

# **Kontrollstichproben im Plenterwald**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Lubor Dvorak

Dipl. Forsting. Landwirtschaftliche Hochschule Brünn

geboren am 10. September 1965

aus der Tschechischen Republik und Olten SO

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. Peter Bachmann, Referent

PD Dr. Daniel Mandallaz, 1. Korreferent

Prof. Dr. Michael Köhl, 2. Korreferent

## Vorwort

Diese Arbeit ist in den Jahren 1994–2000 während meines Aufenthaltes an der Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich entstanden, wo ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig war.

Mein Dank gilt zunächst der ETH, die meinen Aufenthalt durch ein Stipendium finanziell unterstützte und dadurch erst ermöglichte. Ich danke auch dem Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, dessen Beitrag die aufwändigen Feldarbeiten ermöglichte.

PROF. DR. PETER BACHMANN hat die Arbeit als Referent begleitet. Seine wertvollen Anregungen, seine dauernde Gesprächsbereitschaft und seine kompetente Unterstützung sowohl in fachlichen als auch in persönlichen Angelegenheiten haben wesentlich zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen. Ich habe Arbeitsbedingungen erlebt, die sich jeder Forschende nur wünschen kann. Dafür danke ich ihm herzlich.

Einen besonderen Dank schulde ich auch PD DR. DANIEL MANDALLAZ, der das Korreferat übernommen hat. Ohne seine umfassende Beratung in statistischen Fragestellungen, seine konstruktive Kritik und seine stete Hilfsbereitschaft hätte die Arbeit nicht in dieser Form fertiggestellt werden können. Mein Dank richtet sich auch an den zweiten Korreferenten, PROF. DR. MICHAEL KÖHL (TU Dresden), der mit seiner konstruktiven Kritik und mit seinen Hinweisen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Die Felddaufnahmen wurden erst möglich durch Hinweise aus der Praxis und durch die Unterstützung durch den Forstdienst. Dafür danke ich den Kreisförstern und Abteilungsleitern HEINZ ZIMMER (Thun), CONRADIN MOHR (Bern), DR. ANDREAS BÜRKI, DR. JANEZ GRILC, LAURENT MARTI, MARTIN BIDER (alle Amt für Wald des Kantons Bern) und dem Revierförster ERNST KINDLER (Röthenbach im Emmental).

Für die Anregungen und fachlichen Gespräche auf dem Gebiet der Waldinventur danke ich DR. PAUL SCHMID-HAAS (WSL). Die Plenterwald-Versuchsflächendaten für die Simulationen im Programm FIESTA stellte ANDREAS ZINGG (WSL) zur Verfügung, HANS PETER CAPREZ (ETH) half mir bei den Simulationen im Programm FIESTA und ERNST BAUMANN (WSL) beriet mich bei der Durchführung der Kontrollstichproben. Ich danke ihnen herzlich für ihre kompetente und bereitwillige Unterstützung.

Für die Übersetzung der Zusammenfassung danke ich TAMARA BRÜGGER (ETH).

DR. THOMAS FILLBRANDT hat die Arbeit sprachlich überarbeitet und bereinigt. Dafür und für seine konstruktive fachliche Kritik danke ich ihm ganz herzlich.

PROF. DR. ANTON SCHULER, DR. ANDREAS BERNASCONI, DR. JAHANGIR FEGHHI, DR. GERHARD STROBEL und ADRIAN LANZ danke ich für die interessanten Diskussionen. Allen hier namentlich nicht erwähnten Freunden und Kollegen am Departement Wald- und Holzforschung der ETH Zürich und insbesondere an der Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum danke ich für ihre Hilfe und für das gute Arbeitsklima.

Ein besonderer Dank gebührt meinem Vater, einem Forstingenieur, der mich mit seiner praktischen Erfahrung fachlich geprägt hat. Seine unkonventionellen Ansichten ermöglichten mir, mich später, hier in der Schweiz, von den „Fesseln“ der erlernten klassischen Forstwirtschaft völlig zu lösen. Ich danke ihm auch für seine Hilfe bei den Felddaufnahmen.

Schliesslich bedanke ich mich bei meiner ganzen Familie und besonders bei meiner Frau IRENE. Ohne ihre Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Geduld wäre es für mich schwierig gewesen, die Arbeit durchzustehen und zu beenden.

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	2
Inhaltsverzeichnis .....	3
Verzeichnis der Tabellen .....	6
Verzeichnis der Abbildungen .....	8
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>11</b>
<b>Summary .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>15</b>
1.1. Problemstellung .....	15
1.2. Zielsetzung .....	17
<b>2. Theoretische und empirische Grundlagen von Inventuren im Plenterwald .....</b>	<b>19</b>
2.1. Kontrollmethode .....	19
2.1.1. Hintergrund und allgemeine Charakterisierung .....	19
2.1.1.1. Vorgeschichte .....	19
2.1.1.2. Von der Begründung der Kontrollmethode bis heute .....	22
2.1.1.3. Merkmale der traditionellen Kontrollmethode .....	23
2.1.2. Wichtige dendrometrische Grössen .....	24
2.1.2.1. Allgemeines .....	24
2.1.2.2. Stammzahl und Stammzahlverteilung .....	24
2.1.2.3. Vorrat und Mittelstamm .....	26
2.1.2.4. Nutzung .....	26
2.1.2.5. Zuwachs .....	26
2.1.2.6. Grundfläche .....	27
2.1.3. Plenterwald - Modellvorstellungen .....	28
2.1.3.1. Grundsätzliches .....	28
2.1.3.2. Angestrebter Vorrat und Vorratsverteilung nach Stärkeklassen .....	28
2.1.3.3. Stammzahlkurven und Stammzahlverteilungen .....	29
2.1.3.4. Stammzahlverteilungskurve nach Stärkezuwachs .....	29
2.2. Stichprobeninventuren .....	30
2.2.1. Geschichte der Stichprobeninventuren .....	30
2.2.2. Schweizerische Kontrollstichprobe .....	31
2.2.3. Systematische und zufällige Stichproben .....	32
2.3. Bestandes- und Standortkartierung .....	33
2.3.1. Bestandeskartierung .....	33
2.3.1.1. Allgemeines .....	33
2.3.1.2. Beschreibung von Plenterbeständen .....	33
2.3.1.3. Bestandeskartierung bei Kontrollstichproben .....	36
2.3.2. Standortkartierung .....	38
2.4. Informationsbedarf .....	39
2.4.1. Unterschiedlicher Informationsbedarf von Kontrollmethode und klassischer Forsteinrichtung .....	39
2.4.2. Informationsbedarf für ein Plenterwaldmodell .....	40
2.4.3. Informationsbedarf für die Zustandsbeurteilung .....	40
2.4.4. Ansprüche an die Genauigkeit der Informationen .....	41
<b>3. Methoden und Material .....</b>	<b>42</b>
3.1. Optimierung des Stichprobendesigns .....	42
3.1.1. Allgemeine Bemerkungen .....	42
3.1.2. Das Simulationsprogramm FIESTA .....	43
3.1.3. Simulationswald .....	43
3.1.4. Simulationen .....	45
3.1.4.1. Grundsätzliches .....	45
3.1.4.2. Zufällige und systematische Stichproben .....	45
3.1.4.3. Probenetz .....	46
3.1.4.4. Randproben .....	46
3.1.4.5. Kreisverhältnis und Kluppschwelle bei konzentrischen Proben .....	47

3.1.4.6.	Zeitaufwand.....	49
3.1.4.6.1.	Zeitmessung und allgemeine Bemerkungen.....	49
3.1.4.6.2.	Marschzeit .....	50
3.1.4.6.3.	Vorbereitungszeit .....	51
3.1.4.6.4.	Messung in der Probe .....	51
3.1.4.7.	Notwendige Probeanzahl .....	55
3.1.4.8.	Optimale Probeflächengrösse .....	56
3.1.5.	Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit .....	57
3.2.	Untersuchungsobjekte .....	60
3.2.1.	Allgemeine Bemerkungen .....	60
3.2.2.	Schwarzenegg .....	60
3.2.3.	Toppwald.....	64
3.3.	Erhebungen im Gelände und deren Auswertung .....	66
3.3.1.	Inventurverfahren .....	66
3.3.2.	Bestandeskartierung .....	66
3.3.2.1.	Methodische und allgemeine Bemerkungen.....	66
3.3.2.2.	Einteilung in Betriebsarten .....	67
3.3.2.3.	Schichtzugehörigkeit bei plenterartigen Beständen .....	68
3.3.2.4.	Bewertung der Schichten bei plenterartigen Beständen .....	69
3.3.3.	Standortskartierung .....	71
3.3.4.	Ausscheidung der unbestockten Waldfläche .....	71
3.3.5.	Auswertung der Stichproben .....	72
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>73</b>
4.1.	Optimales Stichprobendesign.....	73
4.1.1.	Zufällige und systematische Stichproben im Plenterwald.....	73
4.1.2.	Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit .....	75
4.1.2.1.	Untersuchte Varianten .....	75
4.1.2.2.	Vergleich der Varianten mit Poststratifizierung für den Gesamtwald .....	76
4.1.2.3.	Vergleich der Varianten ohne Poststratifizierung .....	77
4.1.3.	Kreisverhältnis und Kluppschwelle bei konzentrischen Proben.....	79
4.1.4.	Zeitaufwand.....	81
4.1.4.1.	Resultate der Zeitmessungen .....	81
4.1.4.2.	Abgeleiteter Zeitaufwand für die Messung in der Probe .....	83
4.1.4.3.	Zeitaufwand für die Vorbereitung auf der Probe .....	85
4.1.4.4.	Zeitaufwand für den Marsch zwischen den Proben.....	85
4.1.5.	Minimale Anzahl Proben pro Auswertungseinheit.....	86
4.1.6.	Optimale Probeflächengrösse .....	88
4.1.7.	Gesamtoptimierung .....	89
4.1.8.	Randproben .....	92
4.2.	Stratenbildung und Poststratifizierung .....	93
4.2.1.	Kartierungen.....	93
4.2.1.1.	Bestandeskarte.....	93
4.2.1.2.	Standortskarte .....	94
4.2.1.3.	Karte der End-Straten .....	95
4.2.2.	Stratifizierung nach Bestandestypen in Schwarzenegg .....	95
4.2.2.1.	Flächenanteile der Betriebsarten.....	95
4.2.2.2.	Flächenanalyse mit der Plenterziffer.....	96
4.2.2.3.	Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Gesamtpopulation.....	97
4.2.2.4.	Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Teilpopulation nach Schichtzugehörigkeit .....	98
4.2.2.5.	Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Teilpopulation nach Stärkeklassen .....	100
4.2.2.6.	Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Teilpopulation nach Durchmesserstufen .....	102
4.2.2.7.	Analyse der Plenterziffer - Zusammenfassung .....	102
4.2.3.	Standortskartierung .....	104
4.2.3.1.	Bildung von Standortgruppen .....	104
4.2.3.2.	Kombination Bestandes- und Standortskartierung in Schwarzenegg .....	105
4.2.3.3.	Auswertung der Inventurdaten nach Standortgruppen - Gesamtpopulation .....	105

4.2.3.4.	Auswertung der Inventurdaten nach Standortsgruppen - Teilpopulation nach Schichtzugehörigkeit in Schwarzenegg .....	106
4.2.3.5.	Auswertung der Inventurdaten nach Standortsgruppen - Teilpopulationen nach Stärkeklassen .....	107
4.2.3.6.	Auswertung der Inventurdaten nach Standortsgruppen - Teilpopulation nach Durchmesserstufen .....	107
4.2.3.7.	Analyse der Standortskartierung - Zusammenfassung .....	108
4.2.4.	Poststratifizierung .....	109
4.2.4.1.	Bildung von Straten und Poststratifizierung nach der Plenterziffer in Schwarzenegg .....	109
4.2.4.2.	Verbesserung der Genauigkeit durch Poststratifizierung am Beispiel der plenterartigen Beständen in Schwarzenegg .....	110
4.2.4.3.	Bildung der Straten in den plenterartigen Beständen in Toppwald .....	111
4.2.4.4.	Bildung der Straten in gleichförmigen Beständen .....	112
4.2.5.	Einfluss der unbestockten Waldfläche auf die Inventurresultate .....	113
4.3.	Analyse der Standardfehler bei den durchgeführten Inventuren .....	115
4.3.1.	Allgemeines .....	115
4.3.2.	Zustandsdaten .....	115
4.3.2.1.	Gesamtstammzahl .....	115
4.3.2.2.	Stammzahl nach Baumarten .....	119
4.3.2.3.	Gesamtvorrat .....	120
4.3.2.4.	Vorrat nach Baumarten .....	122
4.3.2.5.	Grundfläche .....	124
4.3.2.6.	Zustandsdaten - Zusammenfassung .....	125
4.3.3.	Entwicklungsdaten im Toppwald .....	126
4.3.3.1.	Stärkezuwachs .....	126
4.3.3.2.	Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes .....	127
4.3.3.3.	Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes nach Baumarten .....	129
4.3.3.4.	Einwuchs .....	131
4.3.3.5.	Nutzung nach Stammzahl .....	132
4.3.3.6.	Nutzung nach Volumen .....	133
4.3.3.7.	Entwicklungsdaten - Zusammenfassung .....	135
<b>5.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>137</b>
5.1.	Optimales Stichprobendesign .....	137
5.1.1.	Zufällige und systematische Stichproben, Probenetz .....	137
5.1.2.	Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit .....	138
5.1.3.	Konzentrische Proben - Kluppschwellen, Kreisverhältnisse .....	139
5.1.4.	Optimales Stichprobendesign für plenterartige Bestände .....	140
5.1.4.1.	Simulationswald FIESTA .....	140
5.1.4.2.	Varianz als Funktion der Probeflächengrösse .....	142
5.1.4.3.	Zeitaufwand .....	142
5.1.4.4.	Optimale Probeflächengrösse .....	145
5.1.4.5.	Optimaler Probetyp .....	146
5.2.	Stratenbildung und Poststratifizierung .....	147
5.2.1.	Bestandeskarte .....	147
5.2.1.1.	Vorstellungen über den ideal aufgebauten Plenterwald .....	147
5.2.1.2.	Schichtzugehörigkeit und Schichtenbewertung .....	148
5.2.1.3.	Beziehungen zwischen den einzelnen Schichten .....	149
5.2.1.4.	Plenterziffer .....	150
5.2.2.	Standortskarte .....	150
5.2.3.	Endstraten .....	151
5.2.4.	Berücksichtigung der dauernd unbestockten Waldfläche .....	151
<b>6.</b>	<b>Empfehlungen für die Praxis .....</b>	<b>153</b>
	Literaturverzeichnis .....	154
	Anhang .....	158
	Lebenslauf .....	176

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tab.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Seite</b>
1	Kluppschwellen im Plenterwald. ....	25
2	Stärkeklassen im Plenterwald. ....	25
3	Ausscheidung von Bestandestypen im Plenterwald nach Schmid und Rhody. ....	36
4	Ausscheidung von Bestandestypen im Plenterwald bei der ehemaligen Forstinspektion Mittelland (Kanton Bern). ....	37
5	Ausscheidung von Bestandestypen im Plenterwald bei der ehemaligen Forstinspektion Oberland (Kanton Bern). ....	37
6	Plenterwald-Versuchsflächen für die Konstruktion des Simulationswaldes. ....	44
7	Waldfläche nach Eigentümern im Untersuchungsgebiet Schwarzenegg. ....	60
8	Obere Höhen einzelner Schichten nach Standort, Schwarzenegg. ....	68
9	Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz mit Poststratifizierung in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit. ....	76
10	Vergleich der Varianz von mittleren quadratischen Fehlern bei unterschiedlichen Metho- den der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit. ....	76
11	Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz ohne Poststratifizierung in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit. ....	77
12	Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit in einzelnen Straten. ....	78
13	Veränderung der Vorratsschätzung und ihrer Varianz für Stärkeklassen in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit in zwei ausgewählten Straten. ....	78
14	Optimale Kluppschwellen und Kreisverhältnisse bei konzentrischen Proben mit 2 Kreisen. ....	79
15	Optimale Kluppschwellen und Kreisverhältnisse bei konzentrischen Proben mit 3 Kreisen. ....	80
16	Verkleinerung des Faktors $\gamma$ durch konzentrische Proben. ....	81
17	Zeitaufwand für die Messung in einer Probe. ....	84
18	Zeitaufwand für die Vorbereitung einer Probe. ....	85
19	Zeitaufwand für das Zurücklegen eines Meters der Marschdistanz. ....	86
20	Varianz als Funktion von Probeflächengrösse und ihre Konstanten. ....	87
21	Optimale Probeflächengrösse in Aren. ....	88
22	Gesamtzeitaufwand für die Stichprobe bei verschiedenen Probeflächengrössen und für ver- schiedene angestrebte Genauigkeiten. ....	91
23	Bestandesfläche nach unterschiedlichen Kartierungen. ....	94
24	Bestandesfläche bei der Kartierung nach der Plenterziffer in Abhängigkeit von der Art der Bestockung. ....	94
25	Bestandesfläche bei der Kartierung nach Bestandestyp in Abhängigkeit von der Art der Be- stockung und Vorratshöhe. ....	94
26	Flächengrösse der Standorte und Standortgruppen. ....	94
27	Flächengrösse der Standortgruppen. ....	95
28	Flächengrösse der Endstraten. ....	95
29	Durchschnittliche Plenterzahlen der einzelnen Schichten nach Standortgruppen. ....	96
30	Einfluss der Plenterzahl einer Schicht auf die Plenterzahlen anderen Schichten. ....	97
31	Schätzwerte und ihre Standardfehler nach Poststratifizierung gemäss der Plenterzahl. ....	98
32	Standorte mit mehr als 10 Proben. Schwarzenegg. ....	104
33	Einteilung der Standorte in Standortgruppen. ....	104
34	Bildung der Bestandestypen in plenterartigen Beständen, Schwarzenegg. ....	109
35	Gebildete Endstraten in plenterartigen Beständen, Schwarzenegg. ....	110
36	Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Art der Poststrati- fizierung: Stammzahl. ....	111
37	Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Art der Poststrati- fizierung: Vorrat. ....	111

---

38	Gebildete Endstraten in plenterartigen Beständen am Beispiel Toppwald. ....	111
39	Gebildete Endstraten in gleichförmigen Beständen am Beispiel Schwarzenegg. ....	112
40	Gebildete Endstraten in gleichförmigen Beständen am Beispiel Toppwald. ....	112
41	Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Berücksichtigung dauernd unbestockter Waldfläche. ....	113
42	Veränderung von Fläche, Probeanzahl und Schätzung in Abhängigkeit von der Berücksichtigung dauernd unbestockter Waldfläche. ....	113
43	Veränderung der Schätzung und ihrer Standardfehler in Abhängigkeit von der Berücksichtigung dauernd unbestockter Waldfläche in einzelnen Straten. ....	114
44	Stammzahl für Gesamtwald und Gesamtpopulation ....	116
45	Stammzahl für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen ....	116
46	Stammzahl für einzelne Endstraten und Stärkeklassen. ....	117
47	Stammzahl für Gesamtwald und einzelne Durchmesserstufen. ....	117
48	Stammzahl für Gesamtwald und Gesamtpopulation nach Baumart. ....	119
49	Vorrat für Gesamtwald und Gesamtpopulation. ....	120
50	Vorrat für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen. ....	120
51	Vorrat für einzelne Endstraten und Stärkeklassen. ....	121
52	Vorrat für Gesamtwald und Gesamtpopulation nach Baumart. ....	122
53	Vorrat für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen nach Baumart. ....	123
54	Vorrat für einzelne Endstraten und einzelne Stärkeklassen nach Baumart. ....	123
55	Grundfläche für Gesamtwald und Gesamtpopulation. ....	124
56	Grundfläche für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen. ....	125
57	Volumenzuwachs für Gesamtwald und Gesamtpopulation. ....	127
58	Volumenzuwachs für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen. ....	128
59	Volumenzuwachs für einzelne Straten und einzelne Stärkeklassen. ....	128
60	Volumenzuwachs für Gesamtwald und Gesamtpopulation nach Baumart. ....	130
61	Volumenzuwachs für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen nach Baumart. ....	130
62	Durchschnittliche erwartete Probeanzahl in einem Endstratum für die Erreichung eines be- stimmten Standardfehlers bei unterschiedlichen Entwicklungsdaten und Populationen. ....	136
63	Stammzahl und Vorrat für den Simulationswald FIESTA und inventarisierte Gebiete. ....	141

## Verzeichnis der Abbildungen

Abb. Bezeichnung	Seite
1 Simulationswald für das Programm FIESTA. ....	44
2 Stärkezuwachsfunktion auf der Basis von Inventurdaten. ....	48
3 Schema der Berechnung der gesamten Marschdistanz zwischen den Proben. ....	50
4 Schema der Berechnung der Marschdistanz innerhalb der Probe. ....	52
5 Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit für Variante 1. ....	58
6 Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit für Variante 2. ....	58
7 Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit für Variante 3. ....	59
8 Relative Unterschiede zwischen geschätztem und wahren Wert bei zufälligen Stichproben. ....	73
9 Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei zufälligen Stichproben. ....	73
10 Relative Unterschiede zwischen geschätztem und wahren Wert bei systematischen Stichproben nach Seitenverhältnissen im Probenetz. ....	74
11 Relative Unterschiede zwischen geschätztem und wahren Wert bei systematischen Stichproben nach Probeflächengrößen. ....	74
12 Relative Überschätzung des wahren Wertes bei systematischen Stichproben nach Probefeldichten. ....	74
13 Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei systematischen Proben nach Seitenverhältnissen im Probenetz. ....	74
14 Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei systematischen Proben nach Probeflächengrößen. ....	74
15 Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei systematischen Proben nach Probefeldichten. ....	74
16 Anteil von „richtigen“ Stichproben bei systematischen Proben und Vertrauensbereich 90 in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis. ....	75
17 Anteil von „richtigen“ Stichproben bei systematischen Proben und Vertrauensbereich 95 in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis. ....	75
18 Zeitaufwand für die Messung einer Probe bei der Erstinventur in Schwarzenegg. ....	82
19 Zeitaufwand für die Messung einer Probe bei der Folgeinventur im Toppwald. ....	82
20 Zeitaufwand für die Messung in der Probe nach Bestandestyp bei der Folgeaufnahme. ....	83
21 Anteil von Grenzbäumen in einer Probe nach Probeflächengröße. ....	84
22 Simulierter durchschnittlicher Baumabstand in der Probe nach Kluppschwelle und Probeflächengröße. ....	84
23 Zeitaufwand für die Messung in der Probe nach Probeflächengröße. ....	84
24 Gesamte Marschdistanz zwischen den Proben nach Waldfläche, Probefeldichte und Probenetz. ....	85
25 Gesamte Marschdistanz zwischen den Proben nach Waldfläche und Seitenverhältnis bei konstanter Probeanzahl. ....	85
26 Änderung der gesamten Marschdistanz zwischen den Proben bei Änderung der Waldform. ....	86
27 Minimale Probeanzahl für 10% Standardfehler bei Stammzahl und Vorrat nach Probeflächengröße und Probetyp. ....	87
28 Zeitaufwand einer Stichprobe für 10% Standardfehler ohne Marschzeit. ....	90
29 Zeitaufwand einer Stichprobe für 10% Standardfehler ohne Marschzeit (Detail). ....	90
30 Zeitaufwand für die Marschdistanz zwischen Proben nach Probeanzahl und Waldfläche. ....	90
31 Optimales Stichprobenverfahren bei gegebener Genauigkeit oder gegebenem Zeitaufwand. ....	92
32 Unterschätzung des geschätzten Mittelwerts gegenüber dem wahren Wert bei Nichtberücksichtigung des Randproblems nach Probeflächengröße. ....	93
33 Bestockte Waldfläche nach Standortgruppen in Schwarzenegg. ....	96
34 Flächenanteile der Betriebsarten nach Standortgruppen in Schwarzenegg. ....	96
35 Poststratifizierte Inventurdaten nach Plenterzahlen am Beispiel Schwarzenegg: Teilpopulationen nach Schichtzugehörigkeit. ....	99

36	Poststratifizierte Inventurdaten nach Plenterzahlen am Beispiel Schwarzenegg: Teilpopulationen nach Stärkeklassen. ....	101
37	Poststratifizierte Inventurdaten nach Plenterzahlen am Beispiel Schwarzenegg: Teilpopulationen nach Durchmesserstufen. ....	103
38	Flächenanteile für Plenterzahlen in einzelnen Schichten und Standortgruppen. ....	105
39	Schätzungen der Gesamtstammzahl nach Standortgruppen. ....	106
40	Schätzungen des Gesamtvorrates nach Standortgruppen. ....	106
41	Schätzungen der Stammzahl und des Vorrates nach Schichten und Standortgruppen. ....	107
42	Schätzungen des Vorrats nach Stärkeklassen und Standortgruppen. ....	107
43	Schätzungen der Stammzahl nach Durchmesserstufen und Standortgruppen. ....	108
44	Stammzahlveränderungen bei Berücksichtigung der unbestockten Waldfläche. ....	114
45	Standardfehler der Stammzahl der Gesamtpopulation nach Endstraten. ....	116
46	Standardfehler der Stammzahl nach Stärkeklassen und Endstraten. ....	116
47	Stammzahl des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen (Schwarzenegg). ....	118
48	Standardfehler der Stammzahl nach Durchmesserstufen und Endstraten. ....	118
49	Standardfehler der Stammzahl des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen. ....	118
50	Standardfehler der Stammzahl der Gesamtpopulation nach Endstraten und Baumarten. ....	119
51	Schätzung der Stammzahl des Gesamtwaldes (nur Buchen) nach Durchmesserstufen. ....	119
52	Standardfehler des Vorrats der Gesamtpopulation nach Endstraten. ....	120
53	Schätzung des Vorrates des Gesamtwaldes nach Stärkeklassen. ....	121
54	Standardfehler des Vorrats nach Stärkeklassen und Endstraten. ....	121
55	Standardfehler des Vorrats des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen. ....	122
56	Standardfehler des Vorrats der Gesamtpopulation nach Endstraten und Baumarten. ....	122
57	Standardfehler des Vorrats nach Stärkeklassen, Endstraten und Baumarten. ....	124
58	Standardfehler des Vorrats des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen und Baumarten. ....	124
59	Durchschnittliche erwartete Standardfehler für verschiedene Zustandsdaten und Populationen in Abhängigkeit von der Probeanzahl. ....	125
60	Stärkezuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	126
61	Standardfehler des Stärkezuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	126
62	Standardfehler des Stärkezuwachses nach Durchmesserstufen und Endstraten. ....	127
63	Stärkezuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten. ....	127
64	Standardfehler des Stärkezuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten. ....	128
65	Standardfehler des Volumenzuwachses der Gesamtpopulation nach Endstraten. ....	128
66	Standardfehler des Volumenzuwachses nach Stärkeklassen und Endstraten. ....	129
67	Volumenzuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	129
68	Standardfehler des Volumenzuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	129
69	Standardfehler des Volumenzuwachses der Gesamtpopulation nach Endstraten und Baumarten. ....	129
70	Standardfehler des Volumenzuwachses nach Stärkeklassen, Endstraten und Baumarten. ....	130
71	Volumenzuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten. ....	130
72	Standardfehler des Volumenzuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten. ....	131
73	Standardfehler des Stammzahleinwuchses der Gesamtpopulation nach Endstraten. ....	131
74	Stammzahleinwuchs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	132
75	Standardfehler des Stammzahleinwuchses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	132
76	Stammzahlnutzung im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	133
77	Standardfehler der Volumennutzung der Gesamtpopulation nach Endstraten. ....	133
78	Volumennutzung im Gesamtwald nach Stärkeklassen. ....	134
79	Verteilung der Volumennutzungen nach Stärkeklassen. ....	134
80	Standardfehler der Volumennutzung im Gesamtwald nach Stärkeklassen. ....	134
81	Standardfehler der Volumennutzung nach Stärkeklassen und Endstraten. ....	134
82	Volumennutzung im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	134
83	Standardfehler der Volumennutzung im Gesamtwald nach Durchmesserstufen. ....	134

---

84	Durchschnittliche erwartete Standardfehler für verschiedene Entwicklungsdaten in Abhängigkeit von der Probeanzahl. ....	135
85	Stammzahlverteilungskurven Schwarzenegg, Toppwald und Simulationswald. ....	141
86	Zeitaufwand für die Messung und Vorbereitung in der Probe nach SCHMID 1970. ....	144

## Zusammenfassung

Die Arbeit untersucht die Anwendung der permanenten Kontrollstichprobe im Plenterwald. Obwohl die Kontrollstichprobe aus einer Inventurmethode für den Plenterwald entstanden ist (aus der Kontrollmethode), gibt es nur wenige Untersuchungen über ihre Anwendung in dieser Betriebsart. Inhalt der Arbeit ist die Suche nach einem optimalen Stichprobendesign für Plenterwälder sowie die Kartierung und Stratifizierung im Plenterwald. Für die beiden zuletzt genannten Punkte wurden zwei Pilotinventuren durchgeführt, die Erfahrungszahlen für Inventuren in plenterartigen Beständen liefern. Die Zahlen, die den Standardfehler in Abhängigkeit von der Probeanzahl darstellen, erleichtern die Planung von Inventuren in plenterartigen Beständen.

Die Waldstruktur der Plenterwälder unterscheidet sich grundlegend von jener in gleichförmigen, schlagweise bewirtschafteten Wäldern, was sich unter anderem auf das optimale Design bei Stichproben auswirkt. Es kommt hinzu, dass an vielen Orten eine Waldbewirtschaftung angestrebt wird, die unter Begriffen wie naturnah, naturgemäss, einzelstammweise Waldbewirtschaftung oder Dauerwald bekannt ist. Diese Bewirtschaftung führt zu Waldstrukturen, die den Plenterwaldstrukturen ähnlich sind. Die Resultate dieser Arbeit sind deshalb auch für solche Wälder interessant.

Die Suche nach einem optimalen Stichprobendesign erfordert eine grosse Menge an Input-Daten, die mit Pilotinventuren nur schwer befriedigt wird. Deshalb weicht man auf Simulationen von Inventuren aus, was auch in dieser Arbeit der Fall ist. Die Simulation der Stichproben erfolgt mit Hilfe des Programms FIESTA. Das Programm verwendet einen halbkünstlichen Wald, der aus Plenterwald-Versuchsflächen zusammengesetzt wurde. Sie liefern alle notwendigen Daten, die für die Ermittlung des optimalen Stichprobendesigns nötig sind. Dank der Kenntnis der wahren Werte können die geschätzten Werte besser analysiert werden.

Es zeigt sich, dass die geschätzten Mittelwerte und Varianzen sich bei systematischen Stichproben anders verhalten als bei zufälligen Stichproben. Durch einen Vergleich zwischen mittlerer geschätzter und empirischer Varianz sowie zwischen dem wahren Wert und dem Vertrauensbereich des geschätzten Mittelwertes lässt sich zeigen, dass die geschätzte Varianz vom Seitenverhältnis im Probenetz abhängt. Bei einem Seitenverhältnis von etwa 1:4 ist die geschätzte Varianz gleich der wahren Varianz. Bei niedrigeren Seitenverhältnissen wird die wahre Varianz durch die geschätzte Varianz immer mehr überschätzt, bei höheren Seitenverhältnissen immer mehr unterschätzt. Aus diesem Grund ist von Seitenverhältnissen grösser als 1:4 abzuraten. Mit steigender Probedichte werden die Über- und Unterschätzungen der Varianz geringer, bleiben in der Tendenz aber erhalten.

Die optimalen Kluppschwellen und Kreisverhältnisse bei konzentrischen Kreisen erweisen sich als stark abhängig von der untersuchten Zielgrösse und der Verteilung der untersuchten Population. Der Gewinn an Effizienz durch konzentrische Kreisproben wird mit Hilfe des Faktors  $\gamma$  ausgedrückt. Bei Zielgrössen wie Vorrat und Grundfläche, die mit dem Durchmesser steigen, sind mehrere konzentrische Kreise in einer Probe effizienter als nur ein Kreis. Es zeigt sich aber auch, dass der Gewinn an Effizienz durch die Verwendung von drei Kreisen statt zwei Kreisen so klein ist, dass er in einem ungünstigen Verhältnis zu den vermehrten Fehlermöglichkeiten steht, die ein zusätzlicher Kreis mit sich bringt. Bei Zielgrössen mit konstanter Funktion wie Stammzahl wird mit zusätzlichen Kreisen kein Effizienzgewinn erzielt. Sofern bei der Optimierung alle gewünschten Zielgrössen und die im Plenterwald hohe Bedeutung der Stammzahlverteilung einbezogen werden, ist die Verwendung von konzentrischen Kreisproben in plenterartigen Beständen in Frage gestellt.

Die im Rahmen der Pilotinventuren durchgeführten Zeitstudien erlauben, den Zeitaufwand für verschiedene Probeflächengrössen und Probetypen zu simulieren. Der Zeitaufwand für eine Probe kann in Funktion der Probeflächengrösse dargestellt werden. Durch die Simulation im Programm FIESTA kann auch die Varianz in Funktion der Probeflächengrösse dargestellt werden. Diese beiden Funktionen ermöglichen, die optimale Probeflächengrösse zu ermitteln. Die

Ergebnisse zeigen, dass sie im Plenterwald nicht weniger als 6 Aren betragen sollte. Grössere Proben wären von Vorteil, schaffen jedoch andere Probleme.

Für eine neue Bestandeskartierung wird im Untersuchungsgebiet Schwarzenegg die Plenterstruktur herangezogen. Der Bestandaufbau wird mit Hilfe einer Plenterziffer charakterisiert, die einzelne Schichten bewertet. Dieses Verfahren eignet sich sowohl zur Dokumentation der Bestandesstruktur als auch für eine Zusammenfassung ähnlicher Bestände zu Auswerteeinheiten oder Straten, wobei die Verhältnisse in der Ober- und Mittelschicht ausschlaggebend sind.

Standortskartierungen erlauben, bei Inventuren ähnliche Standorte zu Standortstraten zusammen zu fassen, die getrennt ausgewertet werden können. Die Kartierungen in den Untersuchungsgebieten unterscheiden sich in der Auflösung: Während bei der feineren Kartierung auch Standorte kleiner als 10 Aren ausgeschieden werden, steht die andere Standortskartierung für das in der Praxis übliche Verfahren. Die vorliegende Arbeit stellt keinen Einfluss der unterschiedlichen Kartierungen auf die Inventurresultate fest. Allerdings konnten die beiden untersuchten Beispiele die Fragen nicht vollständig beantworten.

Eine Poststratifizierung gemäss der Bestandes- oder Standortskartierung verringert die Varianz. Noch bessere Resultate werden mit kombinierten Straten erzielt. Im Vergleich zu gleichförmigen Wäldern ist die Abnahme der Varianz aber sehr klein. In plenterartigen Beständen kann daher mit keiner oder nur mit einer sehr geringen Abnahme der Varianz durch Poststratifizierung gerechnet werden.

Dauernd unbestockte Waldflächen wie Strassen, Lagerplätze oder Felsen können aus Sicht der Inventur als Nicht-Wald angesehen werden. Proben, deren Zentren in diesen Flächen liegen, werden nicht aufgenommen. Damit verringern sich die Probeflächenanzahl und der Zeitaufwand der Inventur. Die Mittelwerte der geschätzten Zielgrössen sind höher als bei einer Inventur ohne diese Ausscheidung. Trotz kleinerer Probeflächenanzahl bleibt der Standardfehler ungefähr gleich. Der Grund liegt in der grösseren Homogenität der verbleibenden Proben. Das angewendete Verfahren setzt allerdings genaue Kartenunterlagen und moderne EDV-Technik und GIS voraus.

## Summary

The study is based on the control method – an inventory method using permanent control sample plots employed in selection forests.

The structure of selection forests differs significantly from that of forests with uniform, regulated area felling, a fact which has an impact on the optimum sampling design for this type of forest management. Forestry has an increasing tendency towards a form of management which can be characterised by terms such as near-to-nature, close-to-nature, single-tree selection and „Dauerwald“. This forest management results in forest structures similar to that of selection forests.

The search for an optimal sampling design for selection forests and questions with regard to mapping and stratification in the selection forest are the two key issues of this study involving two pilot inventories.

The sampling simulations are achieved by means of the FIESTA-software within a semi-artificial forest, composed of selection forest investigation areas. These areas supplied all the necessary statistical data. The knowledge of the true values allowed the analysis of the simulated values.

The simulated mean values and variances of systematic sampling differ from those in random sampling. A comparison of the estimated and empirical variance as well as that of the coverage probability demonstrated that the adequacy of the estimated variance depends on the length/breadth ratio within the sampling grid. With a ratio of 1:4 approximately, the estimated variance differs least from the empirical variance, which renders it recommendable. Therefrom, there is an increasing discrepancy between the two variances. This can be reduced by increasing the sampling density.

The definition of optimum calliper limits and of radii of concentric circles is proven to be highly correlated to the investigated response variable and its distribution in the investigated population. The enhancement of efficiency by the use of concentric circle samples can be expressed using the factor  $\gamma$ . Response variables increasing with the diameter, such as the growing stock or basal area exhibit a better efficiency when using samples with several concentric circles rather than samples with one circle. However, the enhancement of efficiency in a sample with three concentric circles compared to samples with two circles is so small that it cannot compensate the increase in potential errors caused by an additional circle. For the number of stems, no enhancement of efficiency can be attained with additional circles because of the particular significance of the distribution of stem numbers in the selection forest, the use of concentric circle samples in selection-type stands could be questioned.

The investigation carried out in the course of the pilot inventory allowed for simulation of the total time required for various sample areas and sample types, which can be represented as a function of the sample area. With the help of FIESTA the variance can also be expressed as a function of the sample area. The optimal sample area can be assessed from these two functions. The results show that in the selection forest, this optimal area should not be below 6 ares.

The stand mapping of the investigation area Schwarzenegg (canton of Bern, Switzerland) is based on the selection forest structure. The stand structure in selection-type stands is characterised by means of an index, allowing the assessment of individual strata. This kind of mapping allows for a comprehensive documentation of the stand structure. It is also suitable for the combination of similar stands in assessment units or strata. The conditions in the upper and intermediate stratum are key factors.

The stand mapping in investigation areas differ in the precision of elaboration. The fine mapping also includes sites below 10 ares. The second site mapping represents the conventional procedure used in practice. Both procedures require combined site strata for similar sites, in order to use them for inventories. The various mappings have no influence on the inventory results. However, the two investigations presented could not provide a complete answer.

The poststratification according to the stand mapping and the site mapping respectively, reduces the variance. Even better results can be achieved by means of combined strata. However, as compared to homogeneous forest stands the reduction of the variance is very low. In selection-type forest stands, poststratification may lead at best to a small reduction of the variance if at all.

