2	-	130,0	136,6	-	-	
		3	-	147,0	157,4	-	-	

Tabelle C.18 Kontinuierlich...

Spezies	Baum	Stichproben- umfang		Standardfehler (%)				
				10	15	20	25	30
		m	m_o	Verhältnis des Zeitaufwandes (Z_mZ/Z_oZ-Z_mZ) für ein bestimmtes m_o (%)				
	4	1	0,8	-	-	-	-	-
			1	-	-	-	-	-
			2	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-
		2	0,8	-	-	-	-	-
			1	-	-	-	-	-
			2	-	-	-	-	-
			3	-	-	-	-	-
		3	0,8	-	-	-	-	94,3
			1	-	-	-	-	101,8
			2	-	-	-	-	117,8
			3	-	-	-	-	119,8
		4	0,8	-	-	-	-	88,0
			1	-	-	-	-	96,9
			2	-	-	-	-	118,3
			3	-	-	-	-	124,2
		5	0,8	-	-	-	86,2	82,8
			1	-	-	-	94,3	92,5
			2	-	-	-	115,9	117,2
			3	-	-	-	130,0	125,9
		6	0,8	-	-	-	82,1	78,8
			1	-	-	-	90,7	88,9
			2	-	-	-	114,4	115,7
			3	-	-	-	130,6	126,7

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Jorge Orlando Cancino Cancino
Geburtsdatum: 03 de julio de 1957
Geburtsort: Sauzal, Chile
Eltern: Feliciano Cancino, Nadalina Cancino
Familienstand: verheiratet am 08.09.1999 mit Ehefrau Natalia Decarli
Staatsangehörigkeit: Chilene

Schulbildung

1964-1967 Grundschole (Escuela N° 36) in Estación Villa Alegre, Chile
1968-1971 Grundschole (Escuela N° 6) in Chillán, Chile
1972-1975 Mittelschole (Liceo N° 2) in Chillán, Chile

Universitäre Ausbildung

1978-1982 Studium der Forstwissenschaften an der Fakultät für Forstwissenschaften der Universität von Concepción, Chillán, Chile.
Abschluß: Forstingenieur (Ingeniero Forestal)

Wissenschaftlichen Tätigkeiten

Professor (Adjutant) an der Fakultät für Forstwissenschaften der Universität von Concepción.
1986 Fach: Baummeßlehre
1987-1990 Fächer: Forstinventur (Stichprobenverfahren), PC-Programmierung
1990-1991 Baummeßlehre
1991-1993 Magisterarbeit am CATIE, Costa Rica, im Studienfach Agrarforstwirtschaft.
Professor (Assistent) an der Fakultät für Forstwissenschaften der Universität von Concepción.
1993-1996 Fach: Agrarforstwirtschaft
1993-1999 Fächer: Forstinventur (Stichprobenverfahren), Baummeßlehre
Ab 1999 Doktorand am Institut für Forstliche Biometrie und Informatik der Georg-August-Universität Göttingen

Göttingen, im Juli 2003.