Permanently non-stocked forest areas such as roads, rocks etc. are non-forest areas with regard to inventory. Samples with the centre in one of these areas mentioned, are not included. This reduces the number of sample areas and the time expenditure of the inventory. The mean values of the estimated parameters are greater than in an inventory not taking into consideration these exclusions. Despite a smaller number of sample areas, the standard errors remain the same due to a larger homogeneity between the samples. The applied procedure, however, requires precise mapping documentation and the use of modern EDP-technology including GIS.

The pilot inventories supply figures for inventories in selection-type stands. They are illustrated with the example of the standard error dependent on the number of samples. These values will facilitate the planning of inventories in selection-type stands.

# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung

Kontrollmethode und Plenterung sind eng miteinander verbunden. Die Kontrollmethode, die traditionell auf der Kluppierung aller Bäume (Vollkluppierung) und auf der Stehendkontrolle der Nutzungen basiert, hat in der Schweizer Kontrollstichprobe, die in den 60er-Jahren entstanden ist, einen Ersatz für die Vollkluppierung gefunden. Gründe für den Wechsel von der Vollkluppierung zur stichprobenweisen Erfassung von Bauminformationen waren der Mangel an Arbeitskräften in der Nachkriegszeit und hauptsächlich die steigenden Arbeitskosten, welche größeren Betrieben die Vollkluppierung praktisch verunmöglicht haben (KURT, A. 1987). Gleichzeitig hat die Entwicklung von Stichprobenmethoden und EDV die Verbreitung von Stichproben bei Waldinventuren ermöglicht.

Der traditionellen Kontrollmethode mit Vollkluppierung werden oft zwei Nachteile zugeschrieben: die hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Erhebungen sowie die unsichere Zuwachsberechnung durch Differenzenbildung, die zu einer Fehlerfortpflanzung führt (KURT 1994). Bei der Kontrollstichprobe dagegen wird der Zuwachs am einzelnen Baum gemessen. Diese Methode auf mathematisch-statistischer Grundlage liefert objektive Daten mit bekannter Genauigkeit. Der Zuwachs als wichtigste wirtschaftliche Grösse, die im Wald überhaupt erhoben werden kann, wird damit zu einem höchst sicheren Resultat (SCHMID-HAAS 1989), womit ein gravierender Mangel der traditionellen Kontrollmethode behoben wird. Subjektive Fehler, die als eine unerwünschte Begleiterscheinung der Vollkluppierung gefürchtet und in ihrer Grösse kaum abschätzbar sind, können somit weitgehend vermieden werden. Nachteile der Kontrollstichprobe sind, dass eine Optimierung zwischen Genauigkeitsansprüchen und Kosten erforderlich ist (Optimierungsproblem) und dass keine auf kleinräumige Einheiten bezogenen Daten (z.B. Abteilungsdaten) gewonnen werden können.

Das auffälligste Merkmal von bisherigen Stichprobeninventuren in schweizerischen Plenterbetrieben ist der relativ grosse Standardfehler; Fehler um 15% werden schon als Erfolg betrachtet. Dieser Umstand kann auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden. Allgemein bekannt ist, dass in schweizerischen Plenterwäldern zu wenig umfangreiche Stichproben durchgeführt werden. Hauptgrund ist die kleine Betriebsgrösse, die in Verbindung mit einer zu geringen Stichprobendichte (Kostenaspekt) eine ungenügende Anzahl von Stichproben zur Folge hat. WEIDENBACH und KARIUS (1993) schätzen die Mindestbetriebsgrösse für eine sinnvolle und kosteneffiziente Durchführung von Betriebsinventuren auf ca. 1000 ha. Dabei geht er von 500 Stichprobepunkte bzw. von einer Dichte von einer Stichprobe pro zwei Hektar aus. Noch wichtiger als die Gesamtzahl ist die Anzahl Stichproben pro Stratum (Auswertungseinheit). Meist werden pro Stratum mindestens 20 Proben empfohlen (COCHRAN 1977). In schweizerischen Forstbetrieben wird diese Zahl oft unterschritten. Mit Hilfe einer besser angepassten Stratifizierung könnte diese Grenze aber herabgesetzt werden.

Ziel der Stratifizierung ist, ähnliche Proben in einem Stratum zu gruppieren. Damit soll eine grössere Homogenität zwischen den Proben eines Stratums und dadurch ein kleinerer Standardfehler erreicht werden. Die bekannteste Art der Stratifizierung erfolgt mit Hilfe der Bestandeskarte. Dabei werden die Proben nach dem Bestandaufbau gruppiert. Beim Femelschlagbetrieb oder im Altersklassenwald erfolgt diese Stratifizierung meistens aufgrund der Entwicklungsstufen (Altersklassen), der Baumartenmischung und des Bestandesschlusses (SCHMID-HAAS et al. 1993). Im Plenterwald kann man diese Stratifizierung wegen des fehlenden Bezugs zum Alter bzw. zur Entwicklungsstufe nicht benutzen. Auch das Bestandesgefüge ist ein anderes als im Altersklassenwald. Die meisten aktuellen Beispiele der Praxis unterteilen die Plenterbestände nach der Höhe des Vorrates, insbesondere des Starkholzvorrates (KURTH 1974, RHODY 1969). Eine verfeinerte Bestandeskartierung nach diesem Prinzip wird in Baden-Württemberg benutzt. Dabei wird für die drei nach der Baumhöhe unterteilten Schichten Oberholz, Mittelholz und Unterholz das Plentergefüge beurteilt. Die Bevorratung der einzelnen Schichten wird als gering,

mittel oder hoch bewertet. Die sich daraus ergebende sogenannte Vorratsgefügeziffer (ABETZ 1950) hat den Vorteil, dass Informationen auch über andere Schichten als nur über das Starkholz vorliegen. Zudem wird die Kontrolle des Einwuchses erleichtert.

Eine andere mögliche Art der Stratifizierung ist die Unterteilung der Waldfläche auf Grund ihrer natürlichen Produktionsfähigkeit. Die Versuche aus Femelschlagbetrieben in der Schweiz (KELLER et al. 1986) zeigen, dass eine Stratifizierung auf der Basis einer pflanzensoziologischen Standortskartierung, welche die Stratifizierung nach Bestandeskarte ergänzt, ab etwa 100 Proben pro Standortstratum die Inventurresultate verbessern kann. Ähnliche Untersuchungen für den Plenterwald fehlen bis jetzt.

Eine besondere Art von Stratifizierung ist die Unterteilung der Waldfläche nach bestockter und dauernd unbestockter Waldfläche. Im Plenterwald wurde auf diese Unterteilung wegen des grossen Arbeitsaufwandes bislang verzichtet und es gibt auch keine diesbezüglichen Untersuchungen. Damit wird eine grössere Inhomogenität innerhalb eines Stratums in Kauf genommen. Eine Probefläche, deren Zentrum z.B. in die Mitte einer lastwagenbefahrbaren Strasse fällt, kann unter Umständen nur einen Baum beinhalten und trotzdem dem Stratum, „dicht bestockt“ zugeordnet werden. Dadurch kann der Standardfehler beträchtlich steigen. Flächenmessungen und statistische Berechnungen für kleine dauernd unbestockte Flächen sind allerdings erst mit dem Einsatz neuester EDV-Technik und von GIS-Programmen effizient möglich geworden.

Ein klassisches Problem bei Stichproben, der Umgang mit Randproben, wird in der statistischen Theorie umfassend behandelt (SCHMID 1969, MANDALLAZ 1991). Heute wird das Problem fast ausschliesslich mit der Spiegelung (SCHMID 1969) gelöst. Mit der Ausscheidung von dauernd unbestockten Flächen würde die Anzahl der Randproben vervielfacht, die Spiegelung zu arbeitsaufwändig und praktisch nicht mehr durchführbar. Es kommt hinzu, dass eine Spiegelung nur dann fehlerfrei bzw. biasfrei ist, wenn der Waldrand der Probefläche eine Gerade bildet. Anderenfalls weist die Spiegelung systematische Repräsentationsfehler auf. Zur Spiegelung gibt es mehrere Alternativen, die biasfrei sind oder nur geringe Fehler aufweisen. Mit GIS-Programmen ist es heute möglich, biasfreie Rechenverfahren zu benutzen, die auf der Aufnahmewahrscheinlichkeit eines jeden Baumes basieren. Ob diese Rechenverfahren auch im Plenterwald zu einer Veränderung bzw. Verbesserung der Ergebnisse von Kontrollstichproben führen, wurde bisher nicht untersucht.

Weitere Faktoren, welche die Standardfehler bei Forstinventuren beeinflussen, wurden zwar von Statistikern vielfach untersucht, für den Plenterwald liegen aber nur einzelne Arbeiten vor (SCHMID 1967 b). Am besten charakterisiert SCHMID (1970) diesen Zustand. Er weist darauf hin, dass im Plenterwald die Probeflächengrösse und eine ganze Reihe weiterer Fragen neu geprüft werden müssen. An dieser Aussage hat sich bis heute nicht viel geändert.

Eine wichtige Frage für die Kosteneffizienz ist die Probeflächengrösse. Bei der Schweizer Kontrollstichprobe werden für den Femelschlagwald 3 oder 4 Aren sowie für den Plenterwald 5 oder 6 Aren grosse Probeflächen empfohlen (SCHMID-HAAS et al. 1993). Für den Plenterwald wird diese Empfehlung aber durch die Aussage im vorangehenden Absatz eingeschränkt.

Die Schweizer Kontrollstichprobe ist eine permanente, systematische Stichprobe. Daher ergeben sich, insbesondere für den Plenterwald, weitere statistische Probleme wie Rasterformen und die Rasterrichtung des Probenetzes. Nach einer Studie von MATERN (1960) hat das Dreieck-Raster den kleinsten Stichprobenfehler. Der Unterschied zum Quadrat-Raster ist nur gering. Beim Rechteck-Raster steigt der Stichprobenfehler mit dem Seitenverhältnis. Bei einem Seitenverhältnis von 1:8 verliert die systematische Stichprobe schliesslich ihre Überlegenheit über die Zufallsauswahl. Bei der Suche nach der optimalen Rasterform müssen neben den statistischen allerdings auch ökonomische Aspekte berücksichtigt werden. Herausragende Bedeutung bekommen die Marschzeiten, so dass eine kombinierte statistisch-ökonomische Optimierung für Rechteck-Raster sprechen kann (KLEINN und JOST 1994).

Die heutige schweizerische Kontrollstichprobe ist ein typisches Beispiel für Betriebsinventuren, die keine Daten auf Bestandes- oder Abteilungsebene liefern. Zwar ermöglicht die Einteilung in sogenannte Auswerteeinheiten eine Übersicht über die dendrometrischen Grössen in den

unterschiedlichen Teilen eines Betriebes, wie z.B. Straten. Diese ungewohnten Bezugsflächen und ungewohnte Darstellung der aus Stichproben gewonnenen Daten mögen ein Grund dafür sein, warum sich die Kontrollstichprobe nur schwer durchgesetzt hat.

Heute werden die Auswerteeinheiten (Straten) vor allem anhand der Entwicklungsstufe oder des Bestandaufbaus ausgedeutet. Ihre Lage und Flächenanteile sind nicht fest und entsprechen folglich nicht den Anforderungen der Kontrollmethode. Die Werte für Bestände oder Abteilungen können aus den Daten für die Auswerteeinheiten abgeleitet werden, wenn deren Flächenanteile pro Bestand oder Abteilung bekannt sind. Es ist jedoch fraglich, ob eine solche Kontrolle fehlerfrei durchgeführt werden kann. Die Kontrolle für jede Abteilung, das Grundprinzip der herkömmlichen Kontrollmethode, ist somit erschwert bis praktisch unmöglich.

Forstliche Planung lässt sich in Einzelplanung und Gesamtplanung unterteilen (SPEIDEL 1972). Die Einzelplanung befasst sich mit den Eingriffen in Bestände, mit Betriebsmassnahmen in jeder einzelnen Wirtschafts- und Planungseinheit im Planungszeitraum. Die Gesamtplanung bezieht sich auf den ganzen Betrieb. Für die Einzelplanung braucht es örtliche Daten, die Betriebsinventuren mit permanenten Stichproben liefern aber nur Daten für die Gesamtplanung. Die Frage, ob betriebs- oder bestandesweise Forstinventuren erforderlich sind, wird in der letzten Zeit häufig gestellt. TZSCHUPKE (1991) z.B. schreibt zu diesem Thema: "... die Frage, ob man nicht ganz oder zumindest weitgehendst auf die herkömmliche bestandesweise Forsteinrichtungsinventur verzichten sollte, liegt dann auf der Hand, zumal da dieser Weg bereits in der Schweiz und in Bayern teilweise beschritten wurde. Die Skepsis gegenüber dieser Entwicklung ist in der forstlichen Praxis (aber sicher nicht nur dort) jedoch im allgemeinen sehr gross ... Da insbesondere für waldbauliche Einzelplanung weiterhin Waldzustandsdaten auf der Bestandesebene benötigt werden, kann die Einführung der Kontrollstichprobe jedoch nicht mit einem Verzicht auf die Ermittlung bestandesweiser Waldzustandsdaten erkaufte werden." Die Entwicklung des Inventurkonzepts in Baden-Württemberg, wo Vollkluppierungen und einzelbestandesweise Stichprobenerhebungen künftig vollständig entfallen und durch ein betriebsindividuelles Inventurdesign ersetzt werden (VON TEUFFEL und KREBS 1999), zeigen, dass auch in Deutschland, das als Hochburg der klassischen Forsteinrichtung mit bestandesweisen Inventuren gelten darf, die betriebsweisen Inventuren langsam die Oberhand gewinnen.

Der Mangel der Schweizer Kontrollstichprobe, nur Resultate auf der Ebene Betrieb bzw. Auswerteeinheit zu liefern, könnte mit Schätzinventuren auf Bestandesebene beseitigt werden (TZSCHUPKE 1991). Eine mögliche Art der Schätzinventur ist die Stratifizierung nach Vorratsgefügeziffern (ABETZ 1950). Eine einfache Umrechnung von der Ebene Auswerteeinheit auf die Ebene Abteilung könnte ortsbezogene Schätzwerte liefern. Eine weitere Möglichkeit ortsbezogene Daten zu erhalten, wären zusätzliche Messungen, z.B. mit zweiphasigen Stichproben. Der grösste Nachteil zusätzlicher Messungen zur Kontrollstichprobe ist die Verteuerung der Inventur. Auch ist bislang nicht bekannt, wie solche Inventurverfahren auszugestalten wären (z.B. Genauigkeit, Probeflächengrösse, Probedichte).

## 1.2. Zielsetzung

Hauptziel dieser Arbeit ist, einen Beitrag zur Optimierung der Inventurverfahren für Plenterwälder zu leisten. Teilziele sind die Ausarbeitung von Vorschlägen zur Stratifizierung und für ein Inventurdesign im Plenterwald, basierend auf Resultaten aus empirischen Untersuchungen, sowie die Gewinnung von Erfahrungszahlen über Stichprobenfehler im Plenterwald.

Ein grosser Teil der Arbeit besteht in der Suche nach einem besseren Inventurdesign für Plenterwälder. Im Rahmen der Optimierung des Inventurkonzepts, welches einerseits höchsten Genauigkeitsanforderungen genügen, andererseits nur minimale Kosten verursachen soll, sollen geeignete Probetypen, Probeflächengrössen und Rasterformen (Probenetze) für Stichproben im

Plenterwald vorgeschlagen werden. Verschiedene Auswahlverfahren, die auch die Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit beeinflussen, sollen miteinander verglichen werden.

Der Teil der Stratifizierung befasst sich hauptsächlich mit der Bildung von Straten (Auswerteeinheiten). Bei der Stratifizierung nach Standort soll geprüft werden, ob die Resultate der Arbeiten im Femelschlaggebiet auch für den Plenterwald gültig sind. Dabei werden die Anzahl der erforderlichen Proben pro Standort, die Bildung von Standortsstraten bei ungenügender Anzahl Proben pro Standort sowie die Mindestgrösse von Standortsstraten untersucht. Bei der Stratifizierung nach Bestandesaufbau wird zunächst die Durchführbarkeit einer Bestandeskartierung für plenterartige Bestände nach Gefügeziffern geprüft. Die übrigen Fragestellungen sind ähnlich wie bei der Stratifizierung nach Standort: Wie und nach welchen Merkmalen können die verschiedenen Bestandestypen in plenterartigen Beständen zu Straten gruppiert werden? Wie viele Proben pro Stratum sind erforderlich? Wie gross soll ein Bestandesstratum sein? Die Stratifizierung nach bestockter und unbestockter Waldfläche soll Aussagen über den Aufwand und mögliche Verbesserungen der Resultate erlauben.

Aus durchgeführten Inventuren in plenterwaldreichen Gebieten sollen Erfahrungszahlen über die Stichprobenfehler gewonnen und damit die Frage beantwortet werden, mit welchen Stichprobenfehlern in plenterartigen Beständen für einzelne Zielgrössen, Populationen sowie Gebiete (Gesamtwald, Stratum) zu rechnen ist.

## 2. Theoretische und empirische Grundlagen von Inventuren im Plenterwald

### 2.1. Kontrollmethode

#### 2.1.1. Hintergrund und allgemeine Charakterisierung

##### 2.1.1.1. Vorgeschichte

Im 18. Jahrhundert beginnt mit den Kameralisten die Zeit der Forsteinrichtung und der modernen Forstwirtschaft (SPEIDEL 1972). Diese Ära wird vor allem durch die Werke der von MANTEL (1967) als „Forstklassiker“ bezeichneten Forstleute HARTIG (1795, 1808) und COTTA (1804, 1820) bestimmt. Ihre Werke bilden zusammen mit den Büchern anderer Forstklassiker wie HUNDESHAGEN (1826) oder HEYER (1841), der als Begründer der Theorie des Normalwaldes gilt, die Grundsteine für die „klassische Forstwirtschaft“, die bis heute das Forstwesen nicht nur in Mitteleuropa prägt. Ziel der Forstklassiker ist, die Holzproduktion nachhaltig sicherzustellen und nach Möglichkeit zu steigern. Die Mittel dazu wie auch ihre Lehrmeinungen leiten sie aus ihren theoretischen Überlegungen ab, die auch vom Wissensstand ihrer Zeit abhängen: Schlagwirtschaft, gleichaltrige Wälder, ein hoher Anteil an Kunstverjüngung und die Begünstigung von Nadelholzmonokulturen.

Die neue Lehre der „Forstklassiker“ ist eine Antwort auf den grossen Holzangel. Im 18. Jahrhundert steigt der Holzbedarf mit beginnender Industrialisierung und starker Bevölkerungszunahme rapide an. Durch die vermehrte Nutzung werden die Vorräte vielerorts so sehr verringert, dass die Produktivität des Waldes sinkt. Die damals übliche Waldbehandlung – neben Niederwald- und Mittelwaldwirtschaft mehr oder weniger unregelmässige einzelstammweise Nutzung – führt oft zur Plünderung der Wälder und kann den steigenden Holzbedarf nach Menge und Qualität nicht decken. Um 1750 werden die Stimmen, die sich gegen diese Waldbehandlung (Plenterwirtschaft) erheben, zahlreicher. Die Kritik verstärkt sich in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, insbesondere in den deutschen Ländern, und es entsteht ein Streit über die beste Wirtschaftsmethode, der bis in die Gegenwart andauert.

Ende des 18. Jahrhunderts bilden die Anhänger der Schlagwirtschaft in der forstlichen Lehre die klare Mehrheit. Da sie das forstliche Personal schulen, welches für eine nachhaltig gesicherte und gesteigerte Holzproduktion erforderlich ist, und die Forstlehre von ihren neuen Ideen beherrscht wird, kommt es in Mitteleuropa zu einer fast vollständigen Ausrottung von plenterartigen Beständen. Plentern wird zum Synonym für Plündern und die plenterartigen Bestände werden grossflächig in gleichförmige Wälder überführt.

Die einzelstammweise Nutzung wurde schon früher ab und zu „verdammt“. Die älteste bekannte Nachricht (BÜHLER 1922), die eine Abkehr von der damals üblichen Plenterwirtschaft<sup>1</sup> meldet, stammt von 1495. In der 1. Württembergischen Landesordnung wird vorgeschrieben, jedes Jahr Schläge anzulegen. Solche Empfehlungen zur Schlagwirtschaft oder Verbote des Plenterns finden sich danach mehrfach. Es handelt sich dabei aber immer um regionale Anordnungen, die durch verschiedene Ursachen – meistens durch Holzangel – begründet sind. Die grossflächige Überführung von plenterartigen Beständen dagegen beginnt erst in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts. Die Bemühungen, die Plenterwirtschaft auszurotten, finden in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts ihren Höhepunkt: Im Jahre 1827 wird in Frankreich im Zuge der Neuordnung des Forstdienstes und 1833 in Baden mit dem neuen Forstgesetz die Plenterung verboten.

<sup>1</sup> Es wäre vielleicht besser dies „übliche einzelstammweise Nutzung“ zu nennen

Welche Rolle die Angst vor Holzangel bei der Entstehung der „modernen Forstwirtschaft“ mit der schlagweisen Wirtschaft spielte, kann nur vermutet werden. Sicher ist, dass diese moderne Forstwirtschaft in den deutschen Ländern entstanden ist. Sicher ist auch, dass diese Angst, die zu jener Zeit in Mitteleuropa herrschte, in den deutschen Ländern am grössten war. Andere Länder spürten diese Angst nicht, oder zumindest nicht so stark. Der Grund dafür könnte beim Klima liegen (kleinerer Bedarf an Brennholz), bei der geringeren Bevölkerungsdichte, beim Besitz von Kolonien (Möglichkeit der Holzeinfuhr) oder bei verzögerter oder fehlender Industrialisierung.

Der Durchbruch und die Verbreitung der Ideen dieser „modernen Forstwirtschaft“ wird durch den Zustand der französischen Forstwirtschaft erleichtert. Sie wird durch königliche und adelige Forstleute repräsentiert und befindet sich dank jahrhundertelanger Erfahrung und Beobachtung auf einem sehr hohen Niveau. Frankreich ist am Ende des 18. Jahrhunderts führend in der Forstwissenschaft und in der Forstlehre. Die Französische Revolution unterbricht diese Entwicklung auf eine dramatische Weise. Das Volk hasst nicht nur den König, die Kirche und die Adligen, sondern auch ihre Besitztümer und Diener, also auch die Wälder und die Forstleute. Damit wird die weitere Entwicklung einer Forstwissenschaft, aufbauend auf der früheren französischen Lehre, praktisch unmöglich gemacht. Erst ab 1820, in der nachrevolutionären Restauration (SCHÜTZ 1997), entsteht wieder ein selbstbewusster französischer Forstdienst. Die Gründung der Forsthochschule in Nancy 1825 hat die Gedanken der früheren französischen Forstlehre nicht ganz wiederbelebt. Grosse Bedeutung hat für die Entwicklung diese Schule und französische Forstwirtschaft ein Aufenthalt PARADES in Tharandt von 1817 bis 1818. PARADES, der an der Forsthochschule ab 1825 tätig war und ab 1837 sie leitete, war von diesem Aufenthalt stark beeinflusst. Er propagierte damals moderne schlagweise Forstwirtschaft mit der zugehörigen Forsteinrichtung (KNUCHEL 1927). Dank dem Einfluss PARADES spielte dieser kurze Aufenthalt bei der Entwicklung der Forsteinrichtung und damit auch bei der Entwicklung der gesamten Forstwirtschaft in Frankreich eine wichtige Rolle. Erst nach dem Tod Parades wurde die alte französische Art der Durchforstung von den Professoren in Nancy wieder aufgenommen und damit die Gedanken der früheren französischen Lehre wirklich wiederbelebt (KNUCHEL 1927). Insgesamt ist aber der starke Einfluss der deutschen Forstklassiker mit ihrer wissenschaftlich fundierten Lehre in Frankreich damals und heute nicht zu übersehen. Ein Beweis dafür kann im Verbot der Plenterung in der Neuordnung von 1827 oder in der heutigen regen Benutzung der Plantagenwirtschaft, der Kahlschlägen und der Niederdurchforstung gesehen werden.

Die Entstehung der modernen Forstwirtschaft am Ende des 18. und am Anfang des 19. Jahrhunderts und die damit verbundenen Veränderungen sind für einige Autoren so bedeutend, dass sie darin die Ursache für die verschiedenen Denkrichtungen in der europäischen Forstwirtschaft sehen. DOLEZAL (1948) z.B. unterscheidet in der Forstwirtschaft eine mittel- und eine westeuropäische Denkrichtung. Die Gründe dafür sieht er in der Lebensweise der einzelnen Völker, in der Entwicklung ihrer politischen und rechtlichen Institutionen und in ihrer Geschichte. Die mitteleuropäische Denkrichtung (hauptsächlich Deutschland mit seinen Forstklassikern) charakterisiert er durch schlagweise Holznutzung (der Kahlschlag als charakteristisches Merkmal), kurze Verjüngungszeiträume, künstliche Verjüngung und Angst vor radikaler Unterbrechung des Kronenschlusses. Die westeuropäische Denkrichtung (hauptsächlich Frankreich, aber auch die Schweiz) sieht er durch natürliche Verjüngung gekennzeichnet, durch lange Verjüngungszeiträume, lange Umtriebszeiten, Durchbrechung des Kronenschlusses in der Regel bereits im jungen Alter sowie Vorstellungen über mehrschichtigen Wald. Auch KNUCHEL (1950) vertritt die Meinung von zwei verschiedenen Richtungen in der Forstwirtschaft und unterstützt die Auffassung von GURNAUD: „Gurnaud stellt die beiden Schulen einander gegenüber, die ganz verschiedene Arten von Wäldern hervorgebracht haben: die eine stützte sich auf jahrhundertelange Erfahrung und Beobachtung der Natur, die andere auf theoretische Überlegungen aus dem Ende des 18. Jahrhunderts, deren Härte augenscheinlich, deren Überlegenheit aber nicht bewiesen sei. Im Grunde beruhen die beiden Schulen auf verschiedenen Auffassungen über die Durchforstung.“ KURTH (1965) erinnert daran, dass

BIOLLEY und seine Schüler unter der Kontrollmethode weniger ein besonderes Messverfahren der Forsteinrichtung als eine allgemeine Grundeinstellung zur Waldbewirtschaftung verstanden haben.

Der Plenterwald bzw. die einzelstammweise Nutzung wird zwar schon während des gesamten 18. Jahrhunderts heftig kritisiert, den entscheidenden Schlag erhält er aber erst mit der Entstehung der klassischen Forstlehre. Von nun an gilt er nicht nur als „schädliche Wirtschaft, liederlich, verwerflich“ (BÜHLER 1922), sondern auch als unwissenschaftlich, unregulierbar, unfachlich, als Wirtschaft des ungebildeten Mannes (Bauernwald). Mit wachsenden Ansprüchen an den Wald steigen auch die Ansprüche an das Forstpersonal. Verlangt werden fachlich geschulte Leute, die sich an einer der erst kurze Zeit existierenden Forstschulen wissenschaftliche Kenntnisse erworben haben. Da Forstwissenschaft und Ausbildung völlig in den Händen von Forstklassikern sind, verbreiten die Absolventen von Forstschulen wie Tharandt (1811 gegründet), Eberswalde (1830 Verlegung der forstlichen Lehre von Berlin nach Eberswalde) schnell die Gedanken der klassischen Forstwirtschaft einschliesslich der Schlagwirtschaft und der dazugehörigen Forsteinrichtung. Die Plenterwälder werden rasch in schlagweise Wälder umgewandelt. Nur in kleinen Privatwäldern, wo die Macht der offiziellen Forstverwaltung nicht so stark ist, überleben Reste von Plenterwäldern.

Eine zentrale Rolle für die Art der Bewirtschaftung spielt die Forsteinrichtung. Besonders im 19. und am Anfang des 20. Jahrhunderts, als noch wenig qualifiziertes Personal zur Verfügung steht, werden die neuen Gedanken hauptsächlich durch die Wirtschaftspläne verbreitet und durchgesetzt. Sie werden durch ausgebildete „Taxatoren“ erarbeitet. Die Methoden der damaligen Forsteinrichtung werden durch die Forstklassiker und später durch ihre Schüler entwickelt. Den Anfang macht das Flächenfachwerk (ca. 1800), welches später durch das Massenfachwerk (ca. 1820) und das kombinierte Fachwerk (ca. 1850) verfeinert wird (RÜSCH 1983). Am Ende dieser Entwicklung steht die Methode des Altersklassenwaldes. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bekommt die klassische Forsteinrichtung neue Impulse durch die Bodenreinertragslehre des Mathematikers M. R. PRESSLER (1859). Bei seinen Überlegungen geht er von der Kahlfläche und der normalen Gliederung des Waldes nach Altersklassen aus. Ziel ist die höchstmögliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Die Mittel dazu sind niedrige Umtriebszeiten und der Anbau der Fichte. Von den Vertretern des klassischen Forstwirtschaft wird die Bodenreinertragslehre mehrheitlich abgelehnt. Nur in ihrem Ursprungsland, in Sachsen und im benachbarten Böhmen und Mähren findet sie Anerkennung und wird für kurze Zeit praktiziert. Die Bodenreinertragslehre gibt aber für viele Forstleute den Anstoss, die klassische Forstwirtschaft abzulehnen.

Schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zeigen sich die Schattenseiten der klassischen Forstwirtschaft: Die Kalamitäten werden häufiger, was zu Korrekturen an den Bewirtschaftungssystemen führt. Eine Auswirkung ist z.B. die Entwicklung der klassischen Forsteinrichtung vom Flächenfachwerk zur Altersklassenmethode. Auch die Altersklassenmethode wird weiter verbessert. Schon am Ende des 19. Jahrhunderts wird sie durch die Formelmethode, die den Vorrat und den Zuwachs in die Berechnungen einbeziehen, ergänzt. Im 20. Jahrhundert wird sie dank neuer Kenntnisse – besonders aus der Standortkunde – immer mehr verfeinert. Obwohl die klassische Forsteinrichtung immer komplizierter und anspruchsvoller geworden ist, ist es ihr bis heute unmöglich, einen Plenterwald „in den Griff“ zu bekommen.

ANTON TICHÝ (1843–1923), ein Anhänger des Plenterwaldes, ist zu seiner Zeit im deutschsprachigen Raum einer der stärksten Kritiker der klassischen Forsteinrichtung. Ihm wird bald bewusst, dass die damalige Forsteinrichtung, welche die schlagweise Bewirtschaftung zu einem starren System ausgearbeitet hat, einen äusserst wichtigen Einfluss auf die Bewirtschaftung hat und die Plenterung praktisch verunmöglicht. Deshalb schlägt er in seinen Werken (TICHÝ 1884, 1891) eine Forsteinrichtungsmethode für Plenterwälder vor, die auf dem Gedankengut der klassischen Forsteinrichtung aufbaut, obwohl er die Altersklassen und die Umtriebszeit ablehnt. Seine Methode hat sich nicht durchgesetzt.

### 2.1.1.2. Von der Begründung der Kontrollmethode bis heute

Als Begründer der Kontrollmethode gilt ADOLPHE GURNAUD (1825-1898). Er selbst ist bescheidener. Nach ihm existiert die Kontrollmethode in französischen Laubwäldern schon seit Mitte des 16. Jahrhunderts und in Nadelwäldern seit Mitte des 18. Jahrhunderts. Darunter versteht er die Methode „par pieds d'arbres“ (HUFFEL 1927), die den Hiebsatz nach der Anzahl Bäume bestimmt. Obwohl GURNAUD kein Anhänger des Plenterwaldes und in der Jugend sogar ein Anhänger der erlernten schlagweisen Forstwirtschaft war, wird er ein unerbittlicher Gegner der klassischen Forsteinrichtung (SCHÜTZ 1997), welche der französische Forstdienst vollumfänglich von den deutschen Forstklassikern übernommen hat. Er verweigert sich dem Begriff der Umtriebszeit, der zu seiner Zeit bei der Forsteinrichtung eine zentrale Rolle spielt. Diese Rolle weist er dem Zuwachs zu, mit dem er das Wachstum und die Entwicklung im Wald kontrollieren möchte. Er entwickelt seine Forsteinrichtungsmethode, die Kontrollmethode, nicht speziell für Plenterwälder, sondern er ist von ihrer Allgemeingültigkeit überzeugt. Erst später muss er schmerzhaft erkennen, dass die Kontrollmethode im strengen Sinne nur für ungleichförmige Wälder zulässig ist.

GURNAUDS unerbittliches Festhalten an seiner Methode der Zuwachsberechnung und seine eigenständige Persönlichkeit treffen auf einen starren, fast militärisch organisierten staatlichen Forstdienst mit einer Forsteinrichtung, die von den deutschen Forstklassikern stammt. Dieser Zusammenprall endet in einem langen und heftigen Streit. Gurnaund darf seine Methode nicht anwenden, er wird mehrmals in verschiedene Teile Frankreichs versetzt und schliesslich, als er sich einer Versetzung widersetzt, 1866 aus dem Staatsdienst entlassen. Der Streit geht mit selbstfinanzierten Veröffentlichungen Gurnaunds weiter. Dank des Bürgermeisters der Gemeinde Syam (M. JOBEZ) kann er seine Methode beim Wirtschaftsplan für diese Gemeindewälder umsetzen. Die Genehmigung des Wirtschaftsplanes wird zu einer Affäre, die bis zum Staatspräsidenten gelangt. Im Jahre 1879 präsentiert GURNAUD seine Methode auf der Weltausstellung in Paris. In einer Publikation zu diesem Anlass (GURNAUD 1878) stellt er seine Methode als forsteinrichtungstechnisches Instrument vor und propagiert zugleich den Plenterwald als ungleichförmigen Hochwald in ständiger Verjüngung. Die Publikation zeigt, dass er sich völlig von der an der Forstschule gelehrt Auffassung (schlagweise Bewirtschaftung) gelöst hat (KNUCHEL 1950).

Dass GURNAUDS Methode nicht nur reine Forsteinrichtungsmethode bleibt und rasch in Vergessenheit gerät, sondern durch die Kombination mit dem Waldbau zur heutigen Kontrollmethode entwickelt wird, verdanken wir HENRI BIOLLEY (1858-1939). Als junger Kreisförster ist er beeindruckt von GURNAUDS Publikation zur Weltausstellung. Im Jahre 1880 entschliesst er sich, die Waldungen seines Forstkreises Couvet als Plenterwälder zu bewirtschaften (SCHÜTZ 1994). Bei der Einrichtung der Wälder benutzt er mit Erfolg GURNAUDS Methode, die Kontrollmethode. Später, als er Kantonsoberröster wird (1917), schreibt er die Anwendung der Kontrollmethode für den ganzen Kanton Neuenburg vor. Dank seinen Aktivitäten im schweizerischen Forstverein und zahlreichen Veröffentlichungen, vor allem in der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen, insbesondere aber wegen der erfolgreichen praktischen Umsetzung der Kontrollmethode, ist BIOLLEY zu seiner Zeit der wichtigste Wegbereiter der Methode.

BIOLLEYS Bedeutung für den Plenterwald sowie sein Erfolg erklären sich auch durch das Umfeld: Er lebt in einer Zeit, in der sich die Kritik an der klassischen Forstwirtschaft häuft und der Plenterwald immer mehr an Popularität gewinnt. Die Wende zu einer allgemein positiveren Einstellung zur Plenterung kann etwa auf das Jahr 1880 datiert werden (SCHÜTZ 1994). Zu diesem Zeitpunkt erscheint auch KARL GAYERS ‚Waldbau‘ (GAYER 1880), ein Werk, das BIOLLEY und auch viele andere Forstleute stark beeinflusst. Es kommt hinzu, dass der Einfluss der klassischen Forstwirtschaft in der Schweiz nicht so stark ist wie in den Nachbarländern. Der Grund dafür kann hauptsächlich in Besitz der Wälder und in politischen Verhältnissen, die sich mit relativ grossen Befugnissen der Kantone und der Gemeinden auszeichnen (KURTH 1954). Ausserdem wird die Schweiz als Land der Plenteridee (LEIBUNDGUT 1940, 1949) und der

Kontrollidee (KURTH 1954) genannt, was sich in der Stellung der Forstleute in der Praxis, an der Hochschule und an der Versuchsanstalt zum Plenterwald und Kontrollmethode am Ende des 19. und im 20. Jahrhundert widerspiegelt. Dies hat die Verbreitung von „fortschrittlichen“ Gedanken der klassischen Forstwirtschaft in der Schweiz deutlich verlangsamt oder verunmöglicht.

Am Anfang des 20. Jahrhunderts häuft sich die Kritik an der Kontrollmethode, was sich in zahlreichen Beiträgen in verschiedenen Forstzeitschriften widerspiegelt. Kritisiert wird vor allem die mangelnde Praktikabilität der Zuwachsermittlung mit der Vollkluppierung. Die Zuwachsermittlung mit der Kontrollmethode wird als unmöglich (RÖHRL 1927) und als für den Wald verhängnisvoll bezeichnet (SCHWAPPACH 1925). WITTICH (1932) bezeichnet die Kontrollmethode als relativ unsichere Methode mit ungenügender Genauigkeit. Nach einer detaillierten Untersuchung der Fehler kommt MEYER (1934) zum Schluss, dass die Kontrollmethode hinreichend genaue Resultate liefert, wenn die Inventur gewissenhaft durchgeführt wird und die Nutzungskontrolle an stehenden Bäumen erfolgt. Trotz dieser Untersuchung bleibt der Kontrollmethode der Ruf, eine ungenaue Methode zu sein.

Die weiteren Untersuchungen befassen sich zumeist mit Fragen der Zuwachsermittlung und der Zuwachsberechnung und der Praktikabilität der Kontrollmethode (KNUCHEL 1923, 1928; MEYER 1931, 1949a, 1951, PRODAN 1947; WEIDMANN 1961). Das Buch von KNUCHEL (1950) „Planung und Kontrolle im Forstbetrieb“, welches die Kontrollmethode und ihre Entwicklung detailliert beschreibt, findet weite Verbreitung. Die Übersetzung in zahlreiche Sprachen (u.a. ins Japanische) trägt dazu bei, die Kontrollmethode auch ausserhalb des deutschsprachigen Raumes populär zu machen.

### 2.1.1.3. Merkmale der traditionellen Kontrollmethode

Die Kontrollmethode stellt einen Sonderfall in der Entwicklung der Forsteinrichtung dar. Sie wird im Gegensatz zu den klassischen deduktiven Methoden der Nutzungsplanung (Teilungs-, Fachwerk-, Formel- und Altersklassenmethoden) als induktive Methode der Nutzungsplanung bezeichnet (MANTEL 1959). Induktiv bedeutet, dass die Methode keinen Idealzustand voraussetzt, sondern ihn auf dem Wege der Erfahrung zu erreichen sucht.

Der markanteste Unterschied der Methoden liegt in der Verbindung mit dem Waldbau. Bei den klassischen Methoden sind die Bereiche Forsteinrichtung und Waldbau klar getrennt, bei der Kontrollmethode dagegen überlappen und durchmischen sie sich in einer solchen Masse, dass eine Trennung schwierig und zum Teil auch unerwünscht ist. Bei der Kontrollmethode ist die richtige Interpretation der Inventurergebnisse nur bei guten Kenntnissen der waldbaulichen Aspekte möglich. Im Gegenzug setzt eine effiziente waldbauliche Planung in einzelstammweise bewirtschafteten Wäldern gute Kenntnisse über die Entstehung, Auswertung und Interpretation von Forsteinrichtungsdaten voraus.

Besondere Beachtung verdient die Beziehung zwischen Kontrollmethode und Plenterwirtschaft. Die Einrichtung eines Plenterwaldes mit deduktiven Methoden ist schwierig und in der Praxis fast unmöglich. Deshalb wurde Plenterung oft als unwissenschaftliche „Plünderwirtschaft“ verspottet und oft auch als unerwünschte Betriebsart verboten (Kap. 2.1.1.1.). Erst mit der Entstehung der wissenschaftlich unterbauten Kontrollmethode haben die Befürworter der Plenterwirtschaft ein Werkzeug zu ihrer Verteidigung in die Hände bekommen. Die Kontrollmethode ist dank des Plenterwaldes und für den Plenterwald entstanden, sie ist aber nicht an den Plenterwald gebunden. Ihre grundlegenden Gedanken, d.h. die Kontrollidee (KURTH 1954), sind so überzeugend, dass sie auch von den Gegnern der Plenterwirtschaft anerkannt und propagiert werden. Als vollkommene Methode der Nutzungsplanung wird die „kombinierte Methode“ beschrieben, die aus einer Kombination von Altersklassenmethode und Kontrollmethode entstanden ist (MANTEL 1959). Unbestritten ist, dass die Kontrollmethode auch in Schlagwäldern angewendet werden kann. Offen bleibt allerdings die Frage, ob die

Anwendung der Kontrollmethode mit ihrer Suche nach dem höchsten Ertrag nicht zur Abkehr von der Schlagwirtschaft führt.

Die Vorteile des schlagweisen Waldes, die den Altersklassenwald und die Forsteinrichtung mit deduktiven Methoden lange Zeit so beliebt machten, sind nicht zu übersehen: Es gibt ausser dem Niederwald keine andere Betriebsart, welche eine bequeme, schablonenhafte, durch Vorschriften leicht zu reglementierende Wirtschaft mehr begünstigt (BÜHLER 1922). Der Altersklassenwald ist auch für wenig qualifiziertes Personal leicht zu begreifen. Man kann problemlos einfache Modellvorstellungen (Normalwald) anwenden und die Nachhaltigkeit leicht kontrollieren. Der Wald wird überschaubar, berechenbar, kontrollierbar (LANG 1994).

Der Vorteil der Kontrollmethode ist ihre Einfachheit. Es gibt keine komplizierten Formeln wie bei den klassischen Methoden. Vorrat und Nutzungen nach Baumarten und Durchmesserstufen von zwei Inventuren genügen, um Zuwachs, Einwuchs, Durchwuchszeit und andere Grössen berechnen zu können. Alle anderen Begriffe der klassischen Forsteinrichtung haben nur informativen Charakter oder fehlen ganz. Nachteile der Kontrollmethode sind die hohen Anforderungen an die Qualität der Inventuren sowie an die Kenntnisse in Waldbau, Waldwachstum, Standortskunde und andere ökologische Fachgebiete, ohne die eine richtige Interpretation der Inventuren unmöglich ist. Als ein Nachteil der traditionellen Kontrollmethode gilt ihre Verknüpfung mit der aufwändigen Vollkluppierung und die Kontrolle der Nutzung an stehenden Bäumen. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Ermittlung des Zuwachses über wiederholte Vollkluppierungen und Differenzbildung den Genauigkeitsanforderungen nicht genügt. Die Entwicklung der Kontrollstichprobenmethode hat diese Nachteile mehr oder weniger beseitigt.

Die Unterschiede zwischen der Kontrollmethode und den deduktiven Methoden bzw. zwischen Einzelstammwirtschaft<sup>2</sup> (Plenterwirtschaft) und Schlagwirtschaft sind nicht nur methodischer Art, sondern so gravierend, dass sie die Forstleute und die ganze Forstlehre schon seit der Begründung der „modernen Forstwissenschaft“ am Ende 18. Jahrhunderts bis heute in zwei antagonistische Lager geteilt haben. Die Befürworter des Plenterwaldes bildeten seit jeher eine kleine Minderheit, und sie waren mehrmals vom „Aussterben“ bedroht. Es ist nicht zuletzt ein Verdienst der schweizerischen Forstwirtschaft, dass die Plenteridee überlebt hat.

## 2.1.2. Wichtige dendrometrische Grössen

### 2.1.2.1. Allgemeines

Planung und Kontrolle im Plenterwald basieren auf einer detaillierten waldbaulichen Beurteilung im Gelände und auf einer Analyse der Inventurdaten betreffend Zuwachs, Stammzahl- und Vorratsverteilung. Die traditionelle Kontrollmethode stützt sich auf eine Vollkluppierung und auf eine Stehendkontrolle der Nutzung. Sie verwendet die Abteilung als Planungs-, Bewirtschaftungs- und Kontrolleinheit.

### 2.1.2.2. Stammzahl und Stammzahlverteilung

Die Stammzahl je Hektar hängt vom Standort und vom Bestandesaufbau, aber auch von der Kluppschwelle ab. Die Kluppschwelle sollte so gewählt werden, dass die Stammzahl und die

---

<sup>2</sup> Unter dem Begriff Einzelstammwirtschaft ist hier die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder mit der einzelstammweisen Nutzung, die in erste Linie den besseren Zustand des verbleibenden Bestände als Ziel hat, gemeint. Die Plenterwirtschaft betrachtet der Autor nur als eine Variante einer solchen Einzelstammwirtschaft. Das Gegenteil dazu wäre die einzelstammweise Nutzung die in der erste Linie am ausscheidendem Bestand interessiert ist. Solche Für eine solche Bewirtschaftung ist die Bezeichnung „Plunderwirtschaft“ angebracht.

Stammzahlverteilung die Waldstruktur gut charakterisieren. Auf guten Standorten und bei Nadelbäumen sollte die Kluppschwelle höher angesetzt werden als auf schlechten Standorten oder bei Laubbäumen, bei denen der Schwerpunkt des Volumens im schwächeren Durchmesserbereich liegt (KNUCHEL 1950). Tatsächlich wurde früher für jeden zu messenden Bestand die Kluppschwelle gesondert festgesetzt. Praktische Gründe sprechen aber für eine zumindest regional einheitliche Kluppschwelle. Eine tief angesetzte Kluppschwelle liefert zwar gute Informationen über den Nachwuchs, verursacht aber einen hohen Aufwand. Sie ist nur bei stichprobeweisen Inventuren tragbar. Tabelle 1 zeigt Beispiele von Kluppschwellen im Plenterwald:

Tab. 1: Beispiele der benutzten Kluppschwellen im Plenterwald

Gebiet	Kluppschwelle in cm	Quelle
Kanton Neuenburg, Frankreich	17,5	BIOLLEY 1922; KNUCHEL 1950
Deutschsprachige Schweiz	16	KNUCHEL 1950
Plenterwaldversuchsflächen WSL	8	BACHOFEN 1999
Kanton Bern – Kontrollstichproben	8 und 16	EINRICHTUNGSINSTRUKTION 1974
Slowenien	10	HOČEVAR 1992
Bayerischer Wald	14	SOMMER 1963
Plenterwald-Versuchsflächen im Schwarzwald	7	SPIECKER 1986

Eine eventuelle weitere Unterteilung der Stammzahl nach Baumarten hängt vom Gebiet, von den Standorten, den Baumarten und den Anforderungen des Bewirtschafters ab. Häufig erfolgt die Unterteilung nur nach Nadelholz und Laubholz. In vielen Plenterwaldgebieten werden Fichte, Tanne, Buche, sonstige Nadelbäume und sonstige Laubbäume unterschieden. Bei hohen Anteilen anderer Baumarten ist eine weitere Unterscheidung möglich.

Eine wichtige Methode zur Beurteilung des Plenterwaldgefüges ist die Stammzahlverteilung, das heisst die Stammzahlhäufigkeit nach Durchmessern. Die Gruppierung von Bäumen nach Durchmesserstufen erleichtert die Interpretation der Stammzahlverteilung. Die Breite der Durchmesserstufen hat für die klassische Kontrollmethode mit Vollkluppierung eine grosse Bedeutung. Heute sind meist 4 cm-Stufen (deutsche Schweiz, Deutschland, übriges Mitteleuropa) oder 5 cm-Stufen üblich (Westschweiz, Frankreich). Früher wurden auch feinere Durchmesserabstufungen, überwiegend 2 cm-Stufen, gebraucht. Die Art und Weise der Rundung von Durchmesserstufen beeinflusst die Berechnung des Zuwachses und dessen Genauigkeit und wurde deshalb intensiv diskutiert. Detaillierte Antworten gibt die Arbeit von MEYER (1934). Bei der Kontrollstichprobe, bei der die Zuwachsmessung am Einzelbaum erfolgt, tritt das Problem nicht auf.

Stärkeklassen sind das Resultat einer weiteren Gruppierung der Bäume, wobei eine Stärkeklasse in der Regel mehrere Durchmesserstufen zusammenfasst. Stärkeklassen spielen eine grosse Rolle bei der Unterteilung des Vorrats, indem der Bestand mit wenigen Zahlen charakterisiert werden kann. Stärkeklassen können mit festen oder mit steigenden Intervallen gebildet werden. Üblich sind steigende Intervalle, bei denen die höheren Stärkeklassen eine grössere Spannweite haben (Tabelle 2). Die Stärkeklassenbildung verfolgt auch die Absicht die Bäume so zu gruppieren, dass grobe Rückschlüsse auf die Verteilung der soziologischen Klassen oder auf den Sortimentsanfall möglich sind.

Tab. 2 Beispiele von Stärkeklassen im Plenterwald

Gebiet	Stärkeklassen (in BHD, teilweise mit Bezeichnung)	Quelle
Kanton Neuenburg	17,5-32,4 cm (Schwachholz), 32,5-52,4 cm (Mittelholz), ≥52,5 cm (Starkholz)	BIOLLEY (1922)
Schweiz	16,0-23,9 cm, 24,0-35,9 cm, 36,0-51,9 cm, 52,0-71,9 cm*, ≥72,0 cm* (* oft zusammengefasst)	KNUCHEL (1950)
Versuchsflächen Schwarzwald	7,0-24,9 cm (Schwachholz), 25,0-49,9 cm (Mittelholz), ≥50,0cm (Starkholz)	SPIECKER (1986)

### 2.1.2.3. Vorrat und Mittelstamm

Die Höhe des ermittelten Vorrats hängt nicht nur von den natürlichen Bedingungen und vom Zustand des Bestandes ab, sondern auch von der Kluppschwelle und von der Art des betrachteten Vorrats (Derbholz, Gesamtvolumen). Die Höhenmessung als Teil der Vorratermittlung ist eine bedeutende Fehlerquelle, was bei der traditionellen Kontrollmethode mit Vollkluppierung die Zuwachsberechnung in Frage stellen kann. Die Höhenmessung selbst und die spätere Ableitung von Höhenkurven für den Bestand sowie ihr Eingang in die Volumentafeln (meist als „Massentafeln“ bezeichnet) bergen viele Fehlerquellen. Probleme ergeben sich vor allem dann, wenn zur Berechnung des Zuwachses, der über die Differenz der Volumen am Anfang und am Ende einer Periode erfolgt, unterschiedliche Massentafeln herangezogen werden: Der Zuwachs wird in einem solchen Fall durch Volumendifferenzen verfälscht, die sich allein aus der Verwendung unterschiedlicher Massentafeln ergeben.

Zur Eliminierung dieser Fehlerquellen wurden zunächst einheitliche Formhöhentafeln eingeführt, die für alle Altersklassen gelten. Der nächste Schritt war die Ausarbeitung von Tarifen (Einrichtungsmassentafeln), in welchen für jede Durchmesserstufe ein Volumen angegeben wird. Weil die Tarifvolumen vom wirklichen Volumen stark abweichen können, wurde neuer Begriff eingeführt, die sogenannte Silve. Die Silve (sv) gilt seit GURNAUD als Masseinheit für stehendes Holz.. Synonyme für Silve sind Stehendfestmeter, Tariffestmeter oder Vorratsfestmeter im Unterschied zu Liegendfestmeter oder Erntefestmeter. Für eine korrekte Zuwachsberechnung müssen auch die Nutzungen in Silven erfasst werden. Heute existieren Einheitstarife und Lokaltarife, wobei letztere nach Baumarten unterteilt sein können (Übersicht bei KNUCHEL 1950, S. 97). Seit der Einführung von Tarifen kann auf die aufwändige und mit Fehlern behaftete Höhenmessung verzichtet werden, was die Volumenberechnung stark vereinfachte.

Das Verhältnis zwischen dem Liegendmass (Erntefestmeter) und dem Stehendmass (Silve) wird als Silvenwert bezeichnet. Er gilt als Mass für die Abweichung eines Tarifs vom wirklichen Volumen. Der Silvenwert kann sich mit den örtlichen Gegebenheiten ändern. Bei der Überführung in Plenterwald dient er zur Feststellung von Schaffformveränderungen. Im ausgeglichenen Plenterwald dagegen bleibt der Silvenwert relativ stabil.

### 2.1.2.4. Nutzung

Bei der traditionellen Kontrollmethode muss für eine genaue Zuwachsberechnung die Nutzung durch eine aufwändige Kluppierung der stehenden Bäume erfasst werden (Stehendkontrolle, in Silven). Zur Ermittlung des Silvenwertes werden genutzte Bäume liegend gemessen (Erntefestmeter). Bei der Kontrollstichprobe kann die Nutzung nur geschätzt werden, weil in der Regel keine stehende Messung der genutzten Bäume durchgeführt wird. Von den genutzten Bäumen sind nur die Dimensionen am Anfang der Periode bekannt (Inventurzeitpunkt). Der bis zur Nutzung der Bäume geleisteter Zuwachs ist nicht bekannt und muss geschätzt werden. Eine als „Eingriffskontrolle“ bezeichnete Inventurmethode (GADOW und STÜBER 1994) behebt diesen Mangel, birgt in sich aber andere statistische Probleme.

### 2.1.2.5. Zuwachs

Die wichtigste Grösse bei der Kontrollmethode ist der Zuwachs. Stehen nur Daten aus einer Inventur zur Verfügung, kann er über Zuwachsbohrungen ermittelt werden. Nachteile der Bohrungen sind die Gefahr einer Beschädigung der Bäume und ihre Ungenauigkeit. Charakteristisch für die Kontrollmethode ist die Ermittlung des Zuwachses durch die Berechnung der Differenz zweier Inventuren. Das Äquivalent zum laufenden Zuwachs des Altersklassenwaldes wird bei der Kontrollmethode im Plenterwald als Zunahme bezeichnet. Sie

setzt sich aus dem Zuwachs in den Durchmesserstufen oberhalb der Kluppschwelle und dem Einwuchs in die unterste Durchmesserstufe zusammen. Die Grösse von Zuwachs und Einwuchs bzw. das Verhältnis zwischen Zuwachs und Einwuchs hängt nicht nur von den natürlichen Bedingungen, sondern auch von der Kluppschwelle ab. Im ausgeglichenen Plenterwald, wo er über lange Zeiträume konstant bleibt, repräsentiert der Einwuchs den Zuwachs unterhalb der Kluppschwelle. Daraus ergeben sich die klassischen Formeln der Kontrollmethode:

**Volumenzunahme  $I_V$  :**

$$I_V = V_2 - V_1 + E_V \quad [\text{sv}]$$

**Einwuchs** für die Stammzahl  $P_N$ , resp. für das Volumen  $P_V$

$$P_N = N_2 - N_1 + E_N \quad [\text{n}]$$

$$P_V = P_N \cdot \text{Tarif der untersten Durchmesserstufe} \quad [\text{sv}]$$

**Zuwachs  $I_{V1}$**

$$I_{V1} = I_V - P_V \quad [\text{sv}]$$

$V_1$	Vorrat am Anfang einer Periode
$V_2$	Vorrat am Ende einer Periode
$N_1$	Stammzahl am Anfang einer Periode
$N_2$	Stammzahl am Ende einer Periode
$E_V$	Nutzung in Volumen während einer Periode, inklusive Mortalität
$E_N$	Nutzung in Stammzahl während einer Periode, inklusive Mortalität

Die Vorratzzunahme und der Vorratzzuwachs können auch für einzelne Durchmesserstufen, für Stärkeklassen oder für Baumarten berechnet werden.

Eine wichtige Rolle für Modellvorstellungen (Kapitel 2.1.3.) spielt der Stärkezuwachs (Durchmesserzuwachs, BHD-Zuwachs), der bei der Vollkluppierung für jede Durchmesserstufe berechnet werden kann (Vorgehen siehe z.B. VAULOT 1914, MEYER 1949a, WEIDMANN 1961). Die Zugangszeit (PRODAN 1947, 1949), die Durchwuchszeit oder die Ein- und Auswuchsrate (SCHÜTZ 1989) sind reziproke Werte des Stärkezuwachses oder vom Stärkezuwachs abgeleitete Werte, die ihn in anderer Form darstellen. Bei der Kontrollstichprobe wird der Stärkezuwachs je Durchmesserstufe über den Stärkezuwachs von Einzelbäumen ermittelt. Er kann dadurch sehr genau ermittelt werden, wesentlich genauer als durch eine Vollkluppierung

Einwuchs, Zuwachs sowie die sich daraus ergebende Zunahme werden bei der Kontrollstichprobe anders ermittelt als bei der Vollkluppierung. Der Zuwachs auf den verbliebenen Bäumen des Ausgangsbestandes und der Einwuchs werden direkt ermittelt, die Genauigkeit ist damit höher als bei der Vollkluppierung. Der Zuwachs an den seit der letzten Inventur genutzten Bäumen ist unbekannt und kann daher nur geschätzt werden. Entsprechend setzt sich die Zunahme aus genau ermittelten und geschätzten Werten zusammen.

### 2.1.2.6. Grundfläche

Die Grundfläche, die nicht durch unsichere Faktoren wie Höhe oder Formzahl beeinflusst ist, kann ebenfalls zur Vorrats- und Zuwachskontrolle dienen. TICHÝ (1884) z.B. machte den Vorschlag, die Kontrolle auf die Grundfläche abzustützen und den Hiebsatz in Quadratmetern auszudrücken. Heute wird die Grundfläche meist als zusätzliche Grösse verwendet, welche die Bestandesdichte gut charakterisiert. Eine wichtige Bedeutung erhält die Grundfläche bei den Plenterwald-Modellvorstellungen von SCHÜTZ (1975). In seinem Modell berücksichtigt er den Effekt der Bestandesdichte (Konkurrenzdruck) auf den Zuwachs und berechnet zu diesem Zweck

eine lineare Regression zwischen dem Zuwachs (Einwuchsrate) einer Durchmesserstufe und der kumulierten Grundfläche derselben Durchmesserstufe.

### 2.1.3. Plenterwald-Modellvorstellungen

#### 2.1.3.1. Grundsätzliches

Streng genommen lässt die Idee der Kontrollmethode mit ihrer waldbaulichen Freiheit Begriffe wie Modell, Optimalvorrat oder Normalvorrat gar nicht zu. Anhänger des Plenterwaldes lehnen sie entschieden ab. Sie befürchten, solche Vorstellungen könnten zum schematischen Gebrauch von Zahlen verführen und damit die Abfolge „Experiment, Kontrolle, Lernen“ in die Abfolge „Modell, Kontrolle, Belohnung/Bestrafung“ ändern. Für BIOLLEY, der als einer der stärksten Gegner der Normalisierung im Plenterwald gilt, ist der massgebende Leitgedanke „Experiment und Beobachtung (Kontrolle)“ und nicht ein Modell. Der Widerspruch liegt nun darin, dass z.B. die Anzeichnung eines Plenterhiebes ein Prozess ist, welcher auf dem Vergleich des momentanen Bestandeszustandes mit einem gedanklichen Idealzustand aufbaut. Dies bedeutet, dass zwar der schematische Gebrauch von Modellen abgelehnt wird, jedoch zur Beschreibung eines idealen Plenterzustandes, für wissenschaftliche Arbeiten oder auch für die Nutzungsplanung und Nachhaltigkeitskontrolle eine modellähnliche Vorstellung benötigt wird.

In der Theorie des Altersklassenwaldes ist der „Normalvorrat“ eine starre, verbindliche, nicht leicht zu ändernde Grösse. Das Pendant im Plenterwald nennt BIOLLEY daher „étale“ (rationaler Vorrat). Wenn man sich trotzdem gebräuchliche deutsche Fachbegriffe im Plenterwald bedienen will, sollte man statt Normalvorrat, Optimalvorrat oder Zielvorrat den Begriff angestrebter Vorrat benutzen und statt von Modellen von Modellvorstellungen sprechen. Im Sinne der Kontrollidee sollte ein angestrebter Vorrat als eine informative, unverbindliche Grösse gelten, die mit einem sich ändernden Zustand des Bestandes oder bei neuen Erkenntnissen über den Bestand und seine Produktionsmöglichkeiten korrigiert werden kann.

Die Plenterwald-Modellvorstellungen wurden ab Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt. HANEWINKEL (1997) teilt sie in zwei Gruppen: analytisch-deskriptive Modelle (DE LIOCOURT, MEYER) und empirisch-zuwachsbasierte Modelle (PRODAN, MITSCHERLICH, SCHÜTZ). Die vorliegende Arbeit dagegen unterteilt die Modelle nach ihrem Komplexitätsgrad.

#### 2.1.3.2. Angestrebter Vorrat und Vorratsverteilung nach Stärkeklassen

Am einfachsten lässt sich ein „idealer Plenterzustand“ mit dem angestrebten Vorrat charakterisieren. Er ist zugleich die wichtigste Grösse für Plenterwald-Modellvorstellungen und wird auch als Gleichgewichtsvorrat (SCHÜTZ 1989) bezeichnet. Die Bezeichnung weist darauf hin, dass bei diesem Vorrat eine ideale Plenterstruktur „dauerhaft“ erreicht werden kann. Die Unterteilung des Vorrates nach Stärkeklassen erlaubt tiefere Einblicke in die Plenterstruktur. Die Höhe des angestrebten Vorrates und dessen Verteilung nach Stärkeklassen hängen vom Standort (oft durch die Bonität ausgedrückt), von der Baumartenzusammensetzung und vom Produktionsziel ab (SCHÜTZ 1989). Auch BIOLLEY (1922), der als einer der schärfsten Kritiker von Plenterwald-Modellen gilt, verwendet diese einfachen Modellvorstellungen über Vorratshöhe und Vorratsverteilung. Heute dienen sie häufig zur vereinfachten Darstellung von komplexen Modellvorstellungen (z.B. AMMON 1951, KNUCHEL 1950, SCHÜTZ 1989).

### 2.1.3.3. Stammzahlkurven und Stammzahlverteilungen

Die mathematische Darstellung in Form von Stammzahlverteilungsfunktionen ist eine weitere Entwicklung. Gemäss DE LIOCOURT (1898) nimmt die Stammzahl von einer Durchmesserstufe zur andern nach einer geometrischen Progression konstant ab. Die französischen Forstleute SCHAEFFER, GAZIN, D'ALVERNY (1930) verfeinern das „Gesetz von DE LIOCOURT“. Sie stellen fest, dass die Stammzahlverteilung mit dem Standort ändert. Für ihr Untersuchungsgebiet unterscheiden sie nach Vorratshöhe und Stammzahl vier Bestandestypen mit unterschiedlichen Stammzahl-Abnahmequotienten.

MEYER (1933) entwickelt das „Gesetz von DE LIOCOURT“ mathematisch weiter zu einer Exponentialfunktion. Er macht in seiner Arbeit klar, dass auf demselben Standort verschiedene nachhaltige Plenterzustände möglich sind. Bei starker Stammzahlabnahme ist eine hohe Bestandesdichte und ein verhältnismässig kleiner Vorrat zu erwarten. MEYER ist sich bewusst, dass seine Funktion eine grobe Vereinfachung darstellt, die viele Faktoren unberücksichtigt lässt, so z.B. die Übershirmung der Kronen oder die Durchwuchszeit. Er empfiehlt daher, die Resultate der Funktion kritisch zu betrachten und den empirisch ermittelten Zahlen (Erfahrungszahlen) aus gut strukturierten Plenterwäldern den Vorzug zu geben.

### 2.1.3.4. Stammzahlverteilungskurve nach Stärkezuwachs

Eine andere Möglichkeit zur Erstellung einer Stammzahlkurve ist ihre Herleitung aus dem Durchmesserzuwachs bzw. der Durchwuchszeit. Die Idee ist einfach und logisch: Ein Gleichgewichtszustand besteht dann, wenn aus einer Durchmesserstufe soviel Bäume in die nächsthöhere Stufe einwachsen, wie diese durch Auswuchs, Nutzung und natürlichen Abgang verliert. Wenn diese Bedingung auf Dauer für alle Durchmesserstufen erfüllt ist, befindet sich der Bestand im Gleichgewicht.

Die Berechnung des Durchmesserzuwachses aus zwei Inventuren nach der sogenannten Differenzenmethode wird in Frankreich und in der Schweiz schon seit den Anfängen der Kontrollmethode praktiziert. Problematisch bei dieser Methode ist der korrekte Einbezug von Nutzungen sowie von Bäumen, die innerhalb einer Inventurperiode mehrere Durchmesserstufen durchwachsen. Verschiedene Berechnungsverfahren (z.B. VAULOT 1914, MEYER 1949) oder die tabellarische Darstellung der Inventurdaten (WEIDMANN 1961) können diese Probleme teilweise oder ganz lösen.

Ein Mangel der einfachen Formel zur Berechnung des Stärkezuwachses bzw. des Berechnungsverfahrens des Stärkezuwachses bei PRODAN (1947, 1949) ist, dass sie innerhalb einer Durchmesserstufe eine gleichmässige Stammzahlverteilung voraussetzt. Für den Plenterwald ist jedoch charakteristisch, dass die Stammzahl sowohl von Stufe zu Stufe als auch innerhalb einer Durchmesserstufe abnimmt. Bleibt diese Tatsache unberücksichtigt, sind systematische Fehler die Folge. Von SCHAEFFER ET AL. (1930) und MEYER (1949) wurde ein Berechnungsverfahren französischer Forstleute beschrieben, das diese systematischen Fehler kompensiert. MEYER (1935) lieferte auch einen mathematischen Beweis für die Richtigkeit dieses Berechnungsverfahrens.

Der erste Versuch, die Stammzahlkurve eines Plenterwaldes im Gleichgewicht tatsächlich mit dem Stärkezuwachs in Verbindung zu bringen, stammt von FRANÇOIS (1938). SCHAEFFER ET AL. (1930) versuchten zwar schon einige Jahre zuvor, eine Abhängigkeit zwischen dem ersten Glied der geometrischen Reihe und dem Stärkezuwachs in der betreffenden Durchmesserstufe zu finden, sie hielten aber noch am ‚Gesetz von DE LIOCOURT‘ fest.

PRODAN veröffentlicht 1949 eine Berechnungsmethode, welche die Stammzahlkurve allein aus dem Stärkezuwachs ableitet. Er gilt damit als eigentlicher Erfinder dieser Methode. Die Stärkezuwachsberechnung von PRODAN ist zwar nicht fehlerfrei, was aber auf die Formeln zur Berechnung der Stammzahlkurve kein Einfluss hat. Nach dem Verfahren von PRODAN sind für

einen Standort verschiedene Gleichgewichtszustände möglich. Er lehnt es aber ab, aus dieser Formel ein deduktives Verfahren zur Bestimmung eines Gleichgewichtszustandes zu machen. Er betont, dass es sich um ein induktives Verfahren handelt, weil die optimale Nutzung und der optimale Vorrat nur auf empirischem Weg ermittelt werden können.

Die Untersuchung von MITSCHERLICH (1952) baut auf der Arbeit von PRODAN auf. Seine Untersuchung von 12 Plenterwald-Versuchsflächen im Schwarzwald führt zu der wohl umfassendsten Arbeit über die Dynamik des Aufbaus von Plenterwäldern. Eine Hauptaussage ist, dass auf einem Standort nicht nur ein Plentergleichgewicht existiert, sondern dass eine ganze Reihe von Plentergleichgewichten möglich ist, die er als einen Bereich ausgeglichener Plenterstrukturen bezeichnet. Ein Ziel seiner Arbeit war die Schaffung einer Art der Ertragstafel für Plenterwälder. MITSCHERLICH äussert auch Kritik an der Kontrollmethode, besonders wegen erheblichen Fehlermöglichkeiten bei der Zuwachsberechnung. MITSCHERLICH wendet sich mit seiner Arbeit von der Idee der Kontrollmethode ab und versucht einen Weg zu finden, wie die Methoden der klassischen Forsteinrichtung auf Plenterwälder angewendet werden können. BACHOFEN (1999) konnte in seiner Untersuchung über das Wachstum von Plenterwäldern einige von MITSCHERLICHs Aussagen nicht bestätigen. Es handelt sich besonders um die Beziehung Vorratshöhe/Zuwachs. Damit sind dessen „Ertragstafeln“ noch mehr in Frage gestellt.

Das Modell von SCHÜTZ (1975) stellt die bislang am weitesten ausgereifte Vorstellung dar. Geschickt fasst es die bisherigen Aussagen über das Gleichgewicht im Plenterwald zusammen. Das Modell basiert auf Auswuchs- und Nutzungsraten, die aus dem Stärkezuwachs und den Nutzungen rein empirisch (und damit ganz im Sinne der Kontrollmethode) ermittelt werden. Zwischen dem Stärkezuwachs und der Bestandesdichte besteht eine lineare Regression, wobei für SCHÜTZ die Bestandesdichte einer Durchmesserstufe durch die kumulierte Grundfläche bis und mit der betreffenden Durchmesserstufe ausgedrückt wird. Eine wichtige Stellung in seinem Modell hat die Stammzahl der untersten Durchmesserstufe (Ausgangsstammzahl). SCHÜTZ weist nach, dass sie von der Vorratshöhe abhängig ist. Diese Erkenntnis macht er sich bei der Bestimmung der optimalen Vorratshöhe zu Nutze. Er zeigt, wie auch schon MEYER (1933) betonte, dass die Stammzahlverteilung nach dem „Gesetz von DE LIOCOURT“ bzw. nach der Funktion von MEYER nur für wenige Bestände gilt und deshalb nur als erste Annäherung an eine Gleichgewichtskurve betrachtet werden darf. Normalerweise ist die Gleichgewichtskurve im Plenterwald bei den mittleren Durchmesserstufen leicht abgeflacht.

## 2.2. Stichprobeninventuren

### 2.2.1. Geschichte der Stichprobeninventuren

Die klassische Forsteinrichtung im heutigen Sinne ist erst in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts entstanden (KÄTSCH 1998). Sie prägt die Forstwirtschaft in den mitteleuropäischen Ländern teilweise noch heute. Für die Beantwortung der Hauptfrage der klassischen Forsteinrichtung: „Wieviel Holz kann jetzt und in Zukunft genutzt werden?“ ist die Erfassung des Holzvorrates eine wichtige Aufgabe (RICHTER 1958). Die Inventur der klassischen Forsteinrichtung ist aus der Bewirtschaftung des schlagweisen Hochwaldes entstanden und basiert auf bestandesweisen Aufnahmen: Alte Bestände werden vollständig gekluppt (Vollkluppierung), mittelalte Bestände durch temporäre Probeflächen erfasst und junge Bestände mit Hilfe der Ertragstafel geschätzt. Die Anwender sind stolz auf die erreichte „Perfektion“ dieser Inventur und wenden sich deshalb nur ungern den Stichprobenmethoden auf mathematisch-statistischer Grundlage zu.

Die Entstehung der mathematischen Statistik wird auf den Anfang des 20. Jahrhunderts datiert (Zöhrer 1980). Sie liefert objektive Daten mit bekannter Genauigkeit anstelle ungewisser Hochrechnungen aus Probeflächendaten. Ab etwa 1930 wirkte sich die mathematische Statistik auf Forstinventuren aus, besonders in den nordamerikanischen und skandinavischen Staaten, die

von der klassischen Forsteinrichtung weniger stark beeinflusst sind. In Nordamerika wurden zunächst eher zufällige Stichproben, in Europa von Anfang an systematische Stichproben benutzt (Richter 1958, Halaj 1960). Insgesamt haben sich statistische Methoden in der mitteleuropäischen Forsteinrichtung nicht so rasch durchgesetzt, wie es auf den ersten Blick scheint. Probeflächen fanden zwar schon sehr früh Eingang bei Forstinventuren, Stichprobenverfahren auf mathematisch-statistischer Grundlage haben sich aber erst spät durchgesetzt.

### 2.2.2. Schweizerische Kontrollstichprobe

Bei der traditionellen Kontrollmethode werden die Plenterwälder grossflächig durch „permanente Probeflächen“ (=Abteilungen) inventarisiert (vollgekluppt). Das wohl bekannteste Beispiel ist der Wald von Couvet. Permanente Probeflächen in diesem Sinne werden in Deutschland bereits seit 1860 angelegt (GRAVES 1906). 1884 schlägt TICHÝ ein Inventurverfahren für Plenterwälder vor, welches als permanente Stichprobe bezeichnet werden kann, und 1936 werden permanente Stichproben zur „Leistungskontrolle“ angelegt (KRUTZSCH und LÖTSCH 1938). Permanente Stichproben auf mathematisch-statistischer Basis dagegen werden erstmals 1937 in Amerika entwickelt (STOTT und SEMMES 1962). Aus Schweden stammt ein ähnliches Konzept von PETERSON (KÖHL 1994) für die ertragskundliche Forschung. In Nordamerika und Skandinavien verbreiten sich die Konzepte schnell und setzen sich in der forstlichen Praxis durch.

Die Entstehung der Kontrollstichprobe in der Schweiz ist mit den Namen KURTH und SCHMID verbunden (in späteren Publikationen geschrieben als ‚KURT‘ und ‚SCHMID-HAAS‘). Die gedankliche Basis für die Kontrollstichprobe bildet die Kontrollmethode. Da die Inventur eine kontinuierliche Kontrolle des Waldes ermöglichen soll, muss sie als permanente Stichprobe angelegt sein. Schon 1954 spricht KURTH den mathematisch-statistischen Verfahren für die Kontrolle von Wäldern, die auf der Basis der Kontrollidee eingerichtet werden sollen, eine grosse Bedeutung zu. Am Anfang der 1960er Jahre ist die Kontrollmethode als Konzept ausgereift (KURTH 1965). Obwohl meist als Ersatz für die aufwendige Vollkluppierung im Plenterwald betrachtet, wird sie erstmals 1962 in einem femelschlagartig bewirtschafteten Gemeindewald im Gebiet Gäu, Kanton Solothurn, angewendet. In ihren groben Zügen wird sie erstmals 1963 von SCHMID veröffentlicht. Die erste Anwendung der Kontrollstichprobe im Plenterwald erfolgt 1966 in den Gemeindewäldern von Ober- und Unterlangenegg. Verantwortlich ist die Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV, heute Eid. Forschungsanstalt WSL), die zugleich Zeitstudien durchführt (SCHMID 1967, 1970).

Vor allem SCHMID(-HAAS) und der Gruppe ‚Waldmessung‘ an der EAFV ist es zu verdanken, dass die Probleme der Kontrollstichprobe gelöst werden konnten und die Methode in der forstlichen Öffentlichkeit bekannt wurden. Die Forschungsgruppe hat die praktische Durchführung detailliert untersucht, praxistaugliche Methoden vorgeschlagen und eine Aufnahmeinstruktion (SCHMID-HAAS, BAUMANN, WERNER 1993) herausgegeben. Sie wurde in verschiedenen Sprachen übersetzt und in mehreren Auflagen gedruckt. Zudem wurden an der Versuchsanstalt geeignete Messinstrumente und Ausrüstungsgegenstände teilweise selber entwickelt und der Praxis angeboten. Das für die Praxis entwickelte Auswerteprogramm sowie die ständige Beratung in Sachen Kontrollstichproben haben dazu beigetragen, dass der Methode in der schweizerischen Forstpraxis ein so schneller Durchbruch gelang. Heute wird in der Schweiz die Kontrollstichprobe auf ungefähr  $\frac{1}{4}$  der Waldfläche angewendet (BERNASCONI und BACHMANN 1990). In einigen Gebieten läuft die dritte Folgeinventur, was bei der üblichen Inventurperiode von 10 Jahren bedeutet, dass die Erstinventur vor mindestens 30 Jahren erfolgte.

Auch viele Publikationen sind daran beteiligt, dass die schweizerische Kontrollstichprobe in der Schweiz und im Ausland bekannt wurde: Im Jahre 1969 veröffentlicht SCHMID eine Arbeit zum Problem der Probeflächen am Waldrand und schlägt mit der Spiegelung eine einfache

Methode für eine verzerrungsfreie Messung der Randproben vor. Auch der Einbezug der Kontrollstichprobe in die forstliche Planung wird untersucht, konkrete Vorschläge folgen (z.B. SCHMID-HAAS 1972, SCHMID-HAAS ET AL. 1984). KURTH (1974) benutzt die Kontrollstichprobe für eine regionale Planung im Emmental und SCHMID-HAAS (1989) befasst sich mit den Vorteilen von permanenten gegenüber temporären Stichproben.

### 2.2.3. Systematische und zufällige Stichproben

Die systematische Stichprobe (systematic sample) ist wegen ihrer Vorteile das bevorzugte Auswahlverfahren bei Forstinventuren (PELZ 1985, SABAROWSKI 1990, ZÖHRER 1980). Systematisch bedeutet, dass die Proben nach einem vorher festgelegten Schema im Wald verteilt werden bzw. in einem festgelegten Probenetz liegen. In der vorliegenden Arbeit werden auch solche Stichproben als systematisch bezeichnet, bei denen der Startpunkt eines festgelegten Probenetzes zufällig gewählt wird bzw. ein Probenetz mit festgelegten Abständen zufällig in den Wald gelegt wird.

Die Daten aus systematischen Stichproben werden fast immer mit Formeln für zufällige Stichproben (random sample) ausgewertet. Die Formeln für die Schätzung der Mittelwerte und der Anteile sind bei der systematischen und bei der zufälligen Stichprobe zwar gleich, die ‚Zufallsformel‘ für die Varianzschätzung gilt aber strenggenommen nur für zufällige Stichproben (COCHRAN 1977). Im Gegensatz zu geostatistischen Ansätzen kann für die systematische Stichprobe im Rahmen der Stichprobentheorie keine Varianzschätzung angeboten werden (MANDALLAZ 1993). Berechnungen anhand von Paardifferenzen (ZÖHRER 1980) oder Kreuzdifferenzen sollten angeblich zwar eine bessere Annäherung der Varianzschätzung an die wahre Varianz als bei der Zufallsformel ergeben, letztere wird jedoch am meisten verwendet.

Heute wird überwiegend die Meinung vertreten, dass die Zufallsformel für systematische Stichproben benutzt werden darf. Dies war nicht immer so. Die Benutzung der Zufallsformel bei systematischen Proben wurde als unzulässig betrachtet, weil mit verzerrten Mittelwerten zu rechnen und es fernerhin nicht möglich sei den Standardfehler zu quantifizieren. Heute wird am meistens angenommen, dass bei der systematischen Stichprobe die Zufallsformel die wahre Varianz überschätzt (FINNEY 1948, MEYER 1949b, HALAJ 1960, PRODAN 1955, ZÖHRER 1980). Aus diesem Grund wird die Zufallsformel auch für systematische Stichproben als zulässig betrachtet, weil folglich die berechnete Varianz als sichere Schätzung der wahren Varianz gelten darf. Dass die Benutzung der Zufallsformel bei systematischen Proben einen Bias verursacht, wird damit nicht bestritten. Allerdings besteht bei der systematischen Stichprobe die Gefahr, dass es bei regelmässigen Schwankungen in der Population, die durch wellenförmige Trends verursacht werden (parallel verlaufende Gebirgszüge usw.), zu einer Verzerrung des Mittelwertes und der Varianz kommen kann. Wenn die Trends mit dem Probenetz räumlich übereinstimmen, kann die Zufallsformel die wahre Varianz der systematischen Stichprobe sogar deutlich unterschätzen (SABAROWSKI 1990, ZÖHRER 1980).

## 2.3. Bestandes- und Standortkartierung

### 2.3.1. Bestandeskartierung

#### 2.3.1.1. Allgemeines

Für die klassische Forsteinrichtung im schlagweisen Hochwald ist die Bestandeskarte ein unabdingbares Hilfsmittel. In Kombination mit Angaben aus Ertragstafeln oder aus Waldinventuren dient sie zur Hochrechnung von Vorrat, Zuwachs und anderen dendrometrischen Grössen. Sie ist mehr oder weniger das zentrale Element für die Nachhaltigkeitskontrolle im schlagweisen Wald, bei der die Flächenanteile der Entwicklungsstufen oder Altersklassen mit einem Nachhaltigkeitsmodell verglichen werden.

Im schlagweisen Hochwald werden die Bestände meistens nach ihrer Entwicklungsstufe (Femelschlagbetrieb) oder nach Alter (typisch für Kahlschlagbetrieb) kartiert. Oft erfolgt eine zusätzliche, feinere Unterscheidung nach Mischungstyp oder anderen Merkmalen wie Schlussgrad, Hauptbaumart oder Vitalität. Ziel der Bestandeskartierung ist die Unterteilung der Waldfläche in Bestände, die gleiche Massnahmen (Pfleger) brauchen und/oder die gleichen Leistungen erbringen (z.B. Schutz, Holzproduktion nach Sortimenten).

Für die Bestandeskartierung gibt es keine einheitliche Mindestfläche. Allgemein aber gilt, dass je grösser und wichtiger die Unterschiede zwischen benachbarten Beständen sind, desto kleinere Einheiten sollten ausgeschieden werden (SCHMID-HAAS, FREI, KÖLBL 1985). Die Kartographie setzt allerdings gewisse Grenzen. Der Massstab und die Art der Beschriftung bestimmen die Mindestgrösse der Bestände. Im schweizerischen Mittelland werden meistens Bestandeskarten im Massstab 1:5000 benutzt. Damit die Bestände auf der Karte noch sichtbar und beschriftbar sind, muss eine Fläche mindestens 5 x 10 mm (entspricht 12 Aren) gross sein. Andere Informationen über die Mindestgrösse eines Bestandes ergeben sich aus der Beschreibung der Mischungsform: Erst wenn eine Mischbaumart mehr als 50 Aren einnimmt, spricht man von bestandesweiser Mischung. Kleinere Mischungsformen werden als Horstmischung (10-50 Aren), Gruppenmischung (5-10 Aren) und Truppmischung (<5 Aren) bezeichnet. Unproduktive Flächen sollten bei mehr als 4-6 Aren separat kartiert werden (INSTRUKTION FIO FORSTEINRICHTUNG, KANTON BERN). Diese Regel könnte auch für Kahlflächen oder Jungwüchse angewendet werden.

#### 2.3.1.2. Beschreibung von Plenterbeständen

Im Plenterwald ist es unmöglich, die ungleichaltrigen Bestände nach dem Alter abzugrenzen. Dass die Bestandeskarte im eigentlichen Sinne entfällt, wird von den Anhängern der Plenterung keineswegs als Verlust empfunden (z.B. AMMON 1951). Für die Anwendung der Kontrollmethode wird der Plenterwald in Kontrolleinheiten (Abteilungen) unterteilt, so dass für die Berechnung des Zuwachses und anderer Daten zur Waldentwicklung ein eindeutiger Flächenbezug besteht. Die Einheiten dienen auch als Hilfe bei der Arbeitsorganisation.

Bei der klassischen Kontrollmethode wird eine Bestandeskarte nicht benötigt. Daher gibt es im Plenterwald – im Gegensatz zum Schlagwald – bis heute keine einheitlichen Merkmale zur Bestandeskartierung. Das Plenterwaldgefüge wird meistens durch die Stammzahlverteilung und durch die Vorratsverteilung auf Stärkeklassen beschrieben. Stärkeklassen führen oft zu einer Dreiteilung des Plentergefüges. Ein bekanntes und in der Praxis bewährtes Beispiel ist die Charakterisierung des Bestandaufbaus nach BIOLLEY (1922) durch die Vorratshöhe und die prozentualen Anteile der Stärkeklassen. Auch BALSIGER (1925) teilt für die Beschreibung Emmentaler Plenterwäldern das Plentergefüge in drei Klassen ein. Er benennt sie Hauptbestand (BHD = 36 cm), Nebenbestand (BHD 22-35 cm) und Unterbestand (BHD 12-21 cm). KURTH

(1974) benutzt in seiner Studie über die Wälder des oberen Emmentals eine andere Dreiteilung: Schwachholz (< 30 cm BHD), Mittelholz (30-50 cm BHD) und Starkholz (BHD > 50 cm). MITSCHERLICH (1952) schliesslich teilt das Plentergefüge in Schwachholz (BHD 7-25 cm), Mittelholz (BHD 26-49 cm) und Starkholz (BHD = 50 cm). Alle beschriebenen Teilungen des Plentergefüges basieren auf dem BHD und werden erst nach der Inventur gemacht. Sie erlauben in erster Linie einen besseren und schnelleren Überblick über den Bestandaufbau.

Im baden-württembergischen Schwarzwald wird für die Charakterisierung der Plenterwaldbestände eine Gefügeziffer benutzt (ABETZ 1950). Es handelt sich um eine dreistellige Zahl, bei welcher jede Ziffer eine Gefügekategorie repräsentiert und zugleich bewertet. Die erste Ziffer steht für die Gefügekategorie III (BHD = 50 cm), die zweite Ziffer für die Gefügekategorie II (BHD 26-49,9 cm) und die dritte Ziffer für die Gefügekategorie I (BHD 7-25,9 cm). Ist eine Gefügekategorie gegenüber dem Modell übervertreten, erhält die entsprechende Ziffer den Wert 3, ist sie untervertreten, den Wert 1, entspricht sie in ihrer Ausstattung dem Modell, den Wert 2. Ein ideal aufgebauter Plenterbestand hat nach diesem System die Gefügeziffer 222. Das System ist übersichtlich, leicht nachvollziehbar und kann durch zusätzliche Ziffern für weitere Klassen oder durch zusätzliche Werte beliebig verfeinert werden. Ein Vorteil ist auch die Möglichkeit der quantitativen Auswertung.

LEIBUNDGUT (1945) vertritt eine andere Meinung: „Die Stammzahlverteilung, das Stärkeklassenverhältnis und die Vorratsgrösse vermögen ... die Besonderheiten der Plenterform nur ganz ungenügend zu erfassen. Für den Waldbauer ist die Verteilung der Baumhöhen und der Anteil der einzelnen Baumklassen von viel grösserer Bedeutung“. Der Autor untersuchte gründlich die Unterteilung des Plentergefüges in Höhenklassen und kommt zum Schluss, dass eine Dreiteilung in die Baumklassen Unterstand, Mittelstand und Oberstand weitgehend in den natürlichen Entwicklungsphasen der einzelnen Plenterwaldbäume begründet liegt. Als **Unterstand** bezeichnet er alle Bäume, die überschirmt und in ihrer Entwicklung gehemmt sind. Sie befinden sich, so der Autor, in einem latenten Zustand des Wartens. Für diesen Unterdrückungszeitraum ist die Bildung schmaler Jahrringe typisch, aus welchen der Engkern resultiert. Zum **Mittelstand** gehören Bäume, die in einem Lichtschacht stehen, also Bäume, die nicht mehr überschirmt, sondern nur noch seitlich beschattet werden. Zum **Oberstand** gehören alle Bäume, die in ihrer Entwicklung nicht mehr oder nur noch unmerklich durch Nachbarbäume beeinflusst werden. Obwohl diese Einteilung nach der sozialen Stellung und nicht nach der Höhe erfolgt, wurde eine Beziehung zwischen den Baumklassen und den Höhenklassen nachgewiesen. Ähnliche Untersuchungen stammen von BONČINA (1994) aus dinarischen Plenterwäldern in Slowenien. Auch seine Daten zeigen einen Zusammenhang zwischen der sozialen Stellung und der Höhe. Er benutzt wie LEIBUNDGUT eine Dreiteilung nach der sozialen Stellung und benennt die Baumklassen nach ihrem soziologischen Verhalten treffend als Wartebäume (Unterstand), Sprinterbäume (Mittelstand) und Siegerbäume (Oberstand). Die Definitionen der Baumklassen entsprechen denen von LEIBUNDGUT (1945).

Das bewusste oder unbewusste Ziel von LEIBUNDGUT (1945) bei dieser Einteilung des Plenterwaldgefüges war wahrscheinlich, ein Gegenstück zu den Baumklassen von KRAFT (1888) zu schaffen, die im Plenterwald nicht richtig eingesetzt werden können. Die Arbeit kann als eine Weiterentwicklung der Baumklassen nach SCHÄDELIN (1931) gelten, weil auch er zur Beschreibung dreistellige Zahlen benutzt. Der Unterschied ist, dass bei LEIBUNDGUT nicht nur eine Zahl, sondern zwei dreistellige Zahlen zur Beschreibung des Baumes dienen. Die erste Zahl beschreibt soziologische und biologisch-dynamische Gesichtspunkte, wobei die Hunderterstelle für die Höhenklasse bzw. für die soziologische Stellung steht, die Zehnerstelle für die Vitalität und die Einerstelle für die Entwicklungstendenz des Baumes. Die zweite dreistellige Zahl repräsentiert waldbauliche und ökonomische Gesichtspunkte.

Die Arbeit LEIBUNDGUTS (1945) kann auch als Grundstein zur späteren IUFRO-Klassifikation bezeichnet werden. Sein erster Vorschlag für die Baumklassenbildung in ungleichaltrigen, ungleichförmigen und mehrschichtigen Beständen wurde 1953 beim IUFRO-

Kongress in Rom gutgeheissen<sup>3</sup>. Die Beschreibung der soziologischen Stellung basiert auf der oben erwähnten Untersuchung (LEIBUNDGUT 1945) und benutzt erstmals die Höhe als entscheidenden Faktor bei der Baumklassenbildung. Folgende Unterteilung nach der soziologischen Stellung wurde vorgeschlagen:

- Oberstand: am oberen Kronenschirm teilnehmend (100);
- Mittelstand: mindestens die halbe mittlere Höhe des Oberstandes erreichend (200);
- Unterstand: weniger als die halbe mittlere Höhe des Oberstandes erreichend (300).

Der Vorschlag wurde auf dem IUFRO-Kongress 1956 in Oxford leicht verändert und schliesslich zur offiziellen, noch heute gültigen IUFRO-Baumklassifikation erhoben. Sie erwähnt nicht mehr die soziologische Stellung, sondern die Schichtzugehörigkeit (Höhenklassen). Die Begriffe Ober-, Mittel- und Unterstand wurden durch die Begriffe Ober-, Mittel- und Unterschicht ersetzt. Die Definition wurde vereinfacht und erfolgt ausschliesslich nach der Baumhöhe:

Oberschicht	= 100 : Baumhöhe $\frac{2}{3}$ - $\frac{3}{3}$ der Oberhöhe des Bestandes
Mittelschicht	= 200 : Baumhöhe $\frac{1}{3}$ - $\frac{2}{3}$ der Oberhöhe des Bestandes
Unterschicht	= 300 : Baumhöhe weniger als $\frac{1}{3}$ der Oberhöhe des Bestandes.

Unsicherheiten bestehen bezüglich der Definition der Oberhöhe. In einer IUFRO-Publikation (SOEST et al. 1959) wurde die Oberhöhe  $h_{\text{dom}}$  definiert als „Durchschnittshöhe der herrschenden Stammklasse, gelegentlich als ‚Oberhöhe‘ bezeichnet“. Bei Untersuchungen solle der Begriff genauer umschrieben werden.

In der Schweiz ist die Oberhöhe meistens das arithmetische Mittel der Höhe der 100 stärksten Bäume je ha. Im ausgeglichenen Plenterwald im Emmental, der als starkholzreich gilt, gibt es aber in der Oberschicht oft weniger als 100 Bäume pro ha. Damit würde das arithmetische Mittel der 100 stärksten Bäume je ha im günstigsten Fall die mittlere Höhe der Oberschicht, nicht aber die Oberhöhe ergeben. Ähnlich sieht es mit der Durchschnittshöhe der herrschenden Klasse aus, obwohl das Resultat hier viel eher dem Gewünschten entspricht. Es zeigt sich, dass die IUFRO-Klassifikation für solche Fälle nicht eindeutig und streng genommen auch nicht richtig ist. Gemäss dem Sinn der Klassifikation könnte die Oberhöhe als arithmetisches Mittel der Höhen von reifen herrschenden Bäumen definiert werden. ZINGG (1994) hat versucht, die Unklarheiten um den Begriff Oberhöhe in plenterartigen Beständen zu beseitigen.

Obwohl die Unterteilung nach der Höhe oder den damit korrelierenden Stärkeklassen einen gewissen Zusammenhang mit der Unterteilung nach der sozialen Stellung hat, sind sie in keinem Fall identisch. Jede Unterteilung ergibt eine andere Information mit einer anderen Qualität. In der Praxis konnte sich nur die Dreiteilung nach der Höhe durchsetzen, weil sie einfach anwendbar ist. Die Unterteilung nach der sozialen Stellung liefert zwar wertvolle Informationen, aber sie kann wegen des grossen Aufwandes nur bei wissenschaftlichen Arbeiten durchgeführt werden. Zu beachten ist, dass die Bäume ihre Klassifizierung nicht unbedingt für immer behalten. Ob ein Baum eine herrschende Position behält oder sozial absteigt, hängt auch vom Kronenwachstum der Nachbarbäume ab. Dagegen wechselt bei der Einteilung nach der Höhe ein Baum kaum in eine tiefere Schicht: Er kann nur in der gleichen Schicht bleiben oder in die höhere einwachsen.

Im plenterartigen Beständen könnte die Grenze Mittelschicht/Unterschicht bei 12 m eingesetzt werden, statt  $\frac{1}{3}$  der Oberhöhe. Diese 12 m findet man in verschiedenen Untersuchungen, die sich mit dem Zusammenhang zwischen Höhe und Alter im Plenterwald befassen (FLURY 1929, SOMMER 1962, INDERMÜHLE 1978). Wie diese Studien gezeigt haben, ist ab etwa 12 m Höhe, unabhängig vom Wachstum in der Jugendphase und unabhängig

<sup>3</sup> Congrès IUFRO ROME 1953, S. 150-151 und 611 – 617.

vom Standort, ein gleichartiger Höhenwachstumsverlauf festzustellen: Nach dem Verlassen der Unterschicht (12 m) verlaufen die Höhenkurven (Höhe über Alter) von Bäumen unterschiedlich langer Unterdrückungszeit ähnlich. Die Zeit des Baumwachstums ab 12 m Höhe wird von FLURY (1929) auch als „Wachstumsalter“ bezeichnet, ein Begriff, der aus seinen Versuchen über die Bonitierung des Plenterwaldes stammt.

### 2.3.1.3. Bestandeskartierung bei Kontrollstichproben

Mit der Einführung der Kontrollstichprobe wurde die Bestandeskartierung auch im Plenterwald aktuell. Informationen für kleinere räumliche Einheiten als den ganzen Forstbetrieb bedingen eine Stratifizierung. Ein positiver Nebeneffekt der Stratifizierung ist meist eine Senkung des Stichprobenumfangs, denn die mit der Stratifizierung einhergehende Reduktion des Standardfehlers führt zu einer geringeren Anzahl aufzunehmender Proben. Obwohl im Plenterwald die Bestandeskarte nicht nach den gleichen Merkmalen wie im gleichförmigem Wald hergestellt werden kann, bestehen Ähnlichkeiten. Beide Betriebsarten benötigen eine Bestandesausscheidung nach Baumartenanteilen bzw. Mischungsgrad. Dagegen ist die Ausscheidung nach dem Bestandaufbau ganz unterschiedlich.

Die beiden heute verwendeten Kartierungsschlüssel im Kanton Bern (Tabellen 4 und 5) sind eine Weiterentwicklung dieses Schlüssels. Sie wurden an örtliche Gegebenheiten angepasst und haben damit ihre Allgemeingültigkeit verloren. Die Bestandesausscheidung basiert auf einer Kombination von Merkmalen, die vom Standort, vom Bestandaufbau und von der Baumartenmischung abhängig sind. Beim Bestandaufbau ist besonders der Anteil des Starkholzes wichtig, bei der Baumartenmischung der Anteil von Nadel- und Laubholz. Der Standort widerspiegelt sich meistens nur grob durch die topographische Lage.

**Tab. 3:** Ausscheidung von Bestandestypen im Plenterwald nach Schmid 1967 und Rhody 1969.

Typ	Beschreibung
712	Plenterwald mit vorwiegend mittleren Stärkeklassen, normal geschlossen, Fichte
714	Plenterwald mit vorwiegend mittleren Stärkeklassen, locker, Fichte mit kleinem Tannen- und Laubanteil
721	Starkholzreicher Plenterwald, geschlossen, Fichte und Tanne, sehr kleiner Laubanteil
722	Plenterwald mit vorwiegend mittleren Stärkeklassen, normal geschlossen, FI und TA sehr kleiner Laubanteil
723	Starkholzreicher Plenterwald, Fichte und Tanne, locker, sehr kleiner Laubanteil
734	Plenterwald mit vorwiegend mittleren Stärkeklassen, locker, Fichte und Tanne, kleiner Laubanteil
714	Plenterwald mit mittleren und schwachen Stärkeklassen, aufgelockert, Fichte, Tanne und Buche

Die beiden Kartierungsschlüssel gruppieren ähnliche Bestandesstrukturen und bewirken dadurch eine Stratifizierung. Über die Unterschicht, den Jungwuchs und teilweise auch über die Mittelschicht geben sie aber keine oder nur unvollständige Informationen. Auch eine Quantifizierung einzelner Schichten und die Analyse von Zusammenhängen zwischen den Schichten ist mit dieser Bestandeskartierung schwierig. Bei der Forstinspektion Mittelland wurden zudem unterschiedliche Kartierungsschlüssel für Femelschlag und Plenterwald benutzt, was bei gleichzeitigem Vorkommen beider Betriebsarten in einem Betrieb zu einer Erhöhung der Anzahl der Straten, zu einer kleinen Probeanzahl pro Stratum und damit zu grösseren Standardfehlern führt.

**Tab.4:** Ausscheidung von Bestandestypen im Plenterwald bei der ehemaligen Forstinspektion Mittelland – Kanton Bern. (Quelle – Wirtschaftsplan Toppwald.)

Typ	Beschreibung
<b>7xx</b>	<b>Plenterwald</b>
71x	Nadelholzanteil > 80%
72x	Nadelholzanteil < 80%
710, 720	Vielschichtiger oder stufiger, starkholzreicher Plenterwald; Überschuss an Bäumen mit BHD > 40 cm; Nachwuchs z.T. wegen Lichtmangel beeinträchtigt.
711, 721	Vielschichtiger oder stufiger, starkholzarmer Plenterwald; wenig Bäume mit BHD > 40 cm; reichlich Nachwuchs vorhanden.
712, 722	Vielschichtiger oder stufiger Plenterwald in Steilhanglagen, Runsen, Gräben und Felsgebieten; geringere Bestandesdichte, häufig mit Lücken, dadurch mehr lichtbedürftige Baumarten (Ei, Ah, Fi); zu grosse Durchmesser wegen erschwelter Holzernte nicht erwünscht.
713,723	Meist zweischichtiger, starkholzarmer Überführungswald mit dichtem Schlussgrad, wenig Bäume mit BHD > 40 cm.
714, 724	Meist zweischichtiger, starkholzreicher Überführungswald mit normalem Schlussgrad, viel Bäume mit BHD > 40 cm; wenig Nachwuchs.
715, 725	Meist zweischichtiger Überführungswald mit lockerem bis lückigem Schlussgrad, z.T. entstanden durch Windfall, Rutschungen etc.; Tendenz zur Gleichförmigkeit.
716, 726	Meist einschichtige, gleichförmige Baumhölzer mit BHD > 30 cm.
717, 727	Meist einschichtige, gleichförmige Stangenhölzer und schwache Baumhölzer mit BHD < 30 cm.
718, 728	Gleichförmiger Jungwald im Jungwuchs- oder Dickungsstadium.
007	Blössen im Wald, vorübergehend nicht bestockter Waldboden

**Tab. 5:** Ausscheidung von Bestandestypen im Plenterwald. Ehemalige Forstinspektion Oberland – Kanton Bern. Quelle Forstinspektion Oberland - Forsteinrichtung.

Typ	Beschreibung
<b>700</b>	<b>Plenterwald:</b> mind. 3 Stufen, u.a. Nachwuchs (Jungwuchs-Dickungsstadium) und Mittelstand mit Chancen zum Aufwachsen in die Oberschicht. Nicht-Plenterwald gehört zu den übrigen Typen (z.B. 600, 400)
40	auf Plateau / am mässig geneigten bis mittelsteilen Hang, mit hohem Weissstannenanteil; dauernd hoher Vorrat und Starkholzanteil möglich
50	am Steilhang, auf stark kupiertem Standort oder auf deutlich laubholzfördernder Unterlage, hoher bis mittlerer Tannen-Anteil, i.d.R. dauernd etwas lockerer, nicht überall oder nicht dauernd so hoher Vorrat und Starkholzanteil wie in 40 möglich.
60	auf Felsen, in Gräben oder Runsen, schon von Natur aus zur Stufigkeit neigend, i.d.R. mit mehr Fichte/Laubholz, i.d.R. ohne Möglichkeit der Starkholzproduktion; Vorrat dauernd gering bis mittelhoch.
1	annähernd ideal aufgebaut, gut ausgeformt, Gleichgewicht auf kleinen Teilflächen vorhanden (genug Nachwuchs, Mittelstand und Starkholz).
2	nicht ideal aufgebaut, deutliches Übergewicht/Mangel in einer Stufe (nähere Bezeichnung siehe Buchstaben).
3	Überführungsbestand (fortgeschritten, siehe unter 7xx), i.d.R. reich an Baumholz und arm an Jungwuchs oder „Latten“ (8-20 cm BHD).
Zusatzbuchstaben	
- : wenig, zu wenig	J : Jungwuchs – Dickungsklasse
+ : viel, zu viel	L : „Latten“, geringer Mittelwuchs, ca. 8-20 cm BHD
	B : „Baumholz“, stärkerer Mittelwuchs, ca. 24-40 cm BHD
	S : Starkholz, ab ca. 52 cm BHD

In einer Studie über die plenterartigen Bestände im oberen Emmental benutzt KURTH (1974) eine ähnliche Stratifizierung wie die ehemalige Forstinspektion Mittelland im Kanton Bern. Er unterscheidet drei Plentertypen (1: starkholzreich; 2: starkholzarm; 3: Runsentyp) und drei Überführungstypen (4: starkholzreich; 5: starkholzarm, 6: andere Typen). Der Unterschied zwischen Plenterwald und Überführungswald ist unklar definiert. Man kann aber vermuten, dass Bestände mit drei Schichten als Plentertypen und Bestände mit nur zwei Schichten als Überführungstypen angesprochen wurden. Für die Feineinteilung ist wieder das Starkholz das wichtigste Merkmal. Auch diese Stratifizierung enthält ein besonderes Standortsstratum, welches die Bestände an steilen Bacheinhängen zusammenfasst (Typ 3: Runsentyp). Der Typ sagt aber nichts darüber aus, ob diese besondere Bestandesform allein vom Standort oder auch von einer besonderen Art der Bewirtschaftung abhängig ist.

### 2.3.2. Standortskartierung

Der Standort hat einen entscheidenden Einfluss auf die Waldstruktur. Alle zu erhebenden Grössen sind in erster Linie vom Standort abhängig. Grundsätzlich kann ein Standort stichprobenweise oder flächendeckend erfasst werden. Eine flächendeckende Kartierung ist üblich, weil sie zugleich Grundlage für z.B. waldbauliche Entscheidungen sein soll. In der Schweiz basieren die meisten Standortskartierungen auf der Arbeit von ELLENBERG UND KLÖTZLI (1972) (KLÖTZLI 1995). Verschiedene Kartierungs- bzw. Anwenderschlüssel können als ihre Verfeinerung und Ergänzung angesehen werden.

Die Theorie der Kontrollmethode fordert, dass die Kontrolleinheiten bzw. Abteilungen dem gleichen Standort angehören (BIOLLEY 1922). In der Realität stocken die heutigen Plenterwälder meist auf sehr kupiertem Gelände mit einer mosaikartigen Verteilung der Standorte. Abteilungen umfassen oft sehr verschiedene Standorte und sind deshalb selten einheitlich. Dieser Umstand erschwert die Analyse des Plentergefüges und lässt sie oft fragwürdig erscheinen. Eine Verbesserungsmöglichkeit ist, bestehende Standortskartierungen für die Stratifizierung zu nutzen. Da Standorte sich relativ langsam ändern und eine Revision der Kartierung meist erst nach 50 oder mehr Jahren erforderlich ist, sind Standortsstraten als Kontrolleinheiten hervorragend geeignet.

Ob die Stratifizierung nach dem Standort eine Plenterwaldinventur verbessern kann, wurde bislang nicht untersucht. KELLER ET AL. (1986) sind der Frage für den schweizerischen Femelschlag nachgegangen. Sie geben folgende Empfehlungen:

- Für je etwa 100 Stichproben ist ein Standortsstratum zu bilden. Wird die Inventur zusätzlich zu den stratifizierten Bestandestypen nach Standortsstraten ausgewertet, werden Genauigkeit und Aussagekraft der Inventur verbessert.
- In tieferen Lagen werden die Standortseinheiten gemäss der pflanzensoziologischen Systematik zusammengefasst. In höheren Lagen (obermontane und subalpine Stufe) führt dies nicht zu optimalen Lösungen. Hier sind die Standortseinheiten der Bonität entsprechend zusammenzufassen.
- Eine grobe Wuchszonengliederung allein aufgrund von Kartenunterlagen (Landeskarte, Geologische Karte) ist keine taugliche Planungsgrundlage.
- Die kleinsten kartierten Flächen sollten in ihrer Breite der Höhe der Altbestände entsprechen.

## 2.4. Informationsbedarf

### 2.4.1. Unterschiedlicher Informationsbedarf von Kontrollmethode und klassischer Forsteinrichtung

Als Informationsbedarf wird die als erforderlich und hinreichend erachtete Menge an Informationen bezeichnet, die ein Aufgabenträger für die Lösung einer Aufgabe benötigt. Sie kann vom Informationsbedürfnis des Aufgabenträgers abweichen (FEGHHI 1998). Informationsbedarf kann als objektiv erforderliche Menge Informationen für eine Aufgabenlösung betrachtet werden und Informationsbedürfnis als subjektiv erforderliche Menge. Mit der Änderung von Aufgaben (z.B. Waldfunktionen erhalten andere Prioritäten) kann sich auch der Informationsbedarf stark ändern. Im Folgenden wird nur der Informationsbedarf bei der Produktionsfunktion des Waldes betrachtet. Als Hauptziel (Aufgabe) der Produktion kann die maximale nachhaltige Holzerzeugung bezeichnet werden.

Der Informationsbedarf im Plenterwald unterscheidet sich von demjenigen im gleichaltrigen Wald. Der Grund ist, dass die Kontrollmethode eine induktive Methode der forstlichen Planung ist und sich damit von den deduktiven „klassischen“ Methoden unterscheidet, die für gleichförmige Wälder angewandt werden. Die deduktiven Methoden geben als Ziel einen Idealzustand vor, der aus Ertragsstafel, Umtriebszeit, Bonität und Bestockungsgrad abgeleitet wird. Die Kontrollmethode dagegen gibt keinen Idealzustand vor, sondern versucht ihn auf dem Wege der Erfahrung zu erreichen. Zwar gibt es auch für den Plenterwald Modellvorstellungen (Abschnitt 2.1.3.), die bei der Nutzungsplanung eine ähnliche Funktion haben wie die Modelle für gleichaltrige Wälder, sie liefern aber keine festen und unveränderlichen Zahlen, sondern sind nur eine Hilfe bei der Suche nach einem idealen Zustand. Die Modellvorstellungen werden ständig durch Inventuren überprüft und können sich infolge neuer Erkenntnisse ändern.

Beim Informationsbedarf für die **klassische Forsteinrichtung** spielen Zustandsdaten wie Vorrat, Stammzahl, Baumartenanteil, Alter und Bestockungsgrad die Hauptrolle. Der Vergleich dieser Daten mit den Daten des Modells führt zur Entscheidung über das weitere Vorgehen im Wald. Dagegen haben die Entwicklungsdaten (z.B. Zuwachs) bei der Planung nur informativen Charakter, sie beeinflussen das geplante Vorgehen im Wald wenig. Sie werden nicht direkt aus Inventuren ermittelt, sondern über Ertragsstafeln abgeleitet.

Bei der **Kontrollmethode** werden nur wenige Zustandsdaten mit Modellvorstellungen verglichen. Insgesamt spielen die Zustandsdaten eine weniger bedeutende Rolle, und sie werden meist in einer anderen Form als bei der klassischen Forsteinrichtung benötigt. Wichtige Daten sind z.B. die Vorratshöhe und die Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen, von der die klassische Forsteinrichtung fast keinen Gebrauch macht. Ein Beispiel für eine abgeleitete Größe ist die Ausgangsstammzahl, d.h. die Stammzahl in der untersten Durchmesserstufe, welche für die Nachhaltigkeitskontrolle erforderlich ist. Die klassischen Zustandsdaten wie Alter und Bestockungsgrad spielen bei der Kontrollmethode keine Rolle. Dagegen kommt den Entwicklungsdaten eine hohe Bedeutung zu. Sie dienen in erster Linie der Überprüfung und gegebenenfalls der Korrektur der Modellvorstellungen. Entscheidende Größen für die Nutzungsplanung sind Zunahme und Vorratshöhe. Bei der Kontrollmethode ist der Informationsbedarf insgesamt kleiner als bei der klassischen Forsteinrichtung, weil weniger Größen (Informationen) für Nutzungsplanung und Nachhaltigkeitskontrolle benötigt werden. Dagegen sind die Ansprüche an die Genauigkeit und auch an die Form von Informationen (z.B. Werte für einzelne Durchmesserstufen) in der Regel höher.

### 2.4.2. Informationsbedarf für ein Plenterwaldmodell

SCHÜTZ hat seine Vorstellungen (Kapitel 2.1.3.4.) in einem ausgereiften Plenterwaldmodell formuliert. In der vorliegenden Arbeit dient dieses Modell dazu, den Informationsbedarf zu bestimmen.

Die optimale Stammzahlverteilungskurve ist das wichtigste Hilfsmittel, den optimalen Plenterzustand zu charakterisieren. Sie wird mit Hilfe von Einwuchsrate und Nutzungsrate ermittelt. Eine wichtige Rolle bei den Modellvorstellungen über den Plenterwald spielen auch die Beziehungen zwischen der Ausgangsstammzahl, der Einwuchsrate und der Vorratshöhe.

Die Einwuchsrate wird aus dem Stärkezuwachs abgeleitet. Er sollte mindestens für Durchmesserstufen von vier oder fünf Zentimetern berechnet werden. Stufen von einem Zentimeter sind wegen der geringeren Fehler vorteilhaft. Die Nutzungsrate pro Durchmesser- bzw. Zentimeterstufe wird meist empirisch ermittelt. Theoretisch besteht zwar die Möglichkeit, sie nach den Wünschen des Bewirtschafters zu steuern, praktische Beispiele liegen aber nicht vor.

Besondere Bedeutung für die Lage der Stammzahlverteilungskurve und für die Höhe des optimalen Vorrates hat die Ausgangsstammzahl (Anfangsstammzahl nach BACHOFEN 1999). Unterschiedliche Ausgangsstammzahlen führen in Verbindung mit gleichbleibenden Einwuchs- und Nutzungsraten zu unterschiedlichen Gleichgewichtszuständen. Diese theoretisch möglichen Plentergleichgewichte unterscheiden sich durch die Lage ihrer Stammzahlverteilungskurve und durch ihre Vorratshöhe. Ein Vergleich mit empirischen Daten ermöglicht, ein für den jeweiligen Standort und für die vorhandene Baumartenmischung zutreffendes und gewünschtes Plentergleichgewicht auszuwählen. Anhand des gewählten Plentergleichgewichts können die optimale Vorratshöhe und die optimale Ausgangsstammzahl ermittelt werden und die Nutzungen müssen dem Zuwachs des Gleichgewichts entsprechen.

Ändert sich die Bestandesdichte (Vorratshöhe), ändern sich auch die Einwuchsraten des Modells und mit ihnen alle anderen Grössen. Daraus ist ersichtlich, dass auf einem Standort viele Gleichgewichtszustände möglich sind, die sich in ihren Einwuchs- und Nutzungsraten, in ihrer Vorratshöhe und in ihrer Ausgangsstammzahl unterscheiden. Weil diese Daten aus empirisch ermittelten Werten errechnet werden, die sich laufend ändern, ist die Bestimmung des Gleichgewichts (Modellvorstellung) ein immerwährender Prozess.

LEIBUNDGUT (1953) fordert, die Berechnungen für jede Baumart und für jeden Standort durchzuführen. Bei Baumarten, die mit nur wenigen Individuen vertreten sind, ist für die Berechnung eine Gruppierung unumgänglich. Im Tannen-Fichten-Buchen- Plenterwald werden oft Fichte und Tanne oder alle Laubbaumarten zusammengefasst. Eine einfache Regel besagt, dass diese Gruppierung umso zweckmässiger ist, je kleiner die Unterschiede zwischen den zusammengefassten Baumarten hinsichtlich des Wachstums oder der Form sind.

### 2.4.3. Informationsbedarf für die Zustandsbeurteilung

Bei der Kontrollmethode ist es schwierig, die Informationen zur Beurteilung des Waldzustandes eindeutig von denjenigen Informationen abzugrenzen, die für die Ausarbeitung des Modells benötigt werden. Die gewonnenen Daten über den Bestand dienen zwar in erster Linie einem Vergleich des aktuellen Zustandes mit einer Modellvorstellung, welcher erlaubt, die zukünftige Bewirtschaftung auf das Ziel „Plentergleichgewicht“ auszurichten. Die Daten können aber auch neue, der Modellvorstellung widersprechende Erkenntnisse bewirken und damit eine Korrektur des Modells hervorrufen.

Die Beurteilung des Zustandes beruht in der ersten Linie auf der Stammzahlverteilungskurve. Aus ihr können weitere Grössen wie Vorrat, Vorratsverteilung nach Stärkeklassen, Stammzahl und Mittelstamm abgeleitet werden. Von hoher Bedeutung, insbesondere für die Überprüfung

der Modellvorstellung, sind auch Entwicklungsdaten wie Zuwachs, Einwuchs und Nutzung, welche zumindest für die einzelnen Stärkeklassen ermittelt werden sollten. Auch die Vorratsveränderung, die sich aus zwei Inventuren ergibt, ist eine wichtige Grösse. Sie informiert über die bisherige Bewirtschaftung und deren Richtung. Wenn möglich sollten alle genannten Grössen für alle Baumarten und Standorte getrennt ermittelt werden. Sofern dies nicht sinnvoll erscheint oder nicht möglich ist, gilt auch hier die Regel, dass diese Gruppierung umso zweckmässiger ist, je kleiner die Unterschiede zwischen den zusammengefassten Baumarten oder Standorten hinsichtlich des Wachstums oder der Form sind.

#### 2.4.4. Ansprüche an die Genauigkeit der Informationen

Das Mass für die Genauigkeit der Kontrollstichprobe ist der Standardfehler; er gibt den Grad der Zuverlässigkeit der Information an (HINRICHS ET AL. 1993). In der Literatur werden teilweise unterschiedliche Begriffe verwendet, was gewisse Verwirrung verursacht. Der Standardfehler wird auch als Fehler des arithmetischen Mittelwertes, als statistischer Fehler, als repräsentativer Fehler oder als Genauigkeit bezeichnet. Einige diese Begriffe werden auch als Bezeichnung für Vertrauensintervall benutzt, was die Verwirrung noch vergrössert.

Bei Bestandesinventuren beziehen sich die Anforderungen an die Genauigkeit der Information meist nur auf den Vorrat und den Volumenzuwachs. Genaue Angaben über die geforderte Genauigkeit finden sich, insbesondere in neueren Publikationen, äusserst selten. Der Grund ist, dass die Genauigkeit einer Inventur in einem direkten Zusammenhang zu den Kosten einer Inventur steht und in der Praxis die Genauigkeit einer Inventur aktuell mehr von dem verfügbaren Mittel als von der geforderten Genauigkeit bestimmt wird.

Nach MEYER (1934) kann bei sorgfältiger Durchführung mit der Vollkluppierung ein Fehler des Vorrates von 0,5 bis 1,8 % erreicht werden. PRODAN (1965) gibt für Vollkluppierungen einen Fehler von 1,5 bis 3% an, was ungefähr einer Genauigkeit (Vertrauensintervall) von 5% entspricht. Nach HALAJ (1960) kann unter dem Wert von 5% nicht mehr überprüft werden, welches Resultat (Vollkluppierung oder Stichprobe) dem wahren Wert näher liegt. Daher könne von einer statistischen Stichprobeninventur keine grössere Genauigkeit als 5% gefordert werden. Es muss betont werden, dass HALAJ, PRODAN und MEYER in ihren Untersuchungen nur bestandesweise Inventuren meinen.

Für die Genauigkeit der Schätzung des Vorrates werden Werte zwischen 5% (PRODAN 1965, PARDÉ 1956, SPEIDEL 1972), 7 bis 8% (HALAJ 1960) und 10% (RICHTER ET AL. 1953) genannt. Auch KRAMER und AKCA (1987) fordern für bestandesweise Holzvorratsdaten einen Standardfehler von 5 bis 10%. Der schweizerische Arbeitskreis für Forsteinrichtung stellt fest, dass in der Praxis unter günstigsten Bedingungen mit einem minimalen Fehler von  $\pm 5\%$  gerechnet werden kann. Unter ungünstigen Bedingungen kann dieser Fehler aber auf über  $\pm 30\%$  ansteigen (FEGHHI 1998).

Ein Volumenzuwachs, dessen Fehler grösser als  $\pm 10\%$  ist, ist für praktische Zwecke unbrauchbar (MEYER 1934, PRODAN 1965). FEGHHI (1998) stellt nach einer Befragung von Leitern von schweizerischen Forstbetrieben fest, dass die genannten Anforderungen an die Genauigkeit (Standardfehler) der Inventurdaten 5 bis 10% (Volumenzuwachs), 10 bis 15% (Vorrat, Stammzahl) und  $< 5\%$  bis 15% (Nutzung) betragen.

Ein weiterer Aspekt zuverlässiger Auswertungen ist neben dem Standardfehler auch die Mindestzahl der Proben pro Stratum. Für statistisch abgesicherte Schätzwerte müssen nach COCHRAN (1977) mindestens 20 Proben auf ein Stratum entfallen. TZSCHUPKE (1991) rechnet mit 50 Proben für ein Stratum. Der Autor strebt jedoch einen Standardfehler von unter 5% an. FISCHER (1993) betrachtet aufgrund seiner Auswertungen Schätzungen als zuverlässig, wenn die betreffenden Straten mindestens 30 Proben enthalten.

## 3. Methoden und Material

### 3.1. Optimierung des Stichprobendesigns

#### 3.1.1. Allgemeine Bemerkungen

Optimierung eines Stichprobenverfahrens bedeutet, einen Kompromiss zwischen hoher Genauigkeit der Stichprobe und geringen Kosten zu finden. Weil in der Regel für jede geschätzte Zielgrösse (Stammzahl, Vorrat, Zuwachs usw.) ein anderes Stichprobenverfahren optimal geeignet ist, besteht der zweite Schritt in der Auswahl eines optimalen Stichprobenverfahrens für alle zu schätzenden Grössen (KÖHL 1994). Bei der Entscheidung hat jede Zielgrösse entsprechend ihrer Bedeutung ein unterschiedliches Gewicht. Die Suche nach optimalen Verfahren für alle Zielgrössen wird in dieser Arbeit nicht behandelt.

Die Suche nach dem optimalen Stichprobenverfahren für eine Zielgrösse besteht darin, den Probetyp, die Probeflächengrösse, die Kluppschwelle sowie das Seitenverhältnis im Stichprobennetz zu bestimmen. Letzteres stellt einen Sonderfall dar, bei welchem die Waldfläche und die Waldform bekannt sein müssen. Für unterschiedliche Waldgebiete können unterschiedliche Seitenverhältnisse optimal sein, auch wenn die einzelnen Bestände sich nicht unterscheiden. Die übrigen Merkmale dagegen (z.B. Probetyp, Probefläche) sind allgemein gültig. Sie gelten bei gleicher Bestockung überall.

Der Aufwand für die Planung und die Auswertung der Stichprobe sollte bei der Entscheidung über das Stichprobenverfahren berücksichtigt werden. Für die vorliegende Arbeit wird vereinfachend angenommen, dass alle Verfahren ungefähr den gleichen Aufwand verursachen. Eine weitere Beschränkung dieser Arbeit betrifft die untersuchten Probetypen: Es wurden nur einfache konzentrische Kreisproben untersucht. Traktstichproben, Winkelzählproben oder andere Verfahren sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Zum Stichprobendesign können auch die Methode der Auswahl der Bäume und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit gezählt werden. Obwohl die theoretisch korrekte Methode leicht aus statistischen Grundsätzen abgeleitet werden kann, werden aus praktischen Gründen Methoden angewandt, die von der theoretisch richtigen Methode leicht abweichen. Wie gross die Abweichung bzw. die Verzerrung dieser Methoden ist, soll in dieser Arbeit an durchgeführten Pilotinventuren gezeigt werden.

Bei der Bestimmung des optimalen Stichprobendesigns in dieser Arbeit spielen Resultate aus dem Simulationsprogramm FIESTA (Kapitel 3.1.2.) eine zentrale Rolle. Mit FIESTA wird die Varianz geschätzt, die für die Optimierung von Probetyp, Probeflächengrösse und Seitenverhältnis im Stichprobennetz notwendig ist. Die Resultate dienen auch zur Untersuchung von Unterschieden zwischen systematischen und zufälligen Stichproben. Die optimalen Kluppschwellen und Kreisverhältnisse (konzentrische Proben) liefert ein an der Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich entwickeltes Programm. Die bei der Optimierung benutzten Angaben zum Zeitaufwand sind aus Messungen in den Untersuchungsgebieten abgeleitet (Kapitel 3.2.). Die unterschiedlichen Methoden zur Auswahl der Bäume und zur Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit werden nur für die untersuchten Objekte verglichen.

### 3.1.2. Das Simulationsprogramm FIESTA

Ein optimales Stichprobendesign setzt voraus, dass mehrere Bedingungen erfüllt sind: Zum einen sind genaue Kenntnisse in Beziehung zwischen geschätzter Varianz und Probetyp, Probeflächengrösse, Probenetz usw. erforderlich. Zu diesem Zweck könnten für eine bestimmte Population bzw. in einem bestimmten Wald zahlreiche Stichproben für alle möglichen Kombinationen von Probetypen, Probeflächengrössen usw. durchgeführt werden – ein Vorhaben, welches aus praktischen und finanziellen Gründen kaum durchführbar ist. Eine weitere Bedingung ist, dass für eine Analyse der einzelnen Stichproben der wahre Wert der Population bekannt sein muss – was durch eine zusätzliche Vollaufnahme zumindest teilweise erreicht werden könnte. Es kommt hinzu, dass aussagekräftige Resultate erst durch eine mehrmalige Wiederholung einer Stichprobe mit gleichen Parametern (mindestens 500 Stichproben) erzielt werden können. Die Aussagen machen deutlich, dass die Bedingungen kaum erfüllt werden können.

Ein Ausweg aus dieser Situation ist die Verwendung von Simulationsprogrammen: Unter der Leitung von PD DR. DANIEL MANDALLAZ wurde an der Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich das Programm FIESTA (YE 1997) entwickelt. Mit ihm können im Unterricht Probleme der Waldinventur gezeigt und diskutiert werden. Auf dem Gebiet der Stichprobentheorie hilft das Programm, wissenschaftliche Fragen zu beantworten. Mit dem Programm können Stichproben in realen und in „virtuellen“ Wäldern durchgeführt werden. Die wahren Werte sind bekannt, so dass Vergleiche mit den Schätzungen möglich sind.

Das Programm erlaubt verschiedene Probetypen und Berechnungsverfahren zu simulieren: Es können einphasige und zweiphasige Inventuren simuliert werden und es bietet die Wahl zwischen einfachen Kreisproben, konzentrischen Kreisproben (zwei oder drei Kreise) und der Winkelzählprobe. Die Probeflächengrösse, die Kluppschwellen und der Zählerfaktor (Winkelzählprobe) können beliebige Werte annehmen. Bei konzentrischen Proben kann die Probegrösse und die Kluppschwelle für jeden Kreis separat eingegeben werden. Bei der Simulation von Traktstichproben sind die Anzahl der Proben im Trakt, ihre Grösse und ihre Geometrie frei bestimmbar. Das Programm berechnet automatisch die Aufnahmewahrscheinlichkeit eines Baumes. Das Ausschalten dieser Funktion bietet die Möglichkeit zu untersuchen, wie sich die Schätzungen verändern, wenn die Aufnahmewahrscheinlichkeit bzw. Probleme am Rand der Stichproben nicht berücksichtigt werden.

Das Programm ermöglicht die Simulation sowohl zufälliger als auch systematischer Stichproben: Bei zufälligen Stichproben ist die Probedichte frei wählbar, während bei systematischen Stichproben das Stichprobenetz definiert werden muss. Die Orientierung des Probenetzes kann zufällig oder fest sein, der Ursprung ist zufällig definiert.

### 3.1.3. Simulationswald

Für die Erzeugung des sogenannten Simulationswaldes wurden die Daten von Plenterwald-Versuchsflächen (PWVF) der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL) benutzt. Die Auswertung basiert auf mehreren Aufnahmen der PWVF (Tabelle 6), die alle im oder am Rand des für die Plenterung bekannten Emmentals (Kanton Bern) liegen. Ihre Flächengrösse liegt zwischen 1,14 und 3,01 ha. Aus allen Daten von PWVF werden weiter für die Simulation im Programm FIESTA die X- und Y-Koordinaten (in dm), die Brusthöhen-durchmesser (kreuzweise Messung in mm) und die Baumart verwendet.

Aus den PWVF werden je nach Geometrie der Flächen möglichst grosse Rechtecke ausgeschnitten, die zusammengefügt einen Wald mit 38,30 ha und 19'755 Bäumen ergaben (Abbildung 1). Dabei wird darauf geachtet, dass gleiche Flächen sich nicht wiederholen. Gleiche Flächen können nur mit einem anderen Aufnahmejahr und mit einer anderen Orientierung verwendet werden. Eine unterschiedliche Orientierung der Rechtecke wird durch Vertausch von X- und Y-Koordinaten bzw. durch die Spiegelung erreicht.

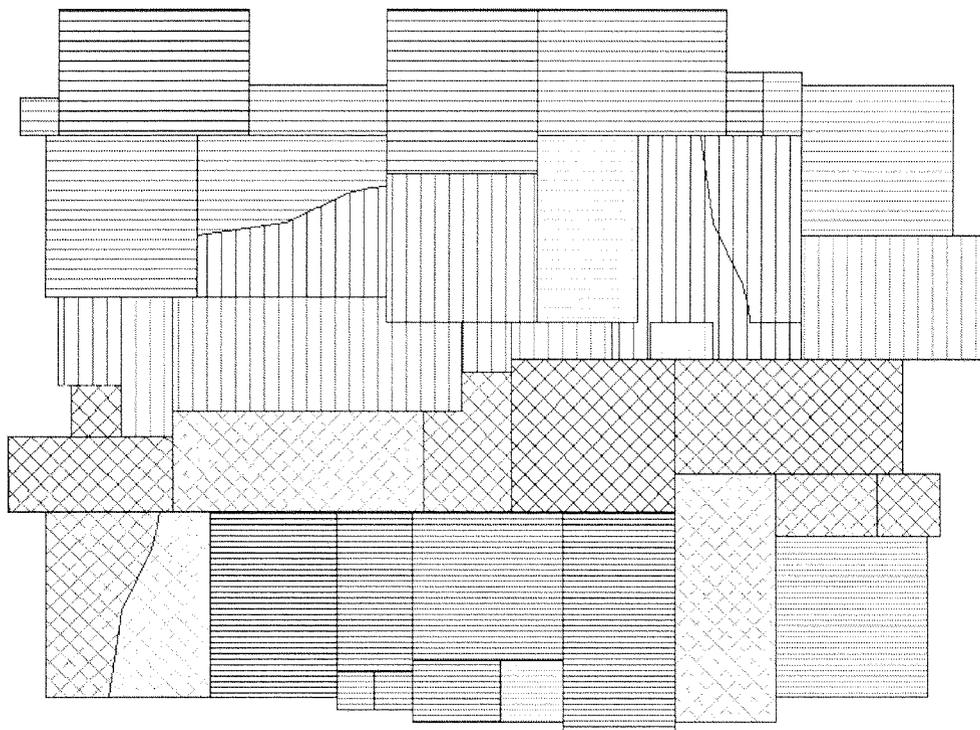
**Tab. 6:** Plenterwald-Versuchsflächen der Schweizerischen forstlichen Versuchsanstalt (WSL) für die Konstruktion des Simulationswaldes.

Gemeinde	Ortsname	Nummer	Aufnahmejahr	Höhe ü.M.
Niederhünigen	Toppwald	01-015	1985, 1993	930 – 990
Oppligen	Hasliwald	01-019	1975, 1983, 1991	560 – 580
Bowil	Badwald	01-027	1981, 1988	820 – 910
Bowil	Scharrweg	01-028	1974, 1981, 1988	950 – 980
Lauperswil	Dürsrüti	01-030.001	1974, 1983, 1990	870 – 920
Landiswil	Biglenwald	01-031.000	1973, 1981, 1989	910 – 950
Röthenbach	Schallenberg, Rauchgrat	02-047.000	1976, 1987	1040 – 1120
Oberlangenegg	Unter Hubel	01-046	1973, 1980, 1988	910 – 930

Das Ausschneiden und Zusammenlegen von Rechtecken hat zur Folge, dass an den Grenzen zweier Flächen unrealistische Situationen entstehen können: So ist es möglich, dass sich die Grundflächen von zwei benachbarten Bäumen oder ihre Standräume überschneiden. In jedem Rechteck wurde daher ein jeweils zehn Meter breiter Randstreifen auf das Vorkommen von „doppelten Bäumen“ untersucht und der doppelte Baum entfernt.

Für die PWVF liegen keine speziellen Bestandeskartierungen vor bzw. es existieren nur Bestandeskarten für ganze Betriebe, welche aber nicht zum Zeitpunkt der Aufnahmen in den PWVF erstellt wurden. Eine Kombination der Kartierung mit den Aufnahmedaten aus den PWVF ist daher nicht zulässig, eine Stratifizierung nach dem Bestandestyp ist nicht möglich.

**Abb. 1:** Simulationswald für das Programm FIESTA, zusammengesetzt aus verschiedenen Plenterwald-Versuchsflächen.



Auch eine Stratifizierung nach dem Standort scheitert, weil mit Ausnahme der PWVF Schalenberg-Rauchgrat, von welcher die Eidg. Versuchsanstalt WSL eine detaillierte Standortskarte erstellt hat, keine flächendeckende Standortkartierung existiert. Auf anderen PWVF wurde der Standort nur stichprobenweise ermittelt, was für die Bildung von Straten unzureichend ist. Daher wird bei der Simulation mit dem Programm FIESTA auf Stratifizierung und auf alle damit verbundenen Berechnungen verzichtet.

### 3.1.4. Simulationen

#### 3.1.4.1. Grundsätzliches

Weil der Simulationswald nicht einwandfrei in Straten zerlegt werden kann, sind alle Inventuren unstratifiziert. Die Möglichkeiten des Programms, zweiphasige und zweistufige Inventuren zu simulieren, werden nicht ausgeschöpft. Somit sind alle simulierten Inventuren einphasige und einstufige Stichproben.

Die Resultate aus den simulierten Inventuren sind „sichere Schätzungen“: Da der simulierte Wald unterschiedliche Bestandesstrukturen beinhaltet, die normalerweise verschiedenen Straten zugeordnet würden, überschätzen die simulierten Inventuren den Stichprobenfehler eines Stratum im realen Plenterwald.

Die Simulation erstreckt sich auf verschiedene Variationen von Inventurverfahren: Probeflächengrösse (2-10 Aren), Probedichte, Probetyp (1-3 konzentrische Kreise) und Probenetz (nur bei systematischen Proben). Bei zufälligen Proben werden Dichten zwischen 5 und 50 Proben je Simulationswald gerechnet, bei systematischen Proben 0,25 bis 4 Proben je ha. Dabei variiert das Seitenverhältnis im rechteckigen Probenetz von 1:1 bis 1:10. Für jede Simulation werden mindestens 500 Inventuren (runs) gerechnet. Die Simulation dient auch zur Bestimmung der Unterschätzung bei Randproben (gerechnet mit gleicher Aufnahmewahrscheinlichkeit je Baum).

Die Resultate gelten für die gesamte Population, d.h. für alle Bäume im Simulationswald. Eine Aufteilung in Teilpopulationen nach Baumart oder BHD findet nicht statt. Die Kluppschwelle beträgt 8 cm. Bei konzentrischen Kreisproben steht dieser Wert für die unterste Kluppschwelle, die Kreisverhältnisse und Kluppschwellen für grössere Kreise werden nur für den Vorrat optimiert (vgl. Kapitel 3.1.4.5.). Für diesen Zweck werden die Resultate einer Optimierung mit Verteilungsfunktion aus dem Programm FIESTA und eine Volumenfunktion aus dem Raum Schwarzenegg benutzt.

Das Programm FIESTA liefert bei jeder Simulation Schätzungen für den Mittelwert und die Varianz der Grössen Stammzahl, Grundfläche und Vorrat. Der wahre Wert für den Mittelwert ist bekannt.

#### 3.1.4.2. Zufällige und systematische Stichproben

Die bei der Stichprobenauswertung benutzten Formeln (Anhang) gelten streng genommen nur für zufällige Stichproben. In der Praxis werden jedoch fast nur systematische Stichproben benutzt. Die Gründe sind einerseits die vereinfachte Auswahl und das leichtere Aufsuchen und Wiederfinden einer Probe, andererseits verspricht sie eine stabilere Schätzung der gesuchten Werte bzw. einen kleineren Stichprobenfehler. Meist wird angenommen, dass die systematische Probe kleinere Stichprobenfehler liefert als die Formel für die zufällige Stichprobe angibt. Ob und in welchem Masse dies auch für ungleichförmige Wälder gilt, die der Poisson-Verteilung ähneln, wird durch die Simulationen im Programm FIESTA empirisch untersucht.

Wenn bei systematischen Proben die empirisch gefundene Varianz  $\cong$  der mittleren geschätzten Varianz ist, liefert die Formel auch für systematische Proben erwartungstreue Schät-

zungen. Wenn die empirische Varianz signifikant kleiner (bzw. größer) ist als die mittlere geschätzte Varianz, überschätzt (bzw. unterschätzt) die Formel die Varianz.

Die empirische Varianz ist definiert durch

$$eVar = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \hat{y}_N)^2 \quad \text{wobei} \quad \hat{y}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{y}_i$$

Die mittlere geschätzte Varianz ist definiert durch

$$mgVar = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{V}ar \hat{y}_i$$

wobei  $\hat{y}_i$  die Schätzung des  $i$ -ten runs bezeichnet, und  $\hat{V}ar \hat{y}_i$  ihre geschätzte Varianz, unter Verwendung der Formel für zufällige Stichproben.

Ob die Anwendung der Formel bei systematischen Proben zulässig ist, kann auch durch einen direkten Vergleich von  $eVar$  und  $mgVar$  geprüft werden. Ferner werden geschätzte Mittelwerte mit den wahren Mittelwerten sowie Varianzen bzw. Standardabweichungen von zufälligen und systematischen Stichproben verglichen. Es wurden Kombinationen mit verschiedenen Probegrösse (3 bis 10 Aren), verschiedenen Probedichten (0,25 bis 3 Proben pro ha) und verschiedenen Netzen (Seitenverhältnis 1:1 bis 1:10) simuliert.

### 3.1.4.3. Probenetz

Unter der Annahme, dass eine Messequipe sich zwischen den einzelnen Proben nur zu Fuss bewegt, spielt das Probenetz für die Wegekosten die entscheidende Rolle. Diese Annahme lässt die bei Grossrauminventuren auftretenden Probleme der Wegekostenberechnung (Kosten von Fussmarsch, Auto, Flugzeug, sonstige Transportmittel) und ihre Reduktion durch z.B. Traktstichproben aussen vor und macht die Optimierung einfacher.

Bei gleicher Waldfläche, gleicher Anzahl Proben und gleicher Waldform sind die Kosten nur von der Art des Probenetzes abhängig. Bei einem quadratischen Probenetz (Seitenverhältnis 1:1, Abstand zwischen den Probelinien gleich Abstand zwischen den Proben auf der Probelinie) sind die Marschkosten und damit auch die Gesamtkosten bedeutend höher als bei einem rechteckigen Probenetz mit kurzen Abständen zwischen den Proben und weiten Abständen zwischen den Probelinien. Mit den Simulationen im Programm FIESTA wurde untersucht, welchen Einfluss das Seitenverhältnis auf die Schätzung des Mittelwertes und der Varianz hat.

### 3.1.4.4. Randproben

Randproben können systematische Fehler (Bias) verursachen (SCHMID 1969). Dieser Fehler ist umso grösser, je höher der Anteil von Randproben am Stichprobenumfang ist bzw. je größer das Verhältnis des Waldrandes (Umfang der Waldfläche) zur Waldfläche ist. Mit Hilfe des Programms FIESTA wird untersucht, wie gross dieser Fehler ist bzw. wie stark der wahre Wert unterschätzt wird. Die Untersuchung basiert auf der Ausschaltung der Randkorrektur (Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit) mit anschliessendem Vergleich der Schätzung mit dem wahren Wert. Die Unterschätzung wird für verschiedene Probeflächen und Probedichten untersucht. Die Resultate sind nur für die spezielle Waldform des Simulationswaldes im Programm FIESTA gültig.

### 3.1.4.5. Kreisverhältnis und Kluppschwelle bei konzentrischen Kreisproben

Als effizienteste Stichprobe kann die PPS-Stichprobe (probability proportional to size) bezeichnet werden. Bei ihr ist die Aufnahmewahrscheinlichkeit eines Baumes proportional zur Zielgrösse. Dank dieser „Gewichtung“ des Baumes wird eine bestimmte Genauigkeit der Zielgrösse mit geringstem Aufwand bei der Stichprobe erreicht.

Die bekannteste PPS-Stichprobe ist die Winkelzählprobe, bei der die Aufnahmewahrscheinlichkeit des Baumes proportional zu seiner Grundfläche ist. Die Winkelzählprobe ist im Grunde genommen eine konzentrische Kreisprobe mit unendlich vielen konzentrischen Kreisen und mit unendlich vielen zugehörigen Kluppschwellen. Die praktische Durchführung dieser konzentrischen Kreisprobe ist nur optisch mit der Winkelzählprobe möglich.

Als ein weiteres Beispiel einer PPS-Stichprobe kann die einfache Kreisprobe mit der Zielgrösse ‚Stammzahl‘ gelten. Bei der Stammzahl haben alle Bäume in der Population die gleiche Aufnahmewahrscheinlichkeit (vorausgesetzt, es handelt sich nicht um die Randprobe), weil alle Bäume den gleichen Wert der Zielgrösse haben, nämlich 1. Die praktische Konsequenz ist, dass bei der Zielgrösse ‚Stammzahl‘ die PPS-Stichprobe eine einfache Kreisprobe mit nur einer Kluppschwelle und einem Kreis ist.

Die optimale PPS-Stichprobe für andere Zielgrössen wie Vorrat oder Zuwachs wäre ebenfalls eine konzentrische Stichprobe mit unendlich viele Kreisen und entsprechenden Kluppschwellen. Weil aber bei diesen Zielgrössen (im Gegensatz zur Grundfläche) keine praktikable Methode für die exakte Durchführung der PPS-Stichprobe zur Verfügung steht, steht am Ende ein Kompromiss zwischen dem Gewünschten und dem Durchführbaren, was oft eine Kreisprobe mit mehreren konzentrischen Kreisen bedeutet. Mit steigender Zahl an Kreisen nähert sich dieser Kompromiss der PPS-Stichprobe. Die Zahl der gemessenen Bäume wird dadurch zwar reduziert, der Anteil an Grenzbäumen, die erhebliche Zeitverluste und Fehler verursachen können, steigt aber an. Aus diesem Grund untersucht die vorliegende Arbeit nur Stichproben mit zwei oder drei konzentrischen Kreisen.

Bei der Suche nach dem optimalen Design von konzentrischen Kreisproben spielt der Faktor  $\gamma$  (MANDALLAZ und YE 1999) entscheidende Rolle:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Y_i^2}{f(Y_i)}}{\sum_{i=1}^N Y_i} \geq 1$$

$Y_i$  = Zielgrösse des i-ten Baumes,

$N$  = Anzahl Bäume,

$f(Y_i)$  = „diskrete Approximation der PPS-Aufnahmewahrscheinlichkeit“.

Bei unendlich vielen Kreisen ist  $f(Y_i)$  eine lineare Funktion, bei zwei oder drei konzentrischen Kreisen ist  $f(Y_i)$  eine Treppenfunktion.

Für PPS-Stichproben gilt:  $\gamma = 1$ . Je weiter die Stichprobe von der PPS-Stichprobe entfernt ist, desto grösser ist  $\gamma$ . Der Faktor  $\gamma$  ist von der Zielgrösse (z.B. Volumenfunktion) und von der Häufigkeitsverteilung abhängig.

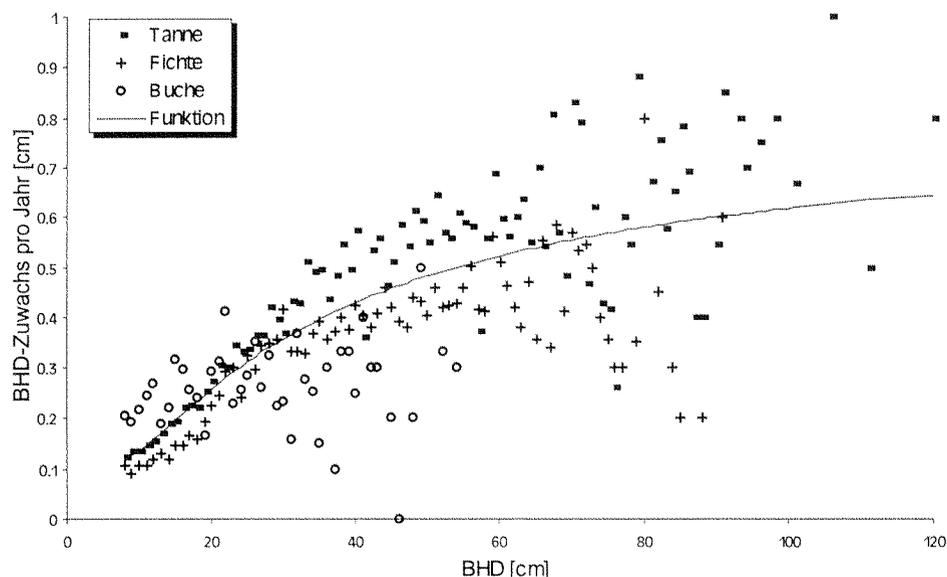
Die Suche nach dem optimalen Stichprobendesign besteht in der Auswahl einer Treppenfunktion  $f(Y_i)$ . Als optimal wird in diesen Beispielen jeweils dasjenige Verfahren betrachtet, welches den kleinsten Faktor  $\gamma$  liefert. Dabei sind die optimalen Kluppschwellen und Kreisverhältnisse einer konzentrischen Kreisprobe zu ermitteln. In dieser Arbeit geschieht dies nur für konzentrische Proben mit zwei oder drei Kreisen und nur für die Zielgrössen Vorrat und Stärkezuwachs.

Die Berechnungen werden mit einem Programm ausgeführt, welches an der Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich entwickelt wurde. Als Output-Daten liefert das Programm neben einfachen statistischen Kennwerten die optimalen Kluppschwellen, optimale Kreisverhältnisse sowie den Faktor  $\gamma$ . Das Programm benötigt eine Funktion der Zielgrösse (z.B. Volumenfunktion) und eine Häufigkeitsverteilung (z.B. Stammzahlverteilung) als Eingangsdaten.

Für die Optimierung der Kluppschwellen und des Kreisverhältnisses für den Vorrat wurden zwei Volumenfunktionen herangezogen: Eine Funktion wurde aus dem Einheitstarif für die Region Honegg (Kanton Bern) abgeleitet, die zweite ist die Volumenfunktion aus dem ersten Landesforstinventar (LFI 1).

Für den Stärkezuwachs wurde nur eine Funktion berechnet. Sie basiert auf Daten aus plenterartigen Beständen, die durch Kontrollstichproben in mehreren Forstbetrieben im Raum Schwarzenegg (Kanton Bern) erhoben wurden. Meist handelt sich um Betriebe mit der zweiten Folgeinventur. Da alle Erstinventuren zu einem ähnlichen Zeitpunkt erfolgten, bilden die Daten nur einen Zeitraum von rund 20 Jahren ab (zwei Inventurperioden à 10 Jahre). Bei solchen kurzen Zeitspannen kann der Einfluss von Klimaextremen nicht ausgeschaltet werden, so dass die Daten zum Stärkezuwachs nur als ungefähre Richtwerte betrachtet werden dürfen. Ab 70 cm BHD muss die Funktion wegen der ungenügenden Zahl an Bäumen mit äusserster Vorsicht interpretiert werden. Die Funktion unterscheidet nicht zwischen Baumarten. Abbildung 2 zeigt, dass sich die drei Hauptbaumarten in ihrem Wachstum nicht identisch verhalten. Streng genommen gilt die Funktion daher nur für die inventarisierte Baumartenzusammensetzung.

Abb. 2: Stärkezuwachsfunction auf der Basis von Inventurdaten aus Raum Schwarzenegg.



Die Häufigkeitsverteilung (Stammzahlverteilung) für die Optimierung wurde aus dem „Simulationswald“ im Programm FIESTA ermittelt (Kapitel 3.1.3.). Sie umfasst die Baumpopulation von 8 bis 120 cm BHD und wurde anderen Häufigkeitsverteilungen gegenübergestellt, z.B. einer aus Kontrollstichproben im Raum Schwarzenegg berechneten Stammzahlverteilung für plenterartige Bestände von 8 bis 105 cm BHD. Eine weitere Verteilungsfunktion wurde aus Daten des ersten Landesforstinventars der Schweiz (LFI 1) abgeleitet. Diese Inventur erfasste Bäume ab 12 cm BHD. Bäume, die über 100 cm BHD massen, wurden zur Gruppe „100+“ zusammengefasst.

Für die weiteren Simulationen bei der Optimierung wurde nur mit „optimalen“ Kreisverhältnissen und Kluppschwellen gerechnet, die nur für die Volumenfunktion aus dem Raum Schwarzenegg und die Häufigkeitsverteilung aus dem „halbkünstlichen Wald“ im Programm FIESTA gelten.

### 3.1.4.6. Zeitaufwand

#### 3.1.4.6.1. Zeitmessung und allgemeine Bemerkungen

Das optimale Stichprobendesign ist ein Ergebnis der Optimierung zwischen der Genauigkeit und dem Arbeitsaufwand eines Inventurverfahrens. Bei gegebenen Kosten wird die Varianz minimiert – oder umgekehrt. Die Abschätzung der Kosten, vor allem der Transportkosten, ist keine einfache Aufgabe. Meist sind die Kosten nur für ein Inventurverfahren bekannt. Für alternative Inventurverfahren müssen die Kosten modelliert oder abgeleitet werden.

Der Arbeitsaufwand bei Inventuren wird mit Vorteil in Zeiteinheiten ausgedrückt. Monetäre Einheiten sind weniger gut geeignet, weil sie keinen einwandfreien zeitlichen oder räumlichen Vergleich erlauben. Für die Ableitung des Zeitaufwandes für alle in dieser Arbeit untersuchten Stichprobenverfahren wurden zwei Zeitmessungen aus plenterartigen Beständen im Untersuchungsgebiet (Kapitel 3.2.) benutzt: Im Untersuchungsgebiet Toppwald wurde eine Messung über 80 Proben durchgeführt. Diese Messung steht für Folgeinventuren mit 4 Aren Probefläche (ohne Höhen- und  $d_7$ -Messung). Im Gebiet Schwarzenegg wurde der Zeitaufwand auf 305 Proben gemessen. Diese Zeitmessung repräsentiert Erstinventuren mit 5 Aren Probeflächen (ebenfalls ohne Höhen- und  $d_7$ -Messung). Beide Inventuren wurden durch Zweimann-Equipen und auf einem 80 x 150 m-Probenetz durchgeführt. Die Zeitmessungen wurden in Marsch, Vorbereitung und Messung zerlegt:

**Der Marsch** beginnt mit dem Anvisieren des Marschazimuts von der letzten Probe oder vom Fixpunkt und endet mit dem Eintreffen auf der Probe. Bei der Erstinventur beinhaltet dieser Zeitabschnitt das exakte Einmessen des Probezentrums mit Massband und Bussole und endet mit dem Einstecken des Jalons in das zukünftige Probezentrum. Bei Folgeinventuren endet die Marschzeit, wenn die Equipe in der unmittelbaren Nähe des Probezentrums eintrifft.

**Die Vorbereitung** beginnt bei der Erstinventur mit dem Einstecken des Jalons, bei den Folgeinventuren mit dem Eintreffen im ungefähren Probezentrum. Bei beiden Inventuren endet sie mit dem Anvisieren des ersten Baums der Stichprobe. Die Vorbereitung umfasst Auspacken des Materials, Einschlagen des Röhrchens im Probezentrum (nur Erstinventur), genaue Bestimmung des Probezentrums durch Rückmessung von markanten Bäumen mit Hilfe von Daten aus der vorangegangenen Inventur sowie Auffinden des Röhrchens (nur Folgeinventuren), Aufstellung der Bussole, Vorbereitung der Formulare, Messung der Neigung und Exposition.

**Die Messung** in der Probe beginnt mit dem Anvisieren des ersten Baumes und endet mit dem Anvisieren des Marschazimuts zur nächsten Probe oder mit dem Beenden der Messarbeiten in der Probe.

Für die Entscheidung über das optimale Stichprobenverfahren muss der Zeitaufwand aller in Frage kommender Inventurverfahren bekannt sein. In unserem Beispiel ist der Zeitaufwand nur für zwei Inventurverfahren exakt bekannt. Für andere Verfahren muss der Zeitaufwand abgeleitet bzw. modelliert werden. Bei der Modellierung des Zeitaufwandes, ausgehend von anderen Inventurverfahren, ist nur der Zeitaufwand für die Messung in der Probefläche ausschlaggebend. Es wurde angenommen, dass die Zeit für die Vorbereitung bei allen abgeleiteten Inventurverfahren identisch ist. Die Marschzeiten zwischen den Proben sind nicht direkt vom Inventurverfahren abhängig. Deshalb wird der Zeitaufwand anderer Inventurverfahren nur aufgrund des Zeitaufwandes für die Messung in der Probefläche modelliert.

### 3.1.4.6.2. Marschzeit

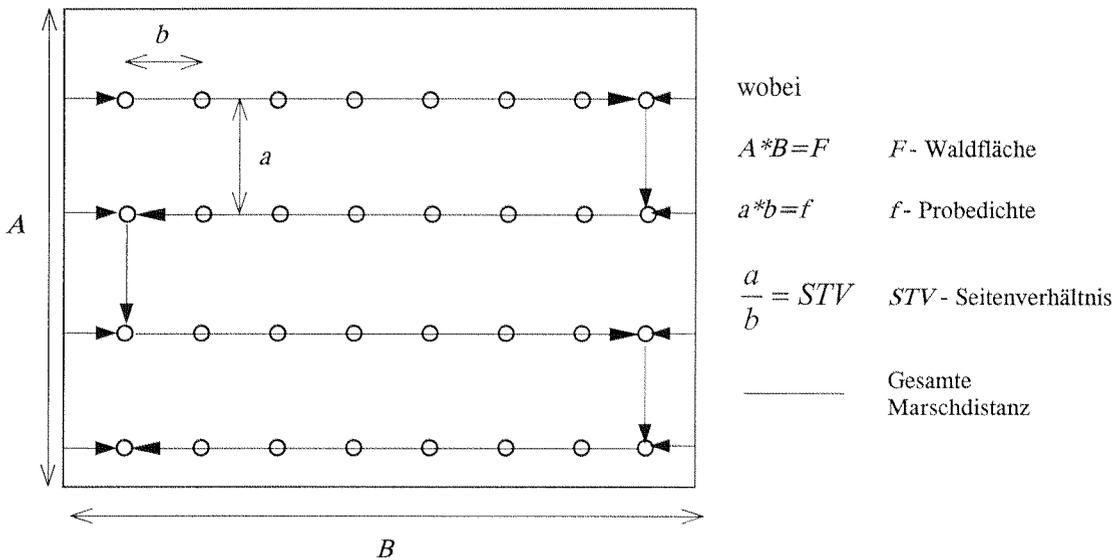
Der Zeitaufwand für den Marsch zwischen den Proben  $T_M$  wurde als lineare Funktion der Marschdistanz  $MD$  betrachtet:

$$T_M = a \cdot MD$$

Die Konstante  $a$  ist in erster Linie von den Geländeverhältnissen und der Vegetation abhängig. Letztere wirkt sich auf die Sicht und auf die Durchgangsgeschwindigkeit aus. Die Konstante kann besonders bei Erstinventuren mit der Technik der Einmessung mehr oder weniger beeinflusst werden. Spezielle Untersuchungen über die Konstante  $a$  sind nicht Gegenstand dieser Arbeit. Die Konstante  $a$  wurde aus den durchgeführten Zeitmessungen direkt ermittelt. Die Arbeit befasst sich nur mit dem Minimieren der Marschdistanz  $MD$ .

Die Marschdistanz für eine Probe ist vor allem von der Probedichte abhängig. Bei gleicher Probedichte und Waldfläche variiert die Marschdistanz pro Probe mit der Art des Probenetzes: Die grösste Marschdistanz weist das dreieckige Probenetz auf. Es folgt das quadratische Probenetz, und die kleinste Distanz hat ein rechteckiges Probenetz. Bei den rechteckigen Probenetzen ist die Marschdistanz umso kleiner, je grösser das Seitenverhältnis ist, d.h. je grösser das Verhältnis zwischen dem Abstand der Probelinien und dem Abstand von Proben auf der Probelinie ist. Einen Einfluss auf die durchschnittliche Marschdistanz für eine Probe haben auch die Form des Waldes und die Orientierung des Probenetzes zur Waldform.

Abb. 3: Schema der Berechnung der gesamten Marschdistanz zwischen den Proben.



Die gesamte Marschdistanz  $GMD$  ist durch die Waldfläche  $F$  und ihre Waldform (gegeben durch das Verhältnis zwischen der Fläche  $F$  und der Seitenlänge des Waldes  $A$ ), durch die Probedichte und das Seitenverhältnis  $STV$  (Distanz zwischen den Probelinien / Distanz zwischen den Proben auf der Probelinie) im Probenetz gegeben. Die  $GMD$  kann wie folgt berechnet werden:

$$GMD = \frac{A}{a} \cdot B + A - \frac{a}{2}$$

$$GMD = \frac{F}{\sqrt{f \cdot STV}} + A - \frac{\sqrt{f \cdot STV}}{2}$$

Die Marschdistanz wurde für verschiedene Probenetze, Waldflächen, Probedichten und Waldformen vereinfacht simuliert. Die Vereinfachung bestand darin, dass nur quadratische oder rechteckige Waldformen mit Seitenverhältnissen von 1:1 bis 1:10 untersucht wurden. Die feste Orientierung des Probenetzes bedeutet eine zusätzliche Vereinfachung: Die Probelinien verlaufen immer parallel zur längeren Seite des Rechtecks.

### 3.1.4.6.3. Vorbereitungszeit

Es wird angenommen, dass die Zeiten für die Vorbereitung bei allen untersuchten Probetypen und Probeflächen gleich sind. Es ist nur zwischen der Erst- und Folgeaufnahme zu unterscheiden. Die Werte aus den Zeitmessungen in Schwarzenegg und Toppwald fließen direkt in die Berechnungen ein.

### 3.1.4.6.4. Messung in der Probe

Die Messung in der Probe besteht aus zwei verschiedenen Teilen: Aus der eigentlichen **Messung der Bäume** und der **Marschzeit zwischen den einzelnen Bäumen** in der Probe. Das Verhältnis der beiden Teile ändert sich mit der Grösse der Probefläche, so dass eine getrennte Simulation erforderlich ist. Bei den durchgeführten Zeitmessungen konnte jedoch aus finanziellen Gründen (die ständige Mitwirkung einer weiteren Person wäre erforderlich gewesen) die beschriebene Zweiteilung nicht berücksichtigt werden. Die Zeit für die Messung in der Probe liegt daher nur als Gesamtzeit vor. Die folgenden theoretischen Überlegungen und Berechnungen sollen dieses Problem lösen. Sie beruhen auf der Annahme, dass der Marsch zu einem Baum durchschnittlich soviel Zeit in Anspruch nimmt wie die Messung eines Baumes.

Wenn die eigentliche **Messung der Bäume** bei jedem Baum gleich viel Zeit in Anspruch nimmt, steigt der Zeitaufwand mit der Stammzahl und damit auch mit der Grösse der Probefläche linear. Für Grenzbäume am Rand der Probefläche trifft diese Aussage aber nicht zu. Ihre Messung erfordert teilweise eine höhere Messgenauigkeit und benötigt daher zwei- bis dreimal soviel Zeit. Für die Beurteilung, ob ein Grenzbaum in der Probe steht, muss seine Distanz zum Zentrum mit einer Genauigkeit auf cm und damit genauer als bei den übrigen Bäumen (auf dm) gemessen werden. Die Kluppe muss exakt auf die Messstelle gelegt und das Massband sorgfältig gespannt werden.

Grenzbäume sind bei dieser Optimierung alle Bäume, die zwar zur Probe gehören, jedoch am Rand in einem „Streifen der Unsicherheit“ stehen, in dem nur die genaue Messung eine sichere Zuordnung erlaubt. Die Breite dieses Streifens wurde für die Berechnungen mit 20 cm angenommen. Der Anteil von Grenzbäumen  $y$  bei der einfachen Kreisprobe kann dann für beliebige Probeflächen mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$y = \frac{a(2r - a)}{r^2}$$

Diese Formel liefert nur den Anteil der zur Probe gehörenden Grenzbäume. Grenzbäume, die nicht in der Probe liegen und deshalb nicht aufgenommen werden, weil ihre Distanz zum Probenzentrum grösser als der Proberadius  $r$  ist, sind darin nicht enthalten. Für die genaue Zuordnung, ob sie inner- oder ausserhalb der Probe liegen, müssen sie jedoch ebenfalls eingemessen werden. Die Zahl der bei einer Inventur tatsächlich gemessenen Grenzbäume ist daher mindestens zweimal so hoch wie die Zahl, die sich aus dem berechneten Anteil  $y$  ergibt. Unter der Annahme, dass die Messung von Grenzbäumen zweimal soviel Zeit in Anspruch nimmt wie die Messung von eindeutig in der Probe liegenden Bäumen, ergibt sich insgesamt ein Zeitfaktor von 4. Damit sind der grössere Messaufwand bei Grenzbäumen sowie die nicht zur Probe gehörenden

aber gemessenen Grenzbäume berücksichtigt. Die übrigen Bäume in der Probe werden mit dem Zeitfaktor 1 bewertet. Unter diesen Annahmen kann der relative Aufwand  $AB$  für die Messung der Bäume in der Probe mit der folgenden Formel für beliebige Grenzbaumanteile berechnet werden.

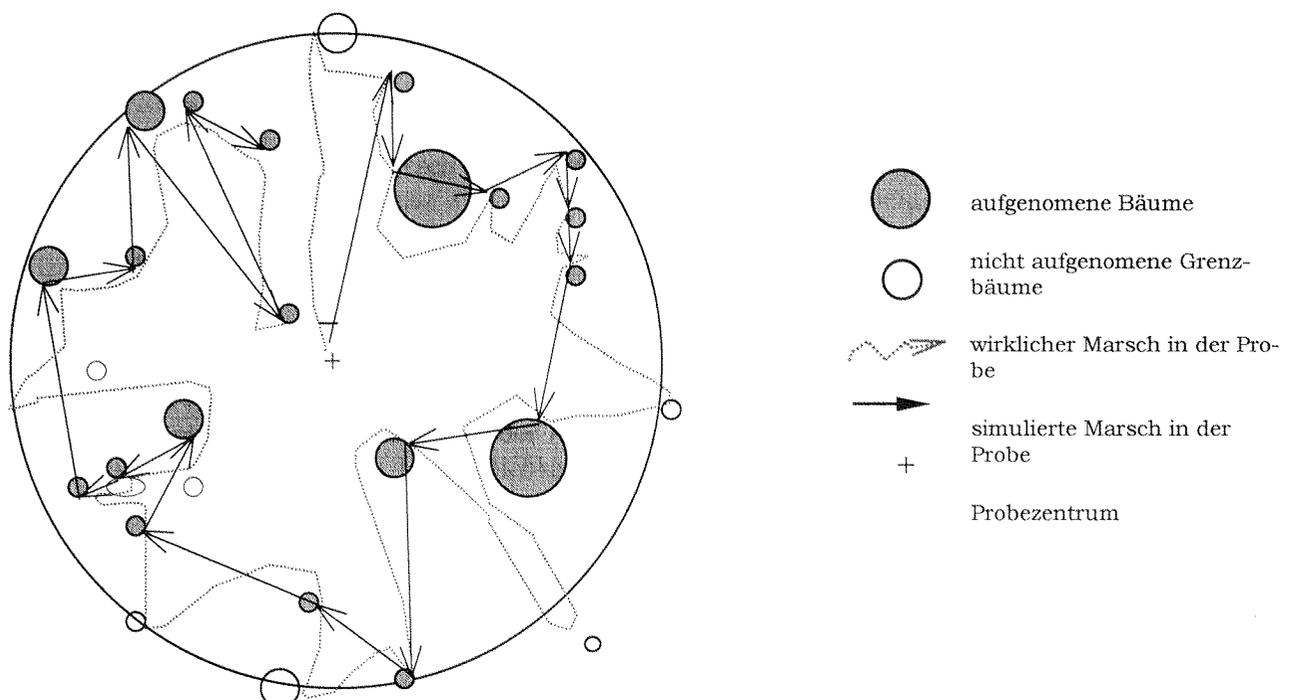
$$AB = 1 \cdot (1-y) + 4 \cdot y = 1 + 3y$$

Ein weiterer Schritt ist die Berechnung des Faktors  $f_B$ . Er steht für das relative Verhältnis zwischen dem tatsächlichen Zeitaufwand  $AB_{GEMESSEN}$  für eine Probefläche, bei welcher der Zeitaufwand gemessen wird, und dem Zeitaufwand  $AB_{GESUCHT}$  für eine Probefläche, bei welcher der Zeitaufwand simuliert wird.

$$f_{B-GESUCHT} = \frac{AB_{GESUCHT}}{AB_{GEMESSEN}}$$

Der Zeitaufwand für den **Marsch zwischen zwei Bäumen** in der Probe nimmt linear zu seiner Distanz zu. Die Marschdistanz zwischen den Bäumen hängt vor allem von der Stammzahldichte der zu messenden Bäume ab, welche von der Kluppschwelle oder vom Zählfaktor (Winkelzählprobe) sowie von der Stammzahlverteilung bestimmt wird. Unter den Voraussetzungen, dass die Messequipe bei der Messung in der Kreisprobe von einem Baum zum nächsten geht und die Stammzahldichte und damit die Distanz zwischen den gemessenen Bäumen bei jeder Probenflächengröße identisch ist, steigt der Gesamtaufwand für die Marschzeiten in der Probefläche linear mit der Probeflächengröße. In der Praxis erfolgt die Messung jedoch strahlenförmig vom Zentrum aus und die Bäume werden in der Reihenfolge ihres Azimuts eingemessen (Abbildung 4). Damit wird eine bessere Übersichtlichkeit in der Probe erreicht, es werden keine Bäume „vergessen“ und das Massband kann in einer Linie gespannt werden. Dieses strahlenförmige Vorgehen im Uhrzeigersinn hat zur Folge, dass die durchschnittliche Marschdistanz zwischen zwei Bäumen mit steigender Probeflächengröße wächst, auch wenn die Stammzahldichte gleich bleibt.

Abb. 4: Schema der Berechnung der Marschdistanz innerhalb der Probe aus Inventurdaten.



Bei bekannten Polarkoordinaten der Bäume können die tatsächlichen Marschdistanzen, welche von der Probeflächengrösse abhängen, berechnet werden. Die Berechnung berücksichtigt jedoch nur registrierte Bäume. Bäume, deren BHD unterhalb der Kluppschwelle liegt, sind nicht registriert, ihre Koordinaten sind nicht bekannt. Gleichwohl müssen sie umlaufen werden, ohne dass dieser Umweg in die Berechnung der Marschdistanzen einfließt. Eine ähnliche, aber geringere Wirkung haben Bäume ausserhalb der Probefläche, die zur Überprüfung ihrer Entfernung vom Probezentrum angelaufen werden, aber nicht zur Probe gehören. Die „simulierten Distanzen“ entsprechen daher nicht exakt den wirklichen Distanzen (Abbildung 4). Da der Anteil der nicht registrierten Bäume sich mit steigender Probeflächengrösse kaum verändert (lediglich der Anteil der zu überprüfenden Bäume ausserhalb der Probe fällt mit steigender Probeflächengrösse), hat diese Differenz keinen verzerrenden Einfluss auf einen Vergleich zwischen verschiedenen Probeflächengrössen.

Für die Berechnungen wurden die Daten aus den Inventuren ‚Schwarzenegg‘ und ‚Toppwald‘ benutzt. Simuliert wurden Marschdistanzen für verschiedene Probegrössen bis 5 Aren in Schwarzenegg und 4 Aren im Toppwald. Wenn die durchschnittlichen Distanzen  $DIST$  zwischen den Bäumen einer Probe für verschiedene Probeflächengrössen ermittelt sind, kann ein Faktor  $f_{M-GESUCHT}$ , der die Veränderung der durchschnittlichen Distanz mit der ändernde Probeflächengrösse ausdrückt, berechnet werden:

$$f_{M-GESUCHT} = \frac{DIST_{GESUCHT}}{DIST_{GEMESSEN}}$$

$DIST_{GEMESSEN}$  steht für eine durchschnittliche Distanz, für die der Zeitaufwand tatsächlich gemessen wurde,  $DIST_{GESUCHT}$  ist die durchschnittliche Distanz einer Probefläche, für die der Zeitaufwand simuliert wurde.

Wenn der Anteil von Grenzbäumen  $y$  und die durchschnittliche Marschdistanz zwischen den Bäumen  $DIST$  bzw. die aus diesen Werten berechneten Faktoren  $f_B$  und  $f_M$  bekannt sind, kann der Zeitaufwand  $T_p$  für die **gesamte Messung in der Probe** für beliebige Probeflächengrössen berechnet werden. Dabei ist  $PF_{GEMESSEN}$  die Probeflächengrösse, für die tatsächlich eine Zeitmessung vorliegt (Erstinventur bis 5 Aren, Folgeinventur bis 4 Aren), und  $T_{P-GEMESSEN}$  der gemessene Zeitaufwand für die Messung in der Probe:

$$T_{P-GESUCHT} = T_{P-GEMESSEN} \cdot f_{B-GESUCHT} \cdot f_{M-GESUCHT} \cdot \frac{PF_{GESUCHT}}{PF_{GEMESSEN}}$$

Diese Formel gilt nur unter der Annahme, dass der Zeitaufwand für die Messung von Bäumen gleich viel Zeit in Anspruch nimmt wie der Zeitaufwand für den Marsch zwischen den Bäumen. Diese Annahme gilt bei Erstinventuren nur für Probeflächen bis 5 Aren und bei Folgeinventuren bis 4 Aren.

Da mit der obenstehenden Formel nur der Zeitaufwand bis 5 bzw. 4 Aren Flächengrösse berechnet werden kann, wurde aus den Messungen der Zeitaufwand  $T_p$  als eine Funktion der Probenflächengrösse abgeleitet. Dies ermöglicht, den Zeitaufwand für beliebige Probenflächengrössen zu berechnen.

Die Ableitung des Zeitaufwandes bei **konzentrischen Proben** geschieht grundsätzlich gleich wie bei der einfachen Kreisprobe. Im Folgenden ist die Ableitung für eine konzentrische Kreisprobe mit zwei Kreisen dargestellt. Die Ableitung des Zeitaufwandes für konzentrische Proben mit drei Kreisen erfolgt analog.

Bei der Ableitung des Zeitaufwandes werden die Grenzbäume im grössten Kreis mit dem Faktor 4 gewichtet, die übrigen Bäume mit dem Faktor 1. Ein Unterschied zur einfachen Kreisprobe besteht darin, dass die Grenzbäume im kleineren Kreis mit dem Zeitfaktor 2 gewichtet werden. Ein weiterer Unterschied liegt bei der Berechnung des Anteils der Grenzbäume und der

Stammzahl: Im grössten Kreis ist die Definition der Grenzbäume noch identisch mit derjenigen der einfachen Kreisprobe. Im kleineren Kreis dagegen wird ein Baum als Grenzbaum bezeichnet, wenn er einen BHD  $\pm 3$  cm der Kluppschwelle des grösseren Kreises hat und in einer Entfernung von  $\pm 20$  cm des Radius des kleinen Kreises liegt. Weil im grösseren Kreis weniger Bäume gemessen werden als bei der einfachen Kreisprobe, muss der Zeitaufwand mit einem Faktor für den Stammzahlanteil reduziert werden.

Bei konzentrischen Kreisen müssen die Berechnungen für jeden Kreis bzw. Ring getrennt geführt werden. Die Fläche  $F_K$  für die Berechnung im kleinen Kreis ist nicht mit der tatsächlichen Fläche des kleinen Kreises identisch. Aufgrund des bei der Messung von Grenzbäumen bestehenden „Streifens der Unsicherheit“ wird der Proberadius des kleinen Kreises  $r_K$  um die Streifenbreite  $a$  vergrössert. Im grossen Kreis hat die massgebende Fläche  $F_G$  die Form eines Rings. Die Flächen(anteile) sind für die weiteren Berechnungen wie folgt definiert:

$$\begin{aligned} F &= \pi r^2 \\ F_G &= \pi r^2 - \pi(r_K + a)^2 \\ F_K &= \pi(r_K + a)^2 \end{aligned}$$

wobei  $r$  der Proberadius und  $F$  die gesamte Probefläche ist.

Im kleinen Kreis ist der Flächenanteil der Grenzbäume definiert durch

$$p_K = \frac{4r_K \cdot a}{(r_K + a)^2}$$

und im grossen Kreis durch

$$p_G = \frac{a(2r - a)}{r^2 - (r_K + a)^2}$$

Im grossen Kreis der konzentrischen Probe erstreckt sich die Messung nur auf eine Teilpopulation. Bei der einfachen Kreisprobe dagegen wird die gesamte Population gemessen. Deshalb müssen bei der konzentrischen Probe die Flächenanteile mit Stammzahlanteilen multipliziert werden. Dies gilt auch für die Grenzbäume in kleinen Kreis. Der Stammzahlanteil  $s$  im grossen Kreis ergibt sich aus

$$s_G = \frac{n_G}{n},$$

wobei  $n$  die Stammzahl der gesamte Population ist und  $n_G$  die Stammzahl für die Teilpopulation oberhalb der Kluppschwelle des grossen Kreises. Für die Grenzbäume in kleinen Kreis ergibt sich der Stammzahlanteil  $s_{KG}$  aus

$$s_{KG} = \frac{n_{KG}}{n},$$

wobei  $n_{KG}$  die Stammzahl der Bäume ist, die einen BHD in einem Bereich  $\pm 3$  cm von der Kluppschwelle des grossen Kreises haben.

Der relative Aufwand  $AB_K$  für die Messung im kleinen Kreis ist definiert durch

$$AB_K = 1 \cdot (1 - p_K \cdot s_{KG}) + 2 \cdot p_K \cdot s_{KG}$$

und der relative Aufwand  $AB_G$  für die Messung im grossen Kreis durch

$$AB_G = (1 \cdot (1 - p_G) + 4 \cdot p_G) \cdot s_G$$

Der relative Aufwand  $AB$  für die Messung der Bäume der gesamten Probe ist gegeben durch

$$AB = AB_K \cdot \frac{F_K}{F} + AB_G \cdot \frac{F_G}{F}$$

Der Faktor  $f_b$  wird gleich berechnet wie bei der einfachen Kreisprobe.

Die durchschnittliche Distanz zwischen den Bäumen in der Probe muss für jeden Kreis getrennt ermittelt werden. Im kleinen Kreis wird die Distanz  $D_K$  für die Fläche mit dem Radius  $r_K + a$  und für die gesamte Baumpopulation berechnet. Im grossen Kreis wird die Distanz  $D_G$  für die Fläche mit dem Radius  $r$  und für die Teilpopulation berechnet, deren BHD grösser ist als die Kluppschwelle des grossen Kreises minus 3 cm. Die durchschnittliche Distanz zwischen Bäumen in der gesamten Probe ist der gewichtete Mittelwert

$$DIST = \frac{D_K \cdot F_K + D_G \cdot F_G \cdot s_G}{F}$$

Der gesamte Zeitaufwand für die Messung in der Probe  $T_p$  wird anschliessend gleich berechnet wie bei der einfachen Kreisprobe.

### 3.1.4.7. Notwendige Probeanzahl

Wenn die Streuung einer Stichprobeninventur bekannt ist, kann die notwendige Anzahl Proben für eine gewünschte Genauigkeit abgeleitet werden. Für eine bestimmte Population (Waldbäume) kann die Streuung empirisch mit einer Pilotinventur oder mit Simulation gewonnen werden. Simulationen im Programm FIESTA liefern die Streuungen (Varianzen) für verschiedene Probetypen, welche in die weiteren Berechnungen zur Optimierung einfließen. Die Werte können dank der grossen Anzahl durchgeführter Simulationen als sehr sicher bezeichnet werden.

Der nächste Schritt ist der Vergleich der einfachen Kreisprobe bei der Simulation und bei der Inventur in Schwarzenegg. Zu diesem Zweck werden die Varianzen für Probeflächengrössen von 0,5 bis 5 Aren gegenübergestellt. Die Polarkoordinaten der Bäume ermöglichen, Varianzen auch bei kleineren Proben als 5 Aren zu ermitteln. Bei der Interpretation der Vergleichsergebnisse ist allerdings zu beachten, dass die Werte von Probeflächen kleiner als 5 Aren nicht genau berechnet werden können. Der Grund ist, dass Distanzen nur in dm aufgeführt sind, was die exakte Zuordnung von Grenzbäumen verunmöglicht.

Wenn die Varianzen für einzelne Probeflächengrössen und Probetypen bekannt sind, kann aus den Daten die Varianz als Funktion der Probefläche ermittelt werden. Diese Funktion  $f_v$  hat die Form

$$f_v(PF) = \exp a \cdot PF^{-b}$$

$$\ln f_v(PF) = a - b \cdot \ln PF \quad \text{bzw.}$$

$$\ln \sigma^2 = a - b \cdot \ln PF,$$

wobei  $PF$  die Probefläche und  $\sigma^2$  die Varianz der Stichprobe ist.  $a$  und  $b$  sind Konstanten.

Die Funktion erlaubt, die Varianz für eine beliebige Probeflächengrösse zu ermitteln. Für jede Probefläche kann dann die minimale Anzahl Proben für die Erreichung einer gewünschten Genauigkeit berechnet werden. Die geschätzte Varianz des Schätzers ist

$$\hat{V}ar\hat{Y} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_{k(x_i)} - \hat{Y}_k)^2 = \frac{1}{n} \cdot \hat{\sigma}_k^2,$$

wobei  $n$  die Anzahl Proben ist. Die gewünschte Genauigkeit wird oft mit dem Standardfehler in % des Schätzers ausgedrückt:

$$SF\% = \frac{\sqrt{\hat{V}ar\hat{Y}}}{\hat{Y}} \cdot 100 = \frac{\sigma_k}{\sqrt{n}} \cdot \frac{100}{\hat{Y}}$$

Daraus kann die notwendige Anzahl Proben  $n$  für eine bestimmte Genauigkeit ermittelt werden:

$$n = \left( \frac{100\sigma_k}{SF\% \cdot \hat{Y}} \right)^2$$

### 3.1.4.8. Optimale Probeflächengröße

Wenn die **Varianz** und der **Zeitaufwand** als Funktionen der Probeflächengröße  $f_V(PF)$  und  $f_T(PF)$  bekannt sind, kann die optimale Probeflächengröße berechnet werden. Die folgenden Formeln sind von den Arbeiten von COCHRAN (1977), TURCKHEIM (1986), LANZ (1987) abgeleitet. Die Funktion der **Varianz** einer einzelnen Probe ist definiert durch

$$f_V(PF) = \exp a \cdot PF^{-b},$$

wobei  $PF$  die Probenflächengröße ist. Eine andere Form der Darstellung ist

$$\ln f_V(PF) = a - b \cdot \ln PF \quad \text{bzw.} \quad \ln \sigma^2 = a - b \cdot \ln PF$$

Der **Zeitaufwand** ist definiert durch

$$f_T(PF) = T_M + T_V + T_P \cdot PF,$$

wobei  $T_M$  der Zeitaufwand für den Marsch zwischen den Proben ist,  $T_V$  der Zeitaufwand für die Vorbereitung einer Probe (sog. Installationskosten) und  $T_P$  der Aufwand für die Messung in der Probe mit der Fläche  $PF$ .

Aus  $f_V(PF)$  und  $f_T(PF)$  wird eine Optimierungsfunktion  $f_O(PF)$  abgeleitet, mit deren Hilfe die optimale Probeflächengröße ermittelt werden kann. Voraussetzungen sind, dass ein Optimum existiert und die Kosten in Form einer linearen Funktion ausgedrückt werden können.

$$f_O(PF) = f_V(PF) \cdot f_T(PF)$$

$$f_O(PF) = (\exp a \cdot PF^{-b}) \cdot (T_{MV} + T_P \cdot PF) \quad \text{wobei } T_{MV} = T_M + T_V$$

$$f_O(PF) = (\exp a \cdot PF^{-b}) \cdot (\gamma + \delta \cdot PF)$$

$$\text{wobei } \alpha = \exp a; \beta = -b; \gamma = T_{MV}; \delta = T_P$$

Für die exakte optimale Probefläche wird die 1. Ableitung der Optimierungsfunktion  $f_O$  gleich 0 gesetzt:

$$f'_O = (f_V(PF) \cdot f_T(PF))' = 0$$

Resultat:

$$PF_{OPT} = (-\gamma \cdot \beta) / (\delta + \delta \cdot \beta)$$

### 3.1.5. Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit

Das häufigste Auswerteverfahren für Stichprobeninventuren in der Schweiz ist die Poststratifizierung. Sie setzt voraus, dass der Gesamtwald in Teilgebiete (Straten) zerlegt werden kann, die sich unterscheiden. Die einzelnen Straten sollten in Bezug auf die Zielgrösse möglichst homogen sein, damit nur geringe Varianzen auftreten. Unter den Voraussetzungen, dass jede Probe einem Stratum zugeordnet werden kann und die Flächen der Straten bekannt sind (z.B. durch eine Bestandskarte), können Formeln für die Poststratifizierung angewendet werden. Sie gewichten die geschätzten Mittelwerte und Varianzen mit den Flächenanteilen der einzelnen Straten.

Die Art der Berechnung hat Konsequenzen für die Auswahl der Bäume und deren Aufnahmewahrscheinlichkeit. Die vorliegende Arbeit untersucht drei Varianten: Die **Variante 1** ist in der Theorie einzig richtige Variante, da sie sowohl bei der unstratifizierten als auch bei der poststratifizierten Stichprobe unverzerrte Schätzungen liefert. Für ihre praktische Durchführung sind jedoch modernste EDV-Mittel notwendig (GIS, Statistikprogramme), und die Anforderungen an die Genauigkeit der Bestandskarte sind am höchsten. Die **Variante 2** kann als „Praxisvariante“ bezeichnet werden. Sie ist nur bei unstratifizierten Stichproben völlig korrekt. Nach Meinung des Verfassers ist sie jedoch in plenterartigen Beständen mit heutigen EDV-Mitteln am leichtesten durchzuführen. Der Arbeitsaufwand für die Feldaufnahmen (Bestandskarte) ist geringer als bei Variante 1. **Variante 3** ist die Spiegelung (SCHMID 1969), die in der Praxis wegen ihrer einfachen Anwendung und den geringen Anforderungen an Messgeräte und EDV bis heute am häufigsten benutzt worden ist. Die Variante Spiegelung liefert bei unstratifizierten Stichproben nur dann verzerrungsfreie Schätzungen, wenn der Waldrand einen linearen Verlauf hat oder die Ecken einen 120°-Winkel (zweimalige Spiegelung) oder einen 90°-Winkel bilden (dreimalige Spiegelung).

Wenn ein Waldgebiet  $F$  mit der Fläche  $\lambda(F)$  in Straten  $F_j$  mit der Stratenfläche  $\lambda(F_j)$  zerlegt ist, müssen nach **Variante 1**, die das theoretisch korrekte Inventurverfahren darstellt, die im Probekreis  $K$  aufgenommenen Bäume  $i$  im selben Stratum  $F_j$  wie das Zentrum  $Z_K$  liegen (Abbildung 5).

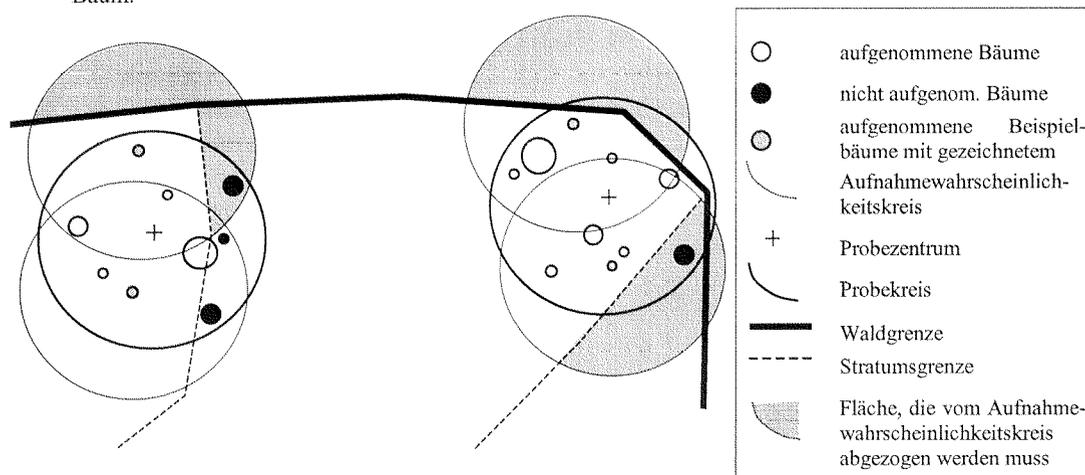
$$i \in K \cap F_j$$

Für die Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit eines Baumes  $\pi_i$  ist bei der Variante 1 die Schnittmenge vom Kreis  $K_i$  und Stratum  $F_j$  entscheidend. Der Kreis  $K_i$  hat den Baum  $i$  als Zentrum, und bei der einfachen Kreisprobe ist sein Radius mit demjenigen des Probekreises  $K$  identisch. Wenn die Proben  $x$  im Waldgebiet  $F$  uniform verteilt sind, ist die bedingte Aufnahmewahrscheinlichkeit definiert durch

$$\begin{aligned} \pi_i &= \pi_i^{(j)} \cdot P(x \in F_j) & i \in F_j \\ &= \frac{\lambda(K_i \cap F_j)}{\lambda(F_j)} \cdot \frac{\lambda(F_j)}{\lambda(F)} \end{aligned}$$

$$= \frac{\lambda(K_i \cap F_j)}{\lambda(F)}$$

**Abb. 5:** Auswahl Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit für Variante 1: nur Bäume, die im gleichen Stratum wie das Probezentrum stehen, und nur Fläche, die in gleichem Stratum liegt wie das Baum.



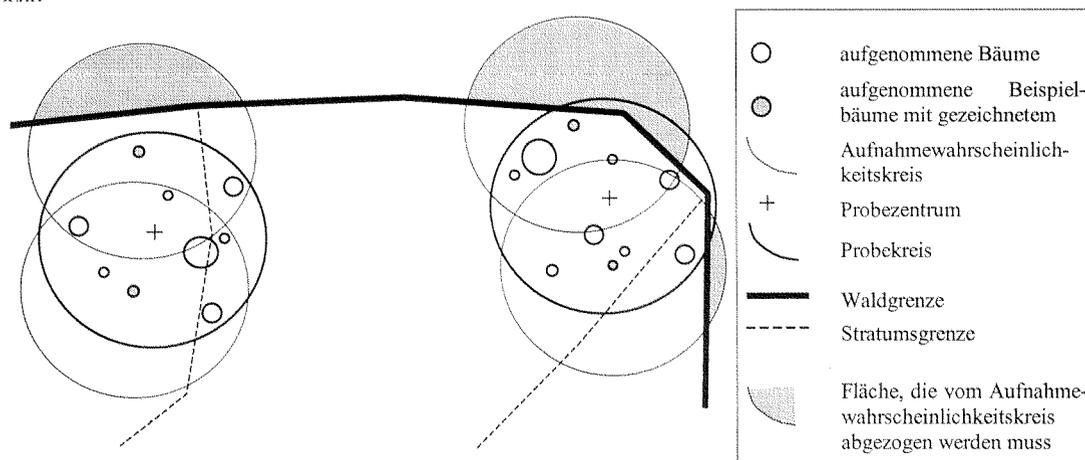
Bei **Variante 2** (Abbildung 6) werden alle im Probekreis  $K$  liegende Bäume  $i$  ausgewählt.

$$i \in K \cap F$$

Die Aufnahmewahrscheinlichkeit bei Variante 2 ist definiert durch

$$\pi_i = \frac{\lambda(K_i \cap F)}{\lambda(F)}$$

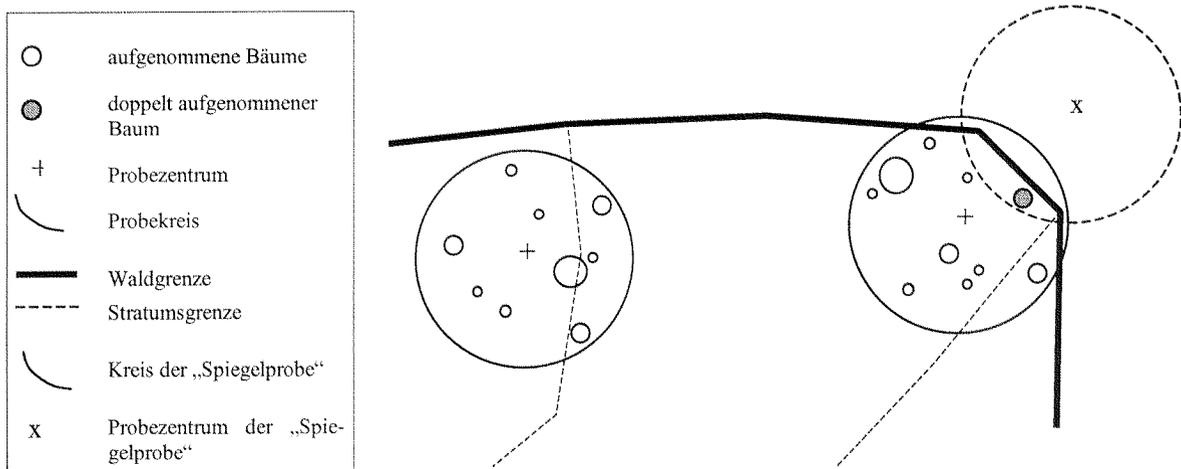
**Abb. 6:** Auswahl Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit für Variante 2: Bäume müssen nur im Wald und im Probekreis stehen. Für die Aufnahmewahrscheinlichkeit ist nur die Waldfläche ausschlaggebend



Bei **Variante 3** (Spiegelung, Abbildung 7) werden die gleichen Bäume ausgewählt wie bei Variante 2. Bei Randproben werden einige Bäume mit Hilfe von Spiegelproben mehrmals aufgenommen“. Die Aufnahmewahrscheinlichkeit ist bei allen Bäumen gleich:

$$\pi_i = \frac{\lambda(K_i)}{\lambda(F)}$$

Abb. 7: Auswahl Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit für Variante 3: Spiegelung.



Die Schätzungen für tatsächliche Inventuren im Schwarzenegg und im Toppwald werden mit alle drei. Varianten berechnet und verglichen. Dazu müssen die Lage der Bäume und die Stratengrenze genau bekannt sein. Die Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit ist folglich praktisch nur mit Hilfe von EDV zu bewältigen.

Wenn man sich mit Vorteilen der Poststratifizierung bedienen will, ist nur die 1. Variante in ihrem Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit theoretisch ganz richtig. Allgemein gilt, dass die Benutzung der

1. Variante bei der unstratifizierten sowie auch bei der poststratifizierte Stichprobe absolut korrekt ist,
2. Variante ist absolut korrekt nur bei der unstratifizierte Stichprobe,
3. Variante (Spiegelung) ist fast korrekt bei unstratifizierte Stichprobe.

Die 2. und 3. Variante liefern bei der Benutzung der Formel für die Stratifizierung nicht bisfreie Resultate. Die 3. Variante (Spiegelung) ist bei unstratifizierte Stichprobe korrekt nur wenn der Waldrand einfachen Verlauf hat. Das heisst die Waldgrenze ist bei der Probe gerade oder bei Ecken bildet ein 120° Winkel (Probe muss 2 mal gespiegelt werden) oder 90° Winkel (Probe muss 3 mal gespiegelt werden).

Weil der wahre Wert  $Y$  nicht bekannt ist, könnte nicht untersucht werden, wie gross die tatsächliche Verzerrung (*Bias*) ist. Bei dem Vergleich zwischen den einzelnen Varianten werden die Schätzungen von 1. Variante als wahrer Wert betrachtet. Dank dieser Annahme kann mittlere quadratische Fehler *MQF* bei 2. und 3. Variante berechnet werden.

$$MQF = Var(\hat{Y}) + (Bias(\hat{Y}))^2 \quad \text{wobei} \quad Bias(\hat{Y}) = (\hat{Y} - Y)$$

Die Verwendung *MQF* bei der 2. und 3. Variante ermöglicht einen Vergleich mit der Varianz der 1. Variante.

## 3.2. Untersuchungsobjekte

### 3.2.1. Allgemeine Bemerkungen

Für die Pilotinventuren werden zwei Gebiete im Emmental ausgewählt. Das Gebiet Schwarzenegg repräsentiert meistens gut ausgeformte Plenterwälder, das Gebiet Toppwald eine Mischung von Plenterwäldern mit Überführungswäldern und dem Femelschlag. Die Gebiete sind zwar standortlich nicht ganz identisch, aber sie liegen sich in diesem Sinne sehr nahe. Was die heutige Bewirtschaftung betrifft, sind sie fast identisch. In beiden wird Plenterung mit hoher Vorratshaltung praktiziert. Ein wichtiger Unterschied für diese Arbeit liegt in der Herstellung des grundlegenden Kartenmaterials. Im Toppwald wird eine digitale Karte direkt aus topographischen Messungen hergestellt. Im Schwarzenegg wird die bestehende Karte nachträglich digitalisiert.

### 3.2.2. Schwarzenegg

#### Lage und Grösse

Das Untersuchungsgebiet Schwarzenegg liegt ungefähr 15 km Ostnordost von Thun im südwestlichen Ecke des Emmentals. Das Gebiet liegt zwischen 855 m ü.M. (Rotache im Heimeneggbaan) und 1405 m ü.M. (unter Chnübeli am Grat von Honneg im Lindenwald). Wälder in diesem Untersuchungsgebiet gehören zur Waldabteilung 3 Thun – Niedersimmental im Kanton Bern. Den Plenterwaldanhängern ist dieses Gebiet aus der Literatur und von Exkursionen her bekannt. Besonders WALTER AMMON, der in diesen Wälder als Kreisoberförster tätig war hat diese Wälder durch zahlreiche Publikationen bekannt gemacht (z.B. AMMON 1927). Das untersuchte Gebiet ist aus fünf aneinander grenzenden Gemeidewäldern zusammengesetzt (Tabelle 7).

Tab. 7: Waldfläche nach Eigentümern im Untersuchungsgebiet Schwarzenegg.

Waldeigentümer	Ortsname	Fläche (ha)
Einwohnergemeinde Steffisburg	<i>Neuenbaan</i>	102
	<i>Heimeneggbaan</i>	76
Einwohnergemeinde Oberlangenegg	<i>Lindenwald</i>	63
	<i>Oberhubel</i>	20
Einwohnergemeinde Unterlangenegg	<i>Unterhubel</i>	36
	<i>Hänzenegg – Buechschachen</i>	77
Einwohnergemeinde Fahrni	<i>Grünenwald – Heimeneggbaan</i>	71
Rechtsamgemeinde Buchholterberg - Wachselhorn – Oberei	<i>Limpach</i>	75
<b>Gesamt</b>		<b>520</b>

#### Relief

Das untersuchte Gebiet kann nach dem Relief in zwei unterschiedliche Teile eingeteilt werden. Der **erste Teil** wird vorwiegend aus dem nordwestexponierten und konkaven Hang der Honeggkette (Neuenbaan, Limpach, Lindenwald, Hänzenegg und Buechschachen) gebildet. In höheren Lagen ist der Hang steil, im unteren Teil eher sanfter, oft mit kleineren oder grösseren Plateaux. Der Hang ist häufig durch kleine und grosse Gräben zerschnitten, so dass lokal oft

sehr steile Einhänge verschiedener Exposition entstanden sind. Der **zweite Teil** (Heimeneggbaan, Grüenewald, Ober- und Unterhubel, kleineres Teil von Neuenbaan) liegt in einer Hochebene Schwarzenegg - Heimenschwandi, die entweder flach oder vorwiegend nach Süd bis Südwest exponiert ist. Zwei kleine Hügel, Ober- und Unterhubel, die sich hier befinden, sind allseitig sanft abfallende Hügel. Heimeneggbaan und Grüenewald sind sanfte Hänge überwiegend mit süd-westlicher Exposition. In diesem Teil sind kurze steile Hänge nur in wenigen Bachgräben zu finden.

### **Klima**

Das Klima kann als rauh bezeichnet werden. Die Niederschläge bewegen sich nach der Regenkarte in unterem Teil um 1200 mm pro Jahr, in mittleren Lagen um 1500 mm pro Jahr und in den höchsten Lagen gegen 1800 mm pro Jahr und sind schneereich. Der Schnee liegt in höheren Lagen auf den nordexponierten Hängen Honeggkette viel länger als in unteren Lagen. Die mittlere Januar-temperatur bewegt sich zwischen  $-2^{\circ}\text{C}$  bis  $-5^{\circ}\text{C}$ , die Julitemperatur zwischen  $10^{\circ}\text{C}$  bis  $15^{\circ}\text{C}$ . Die Luftfeuchtigkeit ist immer relativ hoch. Die unteren flachen Teile sind ausgesprochene Frostlagen. Das Untersuchungsgebiet kann nach dem Klima auch in zwei Teilgebiete (wie nach dem Relief) eingeteilt werden. Die Honeggkette mit ihren Hängen und Gräben kann als ein Gebiet mit ozeanischem Klima bezeichnet werden. Das untere flachere Gebiet mit ihren Frostseen erinnert eher an ein kontinentales Klima.

### **Geologie**

Der Untergrund der Honeggkette besteht aus während der Molasseformation entstandenen wechselgelagerten Nagefluh-, Mergel- und Sandsteinschichten. In oberen Partien besteht dieser Untergrund hauptsächlich aus mächtigen Nagefluhbänken, die durchzogen sind von Mergel- und Sandsteinschichten. In den unteren Partien besteht der Untergrund vorwiegend aus Mergel- und Sandsteinschichten. Der Untergrund des unteren flachen Teiles ist hauptsächlich aus dem Moränematerial des Aaregletschers (Würmeiszeit, Quartär) gebildet. Durch Heimeneggbaan zieht sich ein Moränenwall.

### **Boden**

Allgemein hat sich ein tiefgründiger, frischer und fruchtbarer, sandig kiesiger, stellenweise jedoch nahezu reiner Lehmboden je nach Herkunft des Materials gebildet, der zu Vernässung neigt. Die verschiedenen Bodentypen kommen schon auf kleinem Raum, gleich wie der Bodenuntergrund, mosaikartig zusammen vor. Das Bodenspektrum beginnt mit Braunerde, die meistens sauer (besonders in flacheren Teilen) und eher selten ohne Vernässungszeichen ist. Sie kommt meistens an steileren Hängen der Honeggkette vor. Die Auswaschung der Braunerde schritt mit dem seltenem Vorkommen von Parabraunerden an der Honeggkette weiter. Häufiger ist aber die pseudovergleyte saure Braunerde. Auf eher sandigen Böden, wo keine Zufuhr von Material geschah (Plateau, Ebenen), hat sich Podsol gebildet. Dazu haben die starke Auswaschung – ermöglicht durch die hohe Niederschlagsmenge – und der gehemmte Abbau der organischen Substanz – verursacht durch die saure Reaktion des Bodens und das kalte Klima – beigetragen. Die Podsolböden sind häufiger im unteren flacheren Teil, besonders dort wo, sogenannten „Kaltsee“ (Frostlagen) zu finden sind. Am häufigsten sind aber im Untersuchungsgebiet vernässte Böden. Überall kommt in grösseren Flächen aber meistens nur mosaikartig der Pseudogley bzw. verbraunte Pseudogley vor. An sanfteren Hängen und in der Nähe von Bachläufen ist häufig Hanggley zu finden. An sehr vernässten Stellen kommt der Gley vor. Grössere Flächen mit Gley befinden sich überall im unteren Teil. Stagnogley gehört im Untersuchungsgebiet zu einer seltenen Erscheinung und kommt niemals grossflächig. Der letzte Bodentyp ist organischer Boden - Torf. Der ganze untere Teil ist ausgesprochene Frostlage wo sich in der kälteren Hälfte des Jahres Kaltseen bilden. Dies hemmt die Humuszersetzung und ermöglicht die Bildung von Torfböden. Die Niederungen um Ober-, Unterhubel, Heimeneggbaan und Grüenewald sind ehemalige Hochmoore, die verändert wurden und heute landwirtschaftlich genutzt werden. Darauf weisen auch die Flurnamen hin, wie z.B. Moos, Rohrimoos, Hüenermoos, Trappmoos, Ättebüelmoos, Stöckemoos, Lindemoos. Im Wald sind einige Reste von Hochmooren geblieben, die durch die Torfnutzung oder Entwässerungsgräben mehr oder weniger verändert wurden. Der

am besten erhaltene Rest von Hochmoor befindet sich zwischen Oberhubel und Farner im Tal des Fischbachs. Hauptsächlich im unteren Teil findet man überall auch zerstreut kleinere Flächen mit Torf, sogenannte Torfauen. Aus dem oben geschriebenen kann der Eindruck entstehen, dass der Untergrund sehr kalkarm ist, was nicht der Wahrheit entspricht. Der Kalk ist in den verschiedenen Schichten ganz unregelmässig gelagert. Ab und zu können kleinflächig kalkreiche Böden vorkommen, was sich sofort in der Vegetation widerspiegelt. Besonders in Moränenmaterial wechselt der saure Untergrund mit dem kalkreichen sehr schroff ab. In Heimeggbaan kann man Ausgüsse von Kalkflaum zwischen dem Torfmoos antreffen. Dieses theoretisch unmögliche Beispiel repräsentiert am besten die Verschiedenartigkeit des Unterbodens und Mosaikartigkeit von ganz unterschiedlichen Bodentypen in diesem Gebiet, was zu einem mosaikartigem Vertreten von Waldgesellschaften führt, das sich so günstig auf die Erhaltung der plenterartigen Strukturen auswirkt.

### Waldgesellschaften

Die Waldgesellschaften bilden im Untersuchungsgebiet sehr oft ein Mosaik und Übergänge. Das grossflächige Auftreten einer bestimmten Waldgesellschaft ist eher die Ausnahme. Abgesehen von einer Waldgesellschaft in der subalpinen Stufe, liegen alle Waldgesellschaften in der obermontanen Stufe (Ökogramm siehe im Anhang). Die häufigsten Standorte sind die Heidelbeer-Tannen-Fichtenwälder (*Vaccinio Abietetum*) die fast die Hälfte der Fläche einnehmen. Davon ist die trockene Ausbildung (46e), die meistens auf Plateau vorkommt, die häufigste. Auf nasserer Stellen kommt der typische Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald (46a *Vaccinio Abietetum typicum*) vor. Auf sehr feuchten und sauren Stellen mit grosser Rohhumusaufgabe erscheint der Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald mit Torfmoos (46s - *Vaccinio Abietetum sphagnetosum*). Er bildet oft Übergänge zu Hochmooren. Auf nährstoffreicheren nassen Böden kommt der Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald mit Hain-Gilweiderich (46g - *Vaccinio Abietetum lysimachietosum*) vor. Die zweithäufigste Gruppe von Standorten sind die Tannen-Buchenwälder (*Abieti-Fagetum*). Häufig ist der typische Tannen-Buchenwald (18a - *Abieti-Fagetum typicum*). Auf pseudovergleyten Braunerden bis auf Pseudogley kommt der Tannen-Buchenwald mit Wald-Ziest (18s - *Abieti-Fagetum. stachyetosum silvaticae*) vor. Auf eher trockeneren Stellen mit Parabraunerde oder saurer Braunerde erscheint eine artenarme Gesellschaft - der Tannen-Buchenwald mit Etagenmoos (18d - *Abieti-Fagetum hylocomietosum*). Auf steilen Hängen mit wechselnden Wasserverhältnissen, wo toniger Mergel die Unterlage ist, kommt artenreicher Tannen-Buchenwald mit Schlaffer Segge (18w - *Abieti-Fagetum caricetosum flaccae*) vor. Auf nassen Standorten mit Gley, Hanggley und Stagnogley findet man häufig typischen Schachtelhalm-Tannenmischwald (49a - *Equiseto-Abietum typicum*). Grossflächig ist dieser in Heimeggbaan, Grünenwald und Limpach zu finden. Typische Ausprägungen dieser Waldgesellschaft sind auf der Honeggkette zu finden. Im unteren flachen Teil findet man eher Übergänge dieser Waldgesellschaft zu anderen nassen Waldgesellschaften. Auf kalkhaltigen Böden kommt der Schachtelhalm-Tannenmischwald mit Esche (49f - *Equiseto-Abietetum fraxinetosum*) vor. Wegen den vielen Uebergängen und Schwierigkeiten die Grenzen zwischen diesen zwei Gesellschaften (49a und 49f) zu ziehen bzw. sie überhaupt sicher eindeutig zu bestimmen, werden beide Gesellschaften zusammengefasst als eine Gesellschaft und kartiert und ausgewertet, und zwar als Schachtelhalm-Tannenmischwald (49 - *Equiseto-Abietetum*). Die erste Gesellschaft (49a) ist dabei mindestens mit 90% in dieser zusammengefassten Gesellschaft enthalten. Auf einigen Graten oder in oberen Teilen des Hangs ist die pseudovergleyte Ausbildung des Tannen-Buchenwaldes mit Wald-Hainsimse (19ps - *Abieti-Fagetum luzuletosum, pseudovergleyte Ausb.*) anzutreffen. Seltener ist der typische Tannen-Buchenwald mit Wald-Hainsimse (19 - *Abieti-Fagetum luzuletosum*), der auf Kuppen und Graten vorkommt. Auf steileren, nordexponierten Hängen in oberen Lagen der Honeggkette und überall auf steileren, schattigen Hängen der Bachläufe, wo die Luftfeuchtigkeit hoch ist, findet man auf nährstoffreichen meistens sehr wenig entwickelten Boden den Farnreichen Tannen-Buchenwald (20a - *Abieti-Fagetum polystichetosum*). In der subalpinen Stufe (höchste Lagen im Lindenwald) wird diese Gesellschaft durch den typischen Alpendost-Fichten-Tannenwald (50a - *Adenostylo-Abietetum typicum*) ersetzt. Den Bächen entlang und überall an Stellen wo Quellen aufstossen, kommt der Seggen-

Bacheschenwald mit Alpendost (27ho - Carici remotae-Fraxinetum adenostyletosum) vor. Kleine Flächen in der Nähe von Bächen nimmt auch der Ahorn-Eschenwald mit Alpendost (26ho - Aceri-Fraxinetum adenostyletosum) ein. Die vorhandenen *Hochmoore* wurden durch menschliche Tätigkeit stark verändert. Dank der Entwässerung und bewussten oder unbewussten Düngung (z.B. Umschichtung des Bodens beim Strassenbau) ist die Bonität viel höher als natürlich und die Baumschicht entspricht nicht dem typischen Bild für die Hochmoor - Gesellschaften. Die Standorte werden nach der Krautschichtvegetation und der Mächtigkeit der Torfschicht entsprechend den nächstverwandten Waldgesellschaft zugeordnet. Bei der Torfmächtigkeit bis 70 cm wird die Gesellschaft als ehemaliger Torfmoos-Fichtenwald (56ex - Sphagno-Piceetum typicum ex) bezeichnet. Ueber 70 cm als ehemaliger Torfmoos-Berg-Föhrenwald (71ex - Sphagno-Pinetum uncinatae).

Die Flächen der einzelnen Waldgesellschaften und ihr Mosaik sind im Anhang aufgeführt.

### **Zustand und bisherige Bewirtschaftung**

Vor dem 19. und im 19. Jahrhundert wurden die Wälder in einer rohen Art der Plenterung bewirtschaftet, die sich auszeichnete durch starke Schläge, bei denen fast alles Starkholz ausgehauen wurde, und einer Umlaufzeit bis 30 Jahre (AMMON 1927). Die ursprünglich stark vertretene Buche wurde dank deren Beliebtheit als Brennholz und weil sie als unerwünschtes „forstliches Unkraut“ angesehen wurde, fast ausgerottet. Im 19. Jahrhundert hat sich der Einfluss von „klassischer Forstwirtschaft“ in einer plenterfeindlichen Waldbehandlung in Heimeneggbaan und Umgebung bemerkbar gemacht. Der nördliche Teil in Heimeneggbaan wurde kahlgeschlagen und mit Fichte aufgeforstet. Auf der restlichen Waldfläche wurde die Niederdurchforstung betrieben mit dem Ziel, gleichförmige Bestände zu erhalten. Das restliche Gebiet wurde von solchen Bestrebungen nicht so stark betroffen. Ab Ende des 19. Jahrhunderts wurde die „klassische Forstwirtschaft“ in allem Gebieten endgültig verlassen und die geregelte Plenterung als Bewirtschaftung praktiziert. Die gleichförmigen Wälder wurden in Plenterwälder überführt. Im ganzen 20. Jahrhundert wurde bestrebt, die Vertretung der Buche auf 10 bis 15% zu erhöhen. Auch das Waldstrassennetz wurde das ganze 20. Jahrhundert hindurch ausgebaut. Heute beträgt die Strassendichte je nach Eigentümer 35 bis 70 m/ha. Im 20. Jahrhundert wurden grosse Flächen von Mooren und vernässten Stellen mit Meliorationsgräben entwässert. Heute wird das Entwässerungsnetz nicht weiter erweitert und in der Regel auch nicht unterhalten. Bei Hochmooren ist heute die Tendenz zu beobachten, die Gräben zuzuschütten.

In den Wäldern ist die Tanne mit 56 %, die Fichte mit 41 % und die Buche mit 2 % vertreten. Bergahorn, Esche, Weide und Vogelbeere sind beigemischt. Die Tanne ist hier in ihrem ökologischen Optimum. Sie ist sehr vital und bis hohe Alter sehr wüchsig. Der häufige Tannenkrebs ist hier keine ernsthafte Erkrankung und verursacht keine nennenswerten Ausfälle, was die hohe Vitalität der Tanne nur bestätigt. Die Tannenjungwüchse sind äusserst schattenfest und können Unterdrückungszeiten über 100 Jahre ohne Schäden überstehen. Der Anteil der Fichte ist höher als ihre natürliche Vertretung auf diesen Standorten. Die Vertretung der Fichte ist im unteren Teil deutlich höher als auf der Honeggkette, was als eine Folge der ehemaligen Bewirtschaftung und Pflanzungen angesehen werden muss. Die Fichte ist hier fast so wüchsig wie die Tanne. Sie behält aber ihre Wuchskraft nicht bis in ein so hohes Alter wie die Tanne. In der Regel erreicht sie grössere Höhen als die Tanne. Die Fichtenjungwüchse sind entgegen Erwartung ausserordentlich schattenfest, und in diesem Sinne verhalten sie sich fast wie die Tannenjungwüchse. Die Buche kommt in höherer Beimischung nur auf steilen, schlecht zugänglichen Hängen der Honeggkette vor. Zu den wirtschaftlich interessanten beigemischten Baumarten gehört der Bergahorn, der besonders auf feuchten und nährstoffreichen Standorten grosse Dimensionen erreicht. Die Esche ist hier an ihrer oberen Verbreitungsgrenze und erreicht selten grosse, wirtschaftlich interessante Dimensionen. Ohne wirtschaftliche Bedeutung, aber aus ökologischer Sicht wünschenswert sind die Vogelbeere, die Erle und die Weide. Die sporadisch vorkommenden Gastbaumarten - Lärche, Weymuthföhre und Douglastanne schliessen das Baumartenspektrum in diesem Gebiet ab.

### 3.2.3. Toppwald

#### Lage, Grösse und Eigentümer

Das Untersuchungsgebiet Toppwald liegt ungefähr 4 km südöstlich von Konolfingen (Kanton Bern) am westlichen Rand des Emmentals. Das Gebiet liegt zwischen 820 m ü.M. (Tal des Wildeneigrabens) und 1180 m ü.M. (Ringgis). Die Wälder in diesem Untersuchungsgebiet gehören zur Waldabteilung 4 Emmental der Kantons Bern. Das untersuchte Gebiet besteht aus einem zusammenhängenden Waldkomplex mit einer Fläche von 359 ha. Das Untersuchungsgebiet liegt in den Katastern Gemeinden Bowil, Nieder- und Oberhünigen. Eigentümer ist der Kanton Bern.

#### Relief

Das untersuchte Gebiet kann nach dem Relief in zwei unterschiedliche Teile geteilt werden. Der **westliche Teil** bildet vorwiegend den nordwestlich exponierten Hang des Churzenberges. Dank den Gräben findet man auch Hänge mit anderen Expositionen. Steile lange Hänge sind eher selten. Eine Ausnahme findet man im nördlichen mittleren Teil, wo sich ein grösseres steiles Hang mit südwestlicher Exposition findet. Insgesamt überwiegen sanftere grossflächige Hänge und Plateaus. Der **östliche Teil** umfasst das tiefe Tal des Wildeneigrabens. Die gesamte Exposition des Tales und die Flussrichtung des Baches ist in etwa gegen Norden. Die steilen langen Hänge am linken Ufer sind meistens östlich bis südöstlich exponiert und nur von kleinen Bächen weiter zerschnitten. Die steilen Hänge am rechten Ufer sind meistens westlich bis nordwestlich exponiert und sind deutlich mehr durch tiefen Bachgraben zerschnitten. Am oberen Lauf des Wildeneigrabens im Süden finden sich grössere Flächen mit sanfteren Hängen.

#### Klima

Das Klima kann als rau bezeichnet werden. Die Niederschläge betragen zwischen 1100 – 1400 mm jährlich. Starkregen und Nassschnee sind relativ häufig. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 6,5°C. Die Luftfeuchtigkeit ist immer relativ hoch.

#### Geologie

Der Untergrund besteht hauptsächlich aus polygener Nagelfluh der oberen Meeresmolasse (Mittelland-Molasse des Miozäns). Die Nagelfluh besteht aus sehr verschiedenen Gesteinen, die als Gerölle vorkommen. Auch das Bindemittel ist sehr unterschiedlich. Es überwiegt ein eher saurer Untergrund. Man kann aber auch grössere Stellen mit Kalkstein im Geröll oder Kalk als Bindemittel finden.

#### Boden

Allgemein hat sich ein tiefgründiger, frischer und fruchtbarer Lehmboden gebildet. Die Böden sind skelettarm (häufiger) bis skelettreich (seltener). Oft neigen sie zur Vernässung. Der Untergrund verwittert relativ schnell, und bilden sich Böden die stark erosions und rutschgefährdet sind. Häufigster Bodentyp ist die Braunerde, die meistens sauer (besonders auf Plateaus) und eher selten ohne Vernässungsanzeichen ist. Sie kommt meistens an Hängen vor. Häufig ist auch die Parabraunerde. Sie kommt häufig auf sanfteren Hängen vor. Pseudovergleyte saure Braunerde findet man auf Plateaus und in Mulden. Auch im Toppwald sind vernässte Böden sehr häufig. Auf Plateaus und in Mulden kommt oft der Pseudogley vor. Auf Hängen von Bachläufen ist Hanggley häufig. Auf sehr vernässten Stellen wie Mulden und Täler kommt manchmal auch grossflächig der Gley vor.

#### Waldgesellschaften

Die Mehrheit der Waldfläche liegt in der obermontanen Stufe (Ökogramm siehe im Anhang). In diese Höhestufe sind die Tannen-Buchenwälder (Abieti-Fagetum) im Toppwald am häufigsten. Unter ihnen kommt der Tannen-Buchenwald mit Etagenmoos (18d - Abieti-Fagetum *hylocomietosum*) oft vor. Diese relativ artenarme Waldgesellschaft befindet sich besonders oft und grossflächig auf sanfteren Hängen und Graten mit Parabraunerde oder saurer Braunerde. Sie bildet häufig Übergänge zu 46e. Der typische Tannen-Buchenwald (18a - Abieti-Fagetum *typicum*) kommt hauptsächlich auf den Hängen mit nördlicher Exposition vor. Auf steileren Hängen

überwiegend mit südlicher Exposition findet man grössere zusammenhängende Flächen seiner Ausbildung mit Wald-Schwingel (18aF). Auf pseudovergleyten Braunerden bis auf Pseudogley kommt in Mulden oder in der Nähe von Quellgebieten der Tannen-Buchenwald mit Wald-Ziest (18s - *Abieti-Fagetum. stachyetosum silvaticae*) vor. Auf einigen sehr steilen Hängen im östlichen Teil kommt artenreicher Tannen-Buchenwald mit Schläffer Segge (18w - *Abieti-Fagetum caricetosum flaccae*) vor. Zweithäufigste Standortsgruppe bilden die Heidelbeer-Tannen-Fichtenwälder (*Vaccinio Abietetum*). Davon ist die trockene Ausbildung (46e), die meistens auf Plateaus vorkommt, die häufigste. Auf Hängen bilden sich sehr oft Übergänge zu 18d. Auf näherem Stellen kommt der typische Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald (46a *Vaccinio Abietetum typicum*) vor. Auf sehr feuchten und sauren Stellen mit grosser Rohhumusaufgabe erscheint der Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald mit Torfmoos (46s - *Vaccinio Abietetum sphagnetosum*). Er ist im Toppwald allerdings sehr selten und kommt nur kleinfächig vor. Auf einigen Graten oder sehr steilen Hängen ist der Tannen-Buchenwald mit Wald-Hainsimse (19 - *Abieti-Fagetum luzuletosum*) anzutreffen. Den Bächen entlang und überall an Stellen, wo Quellen aufstossen, kommt der Seggen-Bacheschenwald mit Alpendost (27<sup>ho</sup> - *Carici remotae-Fraxinetum adenostyletosum*) vor. Auf ähnlichen aber nicht so nassen Stellen kommt der Ahorn-Eschenwald mit Alpendost (26ho - *Aceri-Fraxinetum adenostyletosum*) vor. Auf sehr steilen Hängen im östlichen Teil findet man den Eiben-Buchenwald (17 *Taxo-Fagetum*) oder dessen Ausbildung mit Buntem Reitgras (17c *Taxo-Fagetum*, Ausb. mit *Calamagrostis varia*).

Im Norden des westlichen Teils auf westlich bis südlich exponierten Hängen kommen Standorte der untermontanen Stufe vor. Es handelt sich um saure bis mittlere Standorte. Auf Graten und eher trockeneren Standorten findet man die Ausbildung für höherer Lagen des typischen Wald-Hainsimsen-Buchenwaldes (1a<sup>ho</sup> *Luzulo silvaticae-Fagetum typicum*). Am häufigsten ist aber der Waldhirsens-Buchenwald (8 *Milio-Fagetum*). Davon nimmt der Waldhirsens-Buchenwald mit Hainsimse (8d *Milio-Fagetum luzuletosum*) die grösste Fläche ein. Auf nasseren Stellen kommt Waldhirsens-Buchenwald mit Wald-Ziest (8s *Milio-Fagetum stachyetosum silvaticae*) vor. Auf sehr sauren Stellen kommt auch der Waldhirsens-Buchenwald mit Rippenfarn (8\* *Milio-Fagetum blechnetosum*) vor.

### Zustand und bisherige Bewirtschaftung

Vor dem 19. und am Anfang des 19. Jahrhunderts wurden die Wälder in einer Art der Plenterung bewirtschaftet. Beim Laubholz wurden auch die Stockauschläge ausgenutzt und lokal auch Niederwaldbewirtschaftung betrieben. Mit dem Wirtschaftsplan von 1865 kommt in Toppwald die Kahlschlagbewirtschaftung auf. Die Umtriebszeit wurde auf 100 Jahre festgesetzt. Besonders im westlichen Teil wurden grössere Fläche kahlgeschlagen. Später (nach dem Wirtschaftsplan aus dem Jahre 1885) wurden Kahlschläge nur in alten und relativ gleichförmigen Beständen gemacht. Die Kahlschlagbewirtschaftung wurde nach dem Wirtschaftsplan 1895 verlassen und durch Femelschlagbewirtschaftung ersetzt. Im 20. Jahrhundert hat sich die Plenterung wieder stärker durchgesetzt und hat mit der Zeit über die Femelschlagbewirtschaftung die Oberhand gewonnen. Obwohl auch heute der Toppwald in zwei Bewirtschaftungsteile unterteilt wird – Plenterung und Femelschlag – kann die Plenterung als Hauptziel auf der ganzen Fläche betrachtet werden. Dank dieser Entwicklung können im Toppwald verschiedene Bestandesstrukturen (-typen) gefunden werden. Am wenigsten sind die gleichförmigen Bestände vertreten. Es ist zu erwarten, dass ihr Anteil mit der Zeit immer kleiner wird. Häufiger als gleichförmige Bestände sind die Plenterwälder, die besonders im östlichen Teil stark vertreten sind. Für Toppwald sind Plenterwälder mit viel Starkholz charakteristisch. Die grösste Fläche nehmen die Überführungsbestände ein. Überführungsbestände aus ehemals gleichförmigen Beständen überwiegen deutlich. Überführungsbestände aus vernachlässigten Plenterwäldern sind dagegen eher selten.

In den Wäldern ist die Tanne mit 47 %, die Fichte mit 40 % und die Buche mit 8 % vertreten. Die restliche Anteile nehmen hauptsächlich einheimische Laubhölzer – Bergahorn, Esche, Eiche – und Exoten wie Weymutsföhre, Douglasietanne, Lärche, Weide, Erle und Vogelbeere sind beigemischt. Die Tanne ist hier in ihrem ökologischen Optimum. Die Tannenjungwüchse sind äusserst schattenfest und können Unterdrückungszeiten über 100 Jahre ohne Schäden über-

standen. Der Anteil der Fichte ist dank der früheren Pflanzungen höher als ihre natürliche Vertretung auf diesen Standorten. Die Buche kommt in fast reinen Beständen auf westlich bis südlich exponierten Hängen vor. Bergahorn kommt besonders auf feuchten und nährstoffreichen Standorten vor. Die Esche kann auf nassen Standorten wirtschaftlich interessante Dimensionen erreichen.

### 3.3. Erhebungen im Gelände und deren Auswertung

#### 3.3.1. Inventurverfahren

Als Inventurverfahren wird die einfache (nicht konzentrische) systematische Kontrollstichprobe benutzt. Die Arbeiten halten sich an die Aufnahmeinstruktion für die Kontrollstichproben (SCHMID-HAAS, BAUMANN, WERNER 1993) und entsprechen den gültigen Vorschriften des Kantons Bern. Im Toppwald ist die Probefläche 4 Aren und in Schwarzenegg 5 Aren gross. Die Kluppschwelle liegt bei beiden Inventuren bei 8 cm. Die Azimute und Hangneigung werden mit dem Wyssen - Kompass gemessen. Die Distanzen zwischen den Proben werden mit einem 50m Messband und die Distanzen innerhalb der Probe (Polarkoordinaten einzelnen Bäumen) mit einem selbstaufrollenden Messband ermittelt. Die Durchmesser werden mit einer 80 cm Kluppe gemessen. Die Bäume, die diese Grenze (80 cm) überschreiten, werden mit dem Umfangmessband gemessen. Die Messstelle wird genau nach Aufnahmeinstruktion ausgesucht. Die Probenzentren werden mit Aluminiumröhrchen markiert. Das bedeutet bei einer Erstaufnahme werden die Röhrchen ungefähr 5 cm unter dem Bodenniveau eingeschlagen. Das Stativ mit der Bussole wird direkt neben das Aluminiumröhrchen gestellt. Das Probenetz bei beiden Inventuren beträgt zwischen den Proben in der Linie 80 m und zwischen den Linien 150 m. Dies entspricht einer Probedichte – 1 Probe/1,2 ha. Dieses Probenetz stellt das am häufigsten benutzte Probenetz im Kanton Bern. Die Orientierung der Linien ist bei beiden Inventuren West - Ost. Die Proberadien werden bei den Proben im Hang ab 10% Hangneigung mit dem Kosinus der Hangneigung direkt bei der Aufnahme korrigiert bzw. vergrößert. Die Grenzproben werden nicht gespiegelt, sondern nur ihre Lage wird genau vermessen. Die Berechnungen der Aufnahmewahrscheinlichkeiten der Bäume werden in einem GIS-Programm durchgeführt.

#### 3.3.2. Bestandskartierung

##### 3.3.2.1. Methodische und allgemeine Bemerkungen

Im **Toppwald** lag der Zeitpunkt der Kontrollstichprobe ab der möglichen Durchführung einer neuen für Plenterwälder spezieller Bestandskartierung zwei Nutzungsperioden<sup>1</sup> und fast 3 Jahre voneinander. Bei einem 10 jährigen Nutzungturnus hat sich mindestens 20% der Bestandesfläche wegen der Nutzung in ihre Struktur verändert. Die restlichen 80 % wurden mehr oder weniger nur durch Zuwachs verändert. Aus diesem Grund wird die bestehende Bestandskartierung, die durch die Forstinspektion Mittelland des Kantons Bern nach deren Kartierungsschlüssel (siehe Kap 2.3.1.2.) im Jahre 1993 hergestellt wurde, auch für weitere Untersuchungen im Toppwald übernommen. Damit wird im Toppwald auf die Herstellung einer neuen speziellen Bestandskarte für plenterartige Bestände verzichtet.

Im Untersuchungsgebiet **Schwarzenegg** wurde eine spezielle Bestandskartierung ein Jahr nach der Stichprobe durchgeführt. Ausnahme waren Bestände, die im Winter nach der Durch-

<sup>1</sup> Im Emmental wird fast immer nur im Winter bzw. bei Vegetationsruhe genutzt. Deshalb habe ich den Begriff Nutzungsperiode statt Nutzungsjahr verwendet.

führung von Stichprobenaufnahmen genutzt werden sollten. Diese Bestände wurden gleich nach den Stichprobenaufnahmen und vor der Nutzungen kartiert.

Das forstliche Detail wird direkt im Wald auf eine Karte in Massstab 1 : 2 500, die aus der bestehende Bestandeskarte in Massstab 1 : 5 000 vergrössert wird, gezeichnet. Zielgenauigkeit bei den Bestandes- und Standortgrenzen ist in der Nähe der unbestockten Flächen 5 m und im Bestandesinnerem 10 m. Die minimale Grösse des ausgeschiedenen Bestandes war nach der Waldstruktur unterschiedlich. Die Bestände, die sich von ihren benachbarten Beständen deutlich unterschieden, wie z.B. Blössen, Jungwüchse und Dickungen, wurden schon ab 4 Aren Grösse ausgeschieden. Bei anderen Beständen betrug die minimale Bestandesgrösse mindestens 8 Aren und bei plenterartigen Beständen gegen 10 Aren.

### 3.3.2.2. Einteilung in Betriebsarten

Im Schwarzenegg werden die Bestockungen in drei Hauptgruppen von Betriebsarten geteilt. Zur ersten Gruppe gehören gleichförmige Wälder. Sie werden nach dem Schlüssel für den Femelschlag (z.B. SCHMID-HAAS et al. 1993) ausgeschieden. Die zweite Gruppe umfasst Überführungsbestände und die dritte Gruppe gut ausgeformte Plenterwälder. Die zwei letzten Gruppen könnten als plenterartige Beständen zusammengefasst werden. Für plenterartige Bestände wurde ein neuer Kartierungsschlüssel, der auf einer Dreiteilung in Schichten und deren Bewertung basiert, benutzt.

Die **gleichförmigen** Wälder unterscheiden sich bei dieser Kartierung von plenterartigen Beständen durch folgende Merkmale: Die Bestockung ist deutlich gleichförmig und meistens auch gleichaltrig. Sie besteht überwiegend nur aus einer Schicht, die meistens nicht differenziert ist. Andere Schichten sind, wenn überhaupt, nur sporadisch vertreten. Alle einschichtigen Bestände werden als gleichförmig eingestuft. Zweischichtige Bestände, die aus einer nicht differenzierten Oberschicht bzw. Mittelschicht und einer grossflächigen Verjüngung oder aus einer nicht differenzierten Unterschicht bestehen, werden auch als gleichförmig eingestuft. Zweischichtige Bestände, deren Schichten differenziert und deutlich ungleichförmig sind, werden als Überführungsbestände eingeordnet. Dreischichtige Bestände werden nie als gleichförmig eingestuft.

Als **Überführungsbestände** gelten solche Bestände, die nicht mehr als gleichförmig oder noch nicht als ausgeglichene Plenterwälder eingestuft werden können. Sie können zwei- oder dreistufig sein. Zweischichtige werden als Überführungsbestände bezeichnet, wenn ihre beiden oder mindestens eine Schicht differenziert sind. Eine Ausnahme dieser Regel bilden zweischichtige Bestände mit differenziertem Jungwuchs und nicht differenzierte Oberschicht bzw. Mittelschicht, die als gleichförmig eingeordnet werden. Bestände, bei welchen alle drei Schichten vorhanden sind, aber eine oder mehrere Schichten deutlich untervertreten sind, bzw. deutlich übervertreten sind, sind auch als Überführungsbestände einzuordnen. Dreischichtige Bestände, deren eine oder mehrere Schichten deutlich gleichförmig sind, sind als Überführungsbestände und nicht als ausgeglichene Plenterwälder einzustufen, obwohl die einzelnen Schichten optimal vertreten sind.

Allgemein kann man sagen, dass alle ungleichförmige Bestände, die sich der gewünschten Plenterstruktur (Modellvorstellung) nicht früher als in 20 bis 40 Jahren bzw. nach 2 bis 3 Eingriffen nähern, als Überführungsbestände eingestuft werden. Weil die einzelnen Überführungsbestände ganz unterschiedliche Strukturen aufweisen, und extrem inhomogen sind, wurde am Anfang der Kartierungen ein Versuch gemacht, sie weiter in zwei Gruppen zu unterscheiden: in Überführungsbestände, die der Plenterstruktur nahe sind, und in Überführungsbestände, die von der Plenterstruktur weit entfernt sind. Wegen der zu erwartenden geringen Anzahl Proben pro Stratum wird auf diese Unterteilung aber weiter verzichtet. Bei einer grösseren Anzahl Proben oder in Betrieben, die erst in Überführung stehen, wäre diese Unterteilung aber sinnvoll.

Zur **Plenterwäldern** gehören alle Bestände, deren Struktur der „idealen Plenterstruktur“ entspricht oder Bestände, die annähernd ideal aufgebaut sind. Die Plenterwälder verfügen immer

über alle drei Schichten (Ober-, Mittel- und Unterschicht). Mit annähernd ideal aufgebaut ist gemeint, dass die Bestände nicht unbedingt der Modellvorstellung entsprechen. Eine oder mehrere ihre Schichten können über- oder untervertreten sein. Zu dieser Modellvorstellung könnten aber schon 2 bis 3 Eingriffe bzw. in 20 bis 40 Jahre führen. Wenn die „ideale Plenterstruktur“ nur mit einem Eingriff erreicht werden kann gilt der Bestand als ideal aufgebaut obwohl seine heutige wirkliche Struktur nicht der idealen entspricht. Beim Plenterwald kann allerdings keine Schicht mit 0 bewertet werden (Bewertung der Schichten siehe unten). Ausnahme dieser Regel ist Jungwuchs.

### 3.3.2.3. Schichtzugehörigkeit bei plenterartigen Beständen

Die plenterartigen Bestände (Plenterwälder und Überführungswälder) wurden weiter nach ihrer Bewertung der Schichten geteilt. Das ganze Bestandesgefüge wurde in drei Hauptschichten geteilt. Diese Teilung basiert auf der Oberhöhe und ist ähnlich wie bei der IUFRO-Klassifikation (Kap. 2.3.1.1.). Aus bisherigen Kontrollstichproben, die im Raum Schwarzenegg und Honneg durchgeführt wurden, wird eine Höhenkurve ermittelt. Nach dieser Kurve bewegt sich die Oberhöhe im Durchschnitt um 40 m und wurde durchschnittlich beim BHD 75 cm erreicht. Auf Torfböden erreichen die Bestände mit Mühe die 30m Oberhöhe. Auf guten Standorten erreichen die Bäume 45 m Oberhöhe und einzelne Bäume überschreiten auch die Höhe von 50 m. Nach der IUFRO-Klassifikation werden die Grenzen zwischen den Schichten festgelegt (Tabelle 8).

Tab. 8: Obere Höhen einzelner Schichten nach Standort. Schwarzenegg, plenterartige Bestände.

Standort	Höhe in m			BHD in cm		
	„Plenter- oberhöhe“	Grenze Unter- Mittelschicht	Grenze Mittel- Oberschicht	Unterschicht	Mittelschicht	Oberschicht
<b>Durchschnittlich</b>	<b>40</b>	<b>13</b>	<b>26</b>	<b>bis 16</b>	<b>16 -32</b>	<b>über 32</b>
Schlechtere Standorte	30	10	20	bis 12	12 - 24	über 24
Bessere Standorte	45	15	30	bis 18	18 - 42	über 42

Im Feld wird die Oberhöhe geschätzt. Im Untersuchungsgebiet werden bei dieser Schätzung meistens nur die Höhen bei TA und FI berücksichtigt, weil die andere Baumarten auch in einzelnen Beständen selten die 5% Volumenanteilgrenze überschreiten und daher das Bestandesbild kaum prägen. Im Plenterwald macht die Schätzung der Oberhöhe keine grossen Probleme, da immer genug grosse alte Bäume vorhanden sind, auf welche sich die Schätzung stützen kann. Dies ermöglicht die Oberhöhe nach dem jeweiligen Standort immer anzupassen. Probleme mit der Bestimmung der Oberhöhe können bei Überführungsbeständen, die noch keine grossen Bäume haben, auftreten. Bei ihnen kann eine Schätzung aus einem benachbarten Bestand auf gleichem Standort benutzen werden. Wenn das auch nicht möglich ist stösst diese Bestandeskartierung an ihre Grenzen und ist nicht mehr durchführbar. Deshalb ist sie besonders geeignet für gut ausgeformte Plenterwälder oder Überführungswälder mit genug Starkholz.

Die praktische Einordnung von einzelnen Bäumen zur bestimmten Schicht, kann auf zwei Grenzen zwischen den 3 Schichten beschrieben werden.

**Obere Grenze** - die Grenze zwischen Oberschicht und Mittelschicht sollte bei 2/3 der Oberhöhe liegen. Wenn diese Grenze deutlich überschritten wird, werden auch überschirmte Bäume zur Oberschicht gezählt. Bei Bäumen an der Grenze wird die Schichtzugehörigkeit nach der soziologischen Stellung (Kap. 2.3.1.1.) bestimmt. Die Bäume, die nicht überschirmt oder deren Kronen nicht durch Konkurrenz benachbarter Bäume im Wachstum behindert werden, werden in der Oberschicht eingestuft. Bäume, die überschirmt werden oder deren Kronen deutlich von der Konkurrenz benachbarter Bäume bedrängt werden, werden in der Mittelschicht eingestuft.

**Untere Grenze** - die Grenze der Mittelschicht zur Unterschicht ist schwieriger zu bestimmen als die obere Grenze. Im Unterschied zur oberen Grenze lag die gestellte untere Grenze unab-

hängig vom Standort fast immer bei 12 m Höhe und nicht bei 1/3 der Oberhöhe (vgl. auch Kap. 2.3.1.1.). Die Einordnung in eine Schicht war in einem Lichtschacht anders als im Bestandesinneren. In einem *Lichtschacht*, wo die Bäume schon als kleine Pflanze grossen und regelmässigen Höhenzuwachs hatten und keinen Unterdrückungszeit erleben mussten, geschieht die Einordnung ausschliesslich nach der Höhe. Bei Bäumen, die im Plenterwald „klassisch“ auswachsen, d.h. mit der Unterdrückungszeit im *Bestandesinneren*, kann die soziologische Stellung bei Zweifelsfällen an der Grenze eine entscheidende Rolle spielen. Die Bäume, die in ihrem Wachstum und besonders im Höhenwachstum immer noch gebremst sind und als Unterdrückte bezeichnet werden können, werden zur Unterschicht gezählt. Für sie ist ein verlangsamtes Wachstum auffällig. Der Terminaltrieb ist im Maximum gleich so gross wie die Seitentriebe, aber eher kurzer. Die gesamte Krone macht ein flachen Eindruck. Zur Mittelschicht werden Bäume an der Grenze mit spitzer Krone, deren Terminaltrieb eindeutig länger als die Seitentriebe ist, gezählt. Die Überschildung spielt beim Entscheid, ob der Baum in die Mittel- oder Unterschicht eingeordnet wird, keine Rolle.

Bei der durchgeführten Bestandeskartierung wurde noch eine „vierte Schicht“ angesprochen, und zwar **Jungwuchs**. Zu ihr sollten zuerst alle Bäumchen unter 1,30 m gehören. Zum Jungwuchs sollten aber alle Baumindividuen eingeordnet werden, die unter Einflüssen leiden können, welche bei anderen Schichten keine Rolle spielen. Zu solchen Einflüssen kann z.B. Wildverbiss (aber auch Fegen), Konkurrenz durch Krautschicht oder im Gebirge Einfluss von liegendem Schnee gehören. Nach einer solchen Definition wäre die Höhengrenze des Jungwuchses je nach Art der Krautschicht, Wildart oder Höhe der Schneedecke unterschiedlich. Die Höhe von 1,30 m wurde wegen ihrem häufigen Gebrauch in der Forstwirtschaft als Unterscheidungskriterium zwischen Jungwuchs und Dicketung im gleichförmigen Wald. Diese Grenze zwischen Jungwuchs und Unterschicht wird aber nicht streng bei 1,30 m eingehalten und in der Regel liegt diese Grenze bei der praktischen Kartierung etwas höher (bis zu 1,80 m). Der Grund dafür waren grössere differenzierte Jungwuchsgruppen, die sich eindeutig von ihrer Umgebung unterschieden und wo sich auch einzelne grössere Bäumchen befanden. Von der strengen Unterscheidung zwischen Jungwuchs und Unterschicht nach 1,30 m wird bei der Kartierung damit abgesehen.

#### 3.3.2.4. Bewertung der Schichten bei plenterartigen Beständen

Nach der Einteilung des Bestandesgefüges in Schichten soll die Vertretung der einzelnen Schichten in Anlehnung an ABETZ (1950) bewertet werden. Die Bewertung geschieht über eine gutachtliche Ansprache des Bestandes. Auf zusätzliche Messungen wird verzichtet. Diese Ansprache wird mit Musterbeständen (ideal aufgebaute Plenterwälder) verglichen. Die Musterbestände werden bei der Begehung mit Kreisoberförstern und Revierförstern ausgewählt. Interessant ist, dass zwischen den verschiedenen Personen Einigkeit über die ideale Struktur herrschte. Bei der Frage, was noch Plenterwald sei bzw. wann der Bestand noch ideal aufgebaut sei, zeigten sich Differenzen. Deshalb wird eine sehr einfache Bewertung angestrebt, die den Einfluss von Subjektivität minimiert. Die einzelnen Schichten können nur drei Werte (1 = zu wenig 2 = genug bzw. optimal und 3 = zu viel im Vergleich mit dem Musterbestand vertreten) einnehmen. Für Überführungsbestände hat sich die Einführung des 4. Wertes (0 = überhaupt oder fast nicht vorhanden) als zweckmässig gezeigt. Die Werte für einzelne Schichten werden im Folgenden als **Plenterzahlen** benannt. Der Gesamtbestand wird dann durch eine Ziffer, die aus diesen Plenterzahlen für einzelne Schichten zusammengesetzt wird, repräsentiert. Diese Ziffer wird weiter als **Plenterziffer** bezeichnet.

Die **Oberschicht** kann mit der Plenterzahl 3 (d.h. zu viel bevorratet) bewertet werden, wenn die Mehrheit der Bäumen in der Oberschicht sich mit ihren Kronen berühren. Für den optimalen Zustand bei der Oberschicht mit der Plenterzahl 2 ist charakteristisch, dass die einzelnen Baumkronen sich meistens nicht berühren und die entstandenen Lücken zwischen ihnen (nicht der Abstand zwischen den Stämmen) durchschnittlich die Hälfte bis eine ganze Kronenbreite eines durchschnittlichen Baumes in der Oberschicht gross sind. Plenterzahl 1, die zu wenig Vertretung

charakterisiert, bekommen solche Bestände, deren Lücken zwischen den einzelnen Baumkronen der Oberschicht grösser als 1,5 Breite der Krone sind. Plenterzahl 0 bekommen nur Überführungsbestände, die keine oder nur vereinzelt Bäume aufweisen. Man kann sie mit Überhältern bei gleichförmigen Wäldern vergleichen.

Die Bewertung der **Mittelschicht** erfolgt am besten unter Mitberücksichtigung des Zustandes anderer Schichten oder der Krautschicht. Die Plenterzahl 3 bekommt die Mittelschicht, wenn die Kronen der Mittelschicht oft gedrängt sind und die Unterschicht und der Jungwuchs unter dem Lichtmangel leiden. Die Kronenlängen sind meistens im Vergleich mit der idealen Struktur sehr gering. Sie überschreiten selten die Hälfte der Baumhöhe. Im Durchschnitt betragen sie oft nur ein Drittel der Baumhöhe. Die einzelnen Kronen berühren sich fast immer. Typisch ist auch die Homogenisierung dieser Schicht. Die Höhenzuwächse der Unterschicht sind sehr klein. Die Terminaltriebe sind bei ihr oft kürzer als die Seitentriebe. Kronen der Unterschicht sehen sehr durchlässig aus und haben oft keine oder nur wenig Lichtnadeln. Die Krautschicht ist wenig üppig. Häufig weisen die Flächen nur Streu und keine Krautschicht auf. Der Boden ist dann oft nur mit Moosschicht und vereinzelt Pflanzen bedeckt. Plenterzahl 2 charakterisiert den Zustand, in dem gerade genug Bäume in der Schicht vertreten sind. Ihre Kronenlänge entspricht der Hälfte der Baumhöhe und überschreitet sie oft. Die ganze Mittelschicht ist meistens differenziert und zeigt keine Tendenz zur Gleichförmigkeit. Die einzelnen Kronen können sich berühren, sind aber nicht gedrängt oder sogar deformiert. Bäume ohne seitliche Berührung von anderen Bäumen sind häufig. Die Krautschicht ist deutlich üppiger als bei Plenterzahl 3. Die Farne sind in diesem Untersuchungsgebiet oft häufig. Ab und zu bilden sich grössere Flächen mit Gras. Trotzdem ist der Boden von der Krautschicht nicht völlig überdeckt. Die ganze Krautschicht macht ein Eindruck einer Mosaik, wo sich kahle Stellen nur mit Streu mit üppig bewachsenen Stellen abwechseln. Plenterzahl 1 deutet auf weniger Bäume in der Schicht als „Optimum“ hin. Die einzelnen Kronen berühren sich nur in kleineren Gruppen. Die Bäume ohne seitliche Berührung von Kronen überwiegen deutlich. Der Terminaltrieb bei Bäumen in der Unterschicht und im Jungwuchs ist deutlich länger als die Seitentriebe. Der Boden ist meistens mit der Krautschicht völlig bedeckt. Es überwiegt oft der grasige Aspekt. All diese Merkmale können auch zusammen mit der Plenterzahl 3 der Oberschicht auftreten. Der ganze Bestand beginnt einen zweischichtigen Charakter zu haben. Die Überführungsbestände mit der Plenterzahl 0 für die Mittelschicht haben eindeutig einen zweischichtigen Charakter und ähnelten dem spät geräumten Schirmschlag.

Der Vergleich der **Unterschicht** mit dem „Ideal“ (Musterbestand) ist aus allen Schichten am leichtesten. Die Unterschicht bekommt die Bewertung mit der Plenterzahl 3, wenn Kronen der Unterschicht mehr als die Hälfte der Bestandesfläche überdecken. Solche Bestände bestehen aus grösseren gedrängten Baumgruppen in der Unterschicht. Ihre Baumkrone ist dann klein und hoch eingesetzt. Die Wirkung auf den Jungwuchs und die Krautschicht ist noch deutlicher als bei der Mittelschicht. Bei Beständen, deren Bestandesfläche zwischen einem Drittel und der Hälfte von den Kronen der Unterschicht überschirmt sind, wird die Unterschicht mit der Plenterzahl 2 bewertet. Die grossen Gruppen von gedrängten Bäumen in der Unterschicht sind nicht so zahlreich wie bei der Plenterzahl 3 und sind weniger häufig als vereinzelt Bäume oder kleine differenzierte Gruppen. Das ganze Bild erweckt der Eindruck eines Mosaik. Wenn die Kronenprojektionen der Unterschicht weniger als ein Drittel einnehmen, dann wird die Unterschicht mit der Plenterzahl 1 bewertet. Plenterzahl 0 bekommt dann die Unterschicht in einem Überführungsbestand, der keine oder nur vereinzelt Bäume (meistens sind das Tannen mit kleinen Kronen ungefähr 8 bis 10 m hoch) in der Unterschicht hat.

**Jungwuchs** bekommt Plenterzahl 3 nur in solchen Beständen, wo die Verjüngung durch seine flächendeckende Verbreitung die Plenterstruktur zukünftig bedroht. Dieser Zustand tritt auf, wenn mehr als die Hälfte der Bestandesfläche mit vitalen Bäumchen bedeckt ist. Er kommt nur bei Überführung vor, und ist im Plenterwald kaum vorhanden. Jungwuchs wird mit der Plenterzahl 2 bewertet, wenn er einen Drittel der Bestandesfläche annimmt. Für diesen Zustand sind kleinere sehr differenzierte Verjüngungsflächen charakteristisch. Jungwuchs wird bewertet mit der Plenterzahl 1, wenn der Auswuchs in die Unterschicht nicht sichergestellt werden kann. Mit

dieser Plenterzahl werden auch Bestände bewertet, die zwar überhaupt keine Bäumchen haben, aber bei denen zahlreiche Ansamung mit guten Bedingungen für die zukünftige Entwicklung (meistens gute Lichtverhältnisse) vorhanden ist. Mit der Plenterzahl 0 werden Bestände, die überhaupt keine oder nur vereinzelt Verjüngung haben, bewertet. Auch Bestände die zahlreiche und auch flächendeckende Ansamung haben, aber mit geringer Entwicklungschance (ungenügendes Licht, hohe Wildbestände), werden so bewertet.

### 3.3.3. Standortskartierung

Die Standortskartierung im Untersuchungsgebiet **Schwarzenegg** wurde im Frühling und Sommer 1996 vom Verfasser durchgeführt. Die Kartierungsarbeiten und die gewünschte Genauigkeit der Karte waren gleich wie bei der Bestandeskartierung (Kap. 3.3.2.1.). Normalerweise wurden die kleinsten auskartierten Flächen minimal 4 Aren gross. Bei einigen Fällen wurde diese Grösse unterschritten. Dabei handelte es sich um einige seltene Standorte (z.B. Torfaugen) oder markant unterschiedliche Standorte zur Umgebung (z.B. Quellgebiete, oder Ufervegetation). Die Mindestbreite bei Standorten, die in einer Streifenform vorkamen, hat um 10 m betragen.

Bei der Kartierung wurde der Standortkundliche Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg 1996 (BURGER et al 1996) benutzt. Er basiert auf der Arbeit von ELLENBERG und KLÖTZLI 1972. Die Bestimmung der Standorte geschieht hauptsächlich mit der Hilfe von Zeigerpflanzengruppen bzw. ihrer Kombination. Aus den Kombinationen von Zeigerpflanzengruppen kann ein Vegetations-Kartierungsschlüssel hergestellt werden. Als Neuheit in dem Schlüssel für Kanton Bern und Freiburg kann die kombinierte Benutzung von Vegetations- sowie auch als bodenkundlicher Kartierungsschlüssel gelten. Beide Schlüssel haben ergänzenden Charakter und dienen vor allem der gegenseitigen Verifikation des Resultates eines Schlüssels. Das praktische Vorgehen bei der durchgeführten Standortskartierung entspricht dem üblichen Vorgehen bei Standortskartierungen in der Schweiz (z.B. BURNAND et al 1986).

Für das Untersuchungsgebiet **Toppwald** wird bestehende Standortskarte übernommen. Sie wurde nach gleichem Kartierungsschlüssel wie die Standortskarte im Raum Schwarzenegg in Jahren 1995 – 1997 von mehreren Kartierer im Auftrag von Forstinspektion des Kantons Bern gefertigt.

### 3.3.4. Ausscheidung der unbestockten Waldfläche

Bei Grenzproben werden zusätzlich die Distanzen vom Probezentrum zum Waldrand bzw. zur unbestockten Waldfläche gemessen. Als Grenzproben werden alle Proben betrachtet, deren Distanz zum Waldrand kleiner als 2 Radien der Probe ist. Zu dieser Distanz wird das Azimut gemessen. Dies ermöglicht, die Position der Proben im Verhältnis zur unbestockten Fläche genau auf der Karte wiederzugeben, was eine Voraussetzung für die Bestimmung von Aufnahmewahrscheinlichkeiten pro Baum ist.

Als unbestockte Waldfläche werden solche Flächen betrachtet, die zwar zur Waldfläche gehören, die aber nicht für die Holzproduktion bestimmt sind. Zu ihnen werden lastwagenbefahrbare Strassen, Lagerplätze, Forsthütten oder andere Bauten sowie auch breite Bäche und Felsen gezählt. Damit die Strassen und Bäche zur unbestockten Waldfläche gehören, müssen sie mindestens 3 m breit sein. Schmalere Strassen und Bäche werden als bestockte Waldfläche betrachtet.

Im Gebiet Toppwald wird zur Herstellung einer Karte, die den Wald in bestockte und unbestockte Waldfläche einteilt, eine vorhandene digitale Karte benutzt. Auf dieser Karte sind alle Bauten, Strassen, Gewässer sowie auch Eigentums- und Waldgrenze gemäss einer genaueren geodetischen Vermessung eingezeichnet. Die unbestockte Waldfläche wird aus dieser Karte nach oben genannten Kriterien selektiert. Es kann angenommen werden, dass diese Karte die tatsächlichen Verhältnisse treu widerspiegelt, da sich ihre Genauigkeit im cm-Bereich bewegt.

Im Gebiet Schwarzenegg liegt leider keine digitale Karte vor. Sie muss zuerst hergestellt werden. Als Unterlage dient der von Kantonalem Vermessungsamt Bern gescannte Originalübersichtsplan (Massstab 1:10 000). Aus dieser Originalübersicht wird mit einem GIS-Programm eine vektororientierte digitale Karte hergestellt. In dieser Karte (Bestandes-, Standortsgrenze, Waldstrassen, Lagerplätze und Stichprobezentren mit allen gemessenen Bäumen) nach der Kartierung im Gelände nachträglich digitalisiert. Auf dem Originalübersichtsplan nicht aufgezeichnete Waldstrassen werden mit Bussole und Messband vermessen. Die Genauigkeit dieser Messung bewegt sich im Meterbereich. Die Breite der Strassen wird mit einer Genauigkeit auf dm gemessen. Im Unterschied zur Karte im Toppwald widerspiegelt die digitale Karte im Schwarzenegg die tatsächlichen Verhältnisse nicht ganz genau. Ihre Genauigkeit bewegt sich in dm bis Meter - Bereich.

### 3.3.5. Auswertung der Inventuren

Bei der Auswertung der Stichproben werden die im Anhang aufgeführte Formeln benutzt. Dies gilt auch für die Auswertung der Simulationen mit dem Programm FIESTA.

Die Schätzungen der Zielgrösse  $Y$  werden durch die Bestimmung der lokalen Dichten  $Y(x)$  im Punkt  $x$  (Probezentrum) berechnet. Die lokale Dichte der Zielgrösse  $Y(x)$  im Punkt  $x$  ist die Summe der ausgewählten  $Y_j$  (Bäume im Probekreis über die Kluppschwelle) dividiert durch die Aufnahmewahrscheinlichkeiten pro Baum  $\pi_j$ . Die lokale Dichte ist im wesentlichen der Horwitz-Thompson Schätzer.

Bei ausgewerteten Stichproben aus Schwarzenegg und Toppwald handelte es sich um eine einfache, einphasige, einstufige, systematische Stichprobe.

Wenn nicht anders vermerkt, wird für die Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit und der Auswahl der Bäume die 2. Variante (Kapitel 3.1.5.), bei welcher alle Bäume im Probekreis ohne Berücksichtigung der Stratumszugehörigkeit aufgenommen werden, benutzt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Optimales Stichprobendesign

#### 4.1.1. Zufällige und systematische Stichproben im Plenterwald

Die Simulationen mit dem Programm FIESTA haben die theoretischen Überlegungen zu den Verfahren mit zufälligen Stichproben bestätigt: Zwischen dem geschätzten und dem wahren Mittelwert bestehen bei keiner der untersuchten Zielgrößen und bei keiner der simulierten Varianten signifikante Unterschiede (Abbildung 8). Auch zwischen der empirischen und der mittleren geschätzten Varianz wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Allerdings wurde eine Tendenz zur Überschätzung der Varianz festgestellt, die unabhängig von der Probeflächengröße, der Probedichte und dem Probetyp ist (Abbildung 9).

Abb. 8: Relative Unterschiede zwischen geschätztem und wahren Wert bei zufälligen Stichproben.

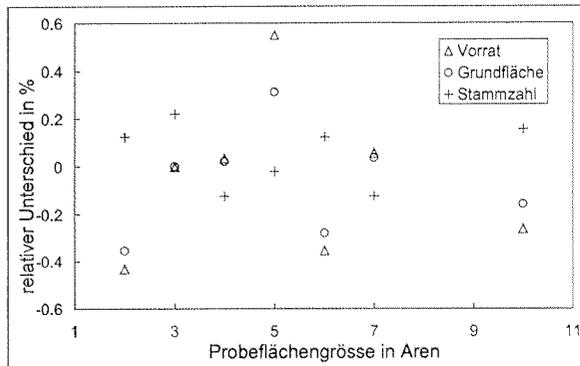
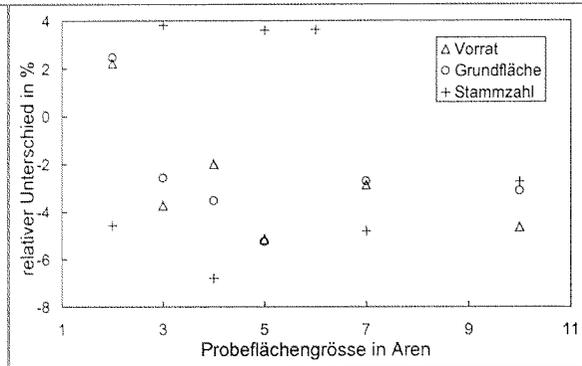


Abb. 9: Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei zufälligen Stichproben.



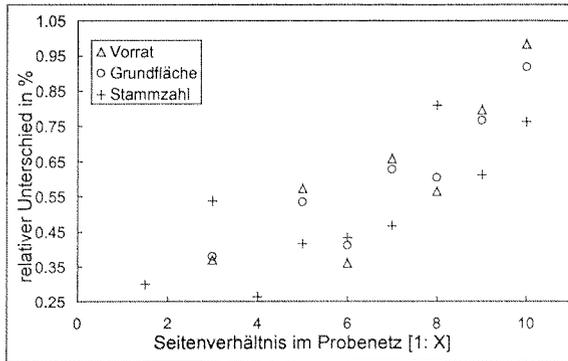
Die Untersuchung der systematischen Stichproben ergibt etwas andere Ergebnisse: Hier wurden sowohl zwischen dem geschätzten und dem wahren Mittelwert als auch zwischen der empirischen und der mittleren geschätzten Varianz Unterschiede gefunden, die teilweise signifikant sind.

Beim Mittelwertvergleich ergaben sich zwar keine signifikanten Unterschiede, bei der Mehrzahl der Varianten ist aber mit steigendem Seitenverhältnis im Probenetz eine Tendenz zur Überschätzung des wahren Wertes feststellbar. Diese Tendenz ist in der relativen Überschätzung des Mittelwerts (Abbildung 10) gut erkennbar. Die Überschätzung ist gering und statistisch nicht gesichert. Auch bei grossem Seitenverhältnis von 1:10 bleibt sie unter 1% des wahren Wertes. Die Überschätzung ist unabhängig von der Probenflächengröße (Abbildung 11). Der Einfluss des Seitenverhältnisses im Probenetz auf die Überschätzung des geschätzten Mittelwertes wird durch eine grössere Probedichte verringert (Abbildung 12).

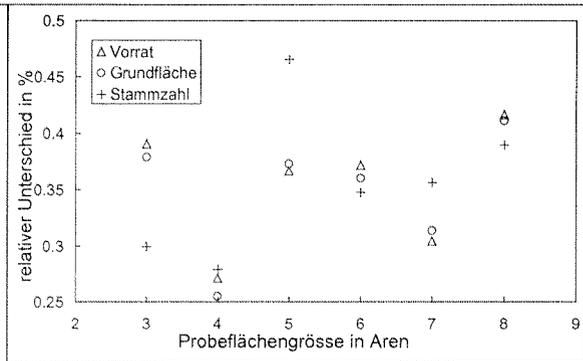
Der Vergleich der empirischen Varianz mit der mittleren geschätzten Varianz ergab ungefähr bei der Hälfte der Varianten signifikante Unterschiede. Besonders deutlich wird dieses Ergebnis beim relativen Unterschied der beiden Varianzen (Abbildung 13). Bei kleinen Seitenverhältnissen im Probegitter wird die empirische Varianz durch die mittlere geschätzte Varianz deutlich überschätzt. Bis zu einem Seitenverhältnis von ungefähr 1:5 nähern sich die Varianzen an. Bei höheren Seitenverhältnissen dagegen wird die empirische Varianz durch die mittlere geschätzte Varianz immer mehr unterschätzt.

Die Probeflächengröße hat keinen klaren Einfluss auf das Verhältnis zwischen den beiden Varianzen (Abbildung 14). Eine höhere Probedichte verringert zwar die Unterschätzung der

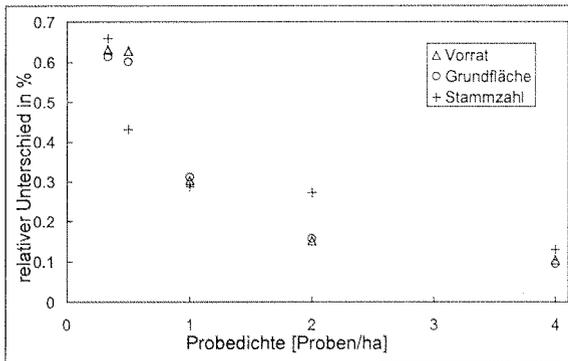
**Abb. 10:** Relative Unterschiede zwischen geschätztem und wahren Wert bei system. Stichproben nach Seitenverhältnissen im Probenetz.



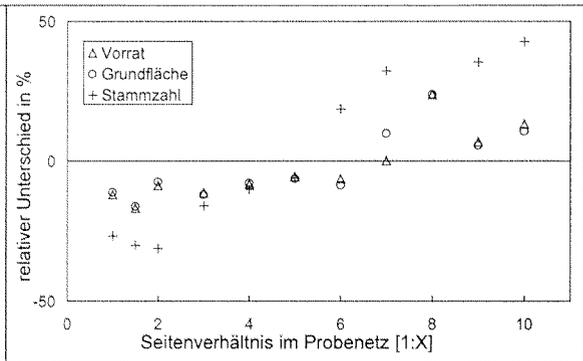
**Abb. 11:** Relative Unterschiede zwischen geschätztem und wahren Wert bei systematischen Stichproben nach Probeflächengrößen.



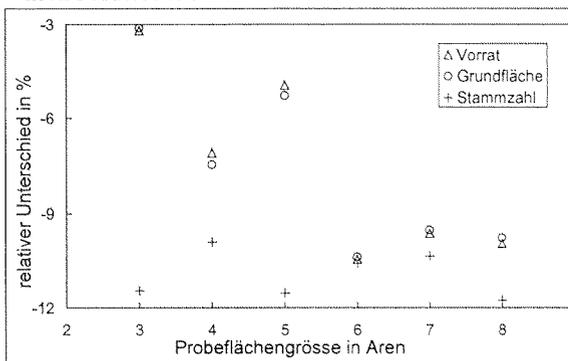
**Abb. 12:** Relative Überschätzung des wahren Wertes bei systematischen Stichproben nach Probefeldern.



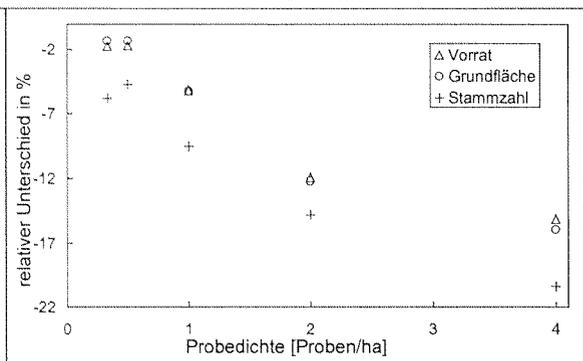
**Abb. 13:** Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei system. Proben nach Seitenverhältnis im Probenetz.



**Abb. 14:** Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei systematischen Proben nach Probeflächengrößen.



**Abb. 15:** Relative Unterschiede zwischen geschätzter und empirischer Varianz bei systematischen Proben nach Probefeldern.

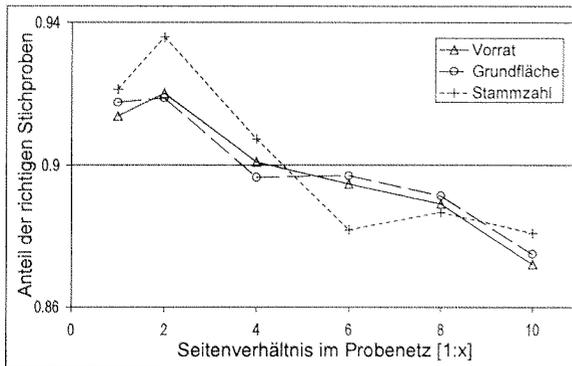


empirischen Varianz, erhöht jedoch deren Überschätzung bei kleinen Seitenverhältnissen (Abbildung 15).

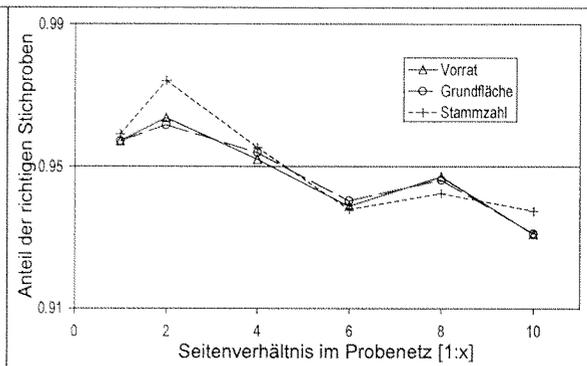
Eine weitere Prüfmöglichkeit für systematische Stichproben ist der Vergleich der Vertrauensbereiche für die geschätzten und die wahren Mittelwerte. Entscheidend ist der Anteil der "richtigen Proben", d.h. der Proben, bei denen der wahre Wert im Vertrauensbereich des geschätzten Mittelwertes liegt. Die Prüfergebnisse sind denjenigen des Vergleichs der Varianzen

sehr ähnlich: Der Anteil von richtigen Proben sinkt mit grösser werdendem Seitenverhältnis im Probenetz (Abbildungen 16 und 17). Beim Seitenverhältnis 1:4 entspricht der Anteil der richtigen Proben dem Vertrauensniveau, mit steigendem Verhältnis sinkt dieser Anteil deutlich darunter.

**Abb. 16:** Anteil von „richtigen“ Stichproben bei system. Proben und Vertrauensbereich 90 in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis.



**Abb. 17:** Anteil von „richtigen“ Stichproben bei system. Proben und Vertrauensbereich 95 in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis.



Die Analyse zeigt, dass die Formel für die Berechnung der Varianz bei zufälligen Proben auch bei systematischen Proben zulässig ist. Allerdings sollten die Seitenlängen des Probenetzes das Verhältnis von 1:4 nicht übersteigen. Ein höheres Seitenverhältnis führt dazu, dass systematische Proben die Varianz unterschätzen, ein kleineres Verhältnis (1:1 bis 1:3) dagegen führt zur Überschätzung.

## 4.1.2. Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit

### 4.1.2.1. Untersuchte Varianten

Der empirische Vergleich zwischen verschiedenen Varianten zur Auswahl von Bäumen und zur Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit wurde durch die Anwendung von GIS-Programmen ermöglicht, die Kenntnis der genauen Lage der Bäume und der Probezentren sowie die exakte Festlegung der Bestandesgrenzen erlauben. Allerdings konnte dieser Vergleich nur mit Hilfe von Feldaufnahmen in Schwarzenegg und im Toppwald angestellt werden, nicht jedoch mit dem Programm FIESTA. Drei verschiedene Varianten mit unterschiedlicher Auswahl von Bäumen und mit unterschiedlicher Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit wurden in ihrem Einfluss auf die Genauigkeit der Schätzung verglichen (siehe auch Abschnitt 3.1.5.).

Für die **Variante 1** wurden im Probekreis nur Bäume ausgewählt, die im gleichem Stratum wie das Probezentrum liegen. Für die Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit ist die Fläche des Stratums entscheidend. Bei der **Variante 2** werden alle Bäume berücksichtigt, die im Probekreis liegen. Für die Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit ist nur die Waldfläche von Bedeutung. Als **Variante 3** wird die in der Praxis häufig gebrauchte Spiegelung untersucht. Die Auswahl der Bäume gleicht der Variante 2. Es werden alle Bäume im Probekreis aufgenommen, bei Randproben einige Bäume sogar mehrmals. Die Aufnahmewahrscheinlichkeit wird nicht berechnet und alle Bäume werden gleich gewichtet.

#### 4.1.2.2. Vergleich der Varianten mit Poststratifizierung für den Gesamtwald

Die Berechnung der Schätzwerte und Varianzen für den Gesamtwald mit Hilfe von Poststratifizierung liefert nur für die Variante 1 unverzerrte Werte. Für die Varianten 2 und 3 sind die Schätzwerte und Varianzen verzerrt.

Bei der Schätzung der Mittelwerte wurden in beiden Untersuchungsgebieten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten gefunden. Für den Gesamtwald liefern alle Varianten ungefähr die gleichen Werte (Tabelle 9).

Ein Vergleich der Varianzen der drei Varianten nach Poststratifizierung ergibt folgende Resultate (Tabelle 9): Die Varianz der Variante 2 ist um ein Drittel kleiner als die der Variante 1. Der hauptsächliche Grund dafür ist die unterschiedliche Zahl aufgenommener Bäume, die bei der Variante 1 um ein Drittel geringer ist. Dieser Verlust wird durch die stärkere Homogenität innerhalb des Stratum, welche bei Variante 1 durch die Auswahl der Bäume im gleichen Stratum erzielt werden kann, nicht ausgeglichen. Bei der Variante 3 (Spiegelung) führt die Aufnahme zusätzlicher Bäume durch „Spiegelproben“ zu keiner Verringerung der Varianz. Dieser Vergleich ist aber problematisch, weil die Varianten 1 und 2 bei Poststratifizierung, wie oben dargelegt, verzerrte Resultate liefern.

**Tab. 9:** Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz mit Poststratifizierung in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit. Beispiel Gesamtwald. Kursiv – Verfahren mit Bias.

Methode der Auswahl der Bäume	Schätzung		Varianz		Standardfehler in %	
	Vorrat m <sup>3</sup> /ha	Stammzahl n/ha	Vorrat	Stammzahl	Vorrat	Stammzahl
<b>Schwarzenegg</b>						
1. Variante	539.96	502.73	135.27	92.14	2.15	1.91
2. Variante	550.78	503.65	86.56	63.71	1.70	1.58
3. Variante	539.05	491.28	86.04	64.40	1.72	1.63
<b>Toppwald 1993</b>						
1. Variante	507.36	463.48	221.51	192.41	2.93	2.73
2. Variante	493.50	451.67	162.00	133.87	2.58	2.56
3. Variante	490.82	445.11	156.31	134.50	2.55	2.61

Mit der Varianz von Variante 1 können bei Poststratifizierung nur die mittleren quadratischen Fehler (MQF) der Varianten 2 und 3 verglichen werden. Zur Berechnung der MQF muss der wahre Wert bekannt sein. Dies ist hier nicht der Fall, so dass ersatzweise angenommen wird, dass die Schätzung von Variante 1 dem wahren Wert entspricht. Eine näherungsweise Berechnung zeigt, dass die MQF der Varianten 2 und 3 meist viel grösser sind als die Varianz der Variante 1 (Tabelle 10). Nach diesem Vergleich schneidet die Variante 1 am besten ab.

**Tab. 10:** Vergleich der Varianz von mittleren quadratischen Fehlern bei unterschiedlichen Methoden der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit. Beispiel Gesamtwald poststratifiziert.

Variante	Varianz bzw. MQF		relativer Unterschied in % der 1. Variante	
	Vorrat	Stammzahl	Vorrat	Stammzahl
<b>Schwarzenegg</b>				
1. – Zentrum stratifiziert	135.27	92.14	.	.
2. – Kreis stratifiziert	203.63	64.56	50.5%	-29.9%
3. – Spiegelung stratifiziert	86.87	195.50	-35.8%	112.2%
<b>Toppwald 1993</b>				
1. – Zentrum stratifiziert	221.51	192.41	.	.
2. – Kreis stratifiziert	354.10	273.35	59.9%	42.1%
3. – Spiegelung stratifiziert	429.88	471.96	94.1%	145.3%

### 4.1.2.3. Vergleich der Varianten ohne Poststratifizierung

Wenn die Berechnung der Schätzwerte und ihrer Varianzen für den Gesamtwald ohne Poststratifizierung erfolgt, liefern die Varianten 1 und 2 in jedem Fall unverzerrte Schätzwerte und Varianzen. Bei der Variante 3 (Spiegelung) gilt dies nur beim linearen Verlauf vom Waldrand. Die Mittelwerte der einzelnen Varianten unterscheiden sich nicht signifikant (Tabelle 11). Trotz der bei Variante 2 geringeren Zahl aufgenommener Bäume als bei Variante 3 sind die Varianzen ungefähr gleich. Die Variante 1 liefert deutlich grössere Varianzen.

**Tab. 11:** Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz ohne Poststratifizierung in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit. Beispiel Gesamtwald.

Varianta	Schätzer		Varianz		Standardfehler in %	
	Vorrat m <sup>3</sup> /ha	Stammzahl n/ha	Vorrat	Stammzahl	Vorrat	Stammzahl
<b>Schwarzenegg</b>						
1. Zentrum unstratifiziert	544.00	507.16	156.55	91.62	2.30	1.89
2. Kreis unstratifiziert	553.55	506.31	105.62	65.72	1.86	1.60
3. (Spiegelung) unstratifiziert	541.82	494.16	105.20	66.21	1.89	1.65
<b>Toppwald 1993</b>						
1. Zentrum unstratifiziert	504.33	464.09	230.97	185.38	3.01	2.93
2. Kreis unstratifiziert	501.97	462.15	178.74	140.98	2.66	2.57
3. Spiegelung ohne Stratifiz.	488.67	445.88	155.97	128.13	2.56	2.54

Bei den Varianten 2 und 3 werden die Stratengrenzen nicht berücksichtigt. Daher sind ihre Schätzungen für das **einzelne Stratum** nicht biasfrei. Die Verzerrung entsteht durch die Aufnahme von ausserhalb des Stratums liegenden Bäumen sowie (bei Variante 2 zusätzlich) durch die nicht korrekte Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit.

Wenn unberücksichtigt bleibt, dass die Variante 2 keine biasfreien Schätzungen liefert, sind bedingte Vergleiche zwischen den Varianten in einem Stratum möglich. Für ein einzelnes Stratum kann vermutet werden, dass die Variante 1, bei der nur Bäume ausgewählt werden, die im gleichen Stratum wie das Probezentrum liegen, „relevantere“, zutreffendere Daten liefert als die übrigen Varianten. Dies müsste besonders in den Entwicklungsstufen ‚Jungwuchs‘ und ‚Dickung‘ der gleichförmigen Wälder erkennbar sein, welche keinen Derbholtvorrat aufweisen dürften. Leider gibt es im Untersuchungsgebiet für diese Entwicklungsstufen zu wenig Proben, um ein eigenständiges Stratum bilden zu können; die betreffenden Bestände mussten dem Stratum ‚Stangenhholz‘ zugeordnet werden.

Sofern Variante 1 „relevantere“ Zahlen liefert als die Variante 2, müsste Variante 1 den Vorrat der Stangenhölzer 1 niedriger bzw. den Vorrat der Baumhölzer höher schätzen als Variante 2. Der Grund ist, dass die Stangenhholz-Straten von Straten mit höheren Vorräten umgeben sein dürften. Auch bei plenterartigen Straten müsste Variante 1 die Straten zutreffender beschreiben, d.h. den Vorrat von Straten mit niedrigen Vorräten niedriger als Variante 2 und den Vorrat von Straten mit hohen Vorräten höher als Variante 2 schätzen. Ähnliche Hypothesen bezüglich der Stammzahl können nur für femelschlagartige Bestände aufgestellt werden. Der Grund ist, dass bei plenterartigen Beständen aus Bezeichnungen wie vorratsarm oder vorratsreich nicht auf die Stammzahl geschlossen werden kann.

Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass die meisten Hypothesen durch die Berechnungen widerlegt werden. Allein beim Vorrat femelschlagartiger Bestände (Tabelle 12) konnte der beschriebene Zusammenhang zwischen den einzelnen Varianten gefunden werden. Die Schätzungen der Varianz sind bei Variante 1 mehrheitlich grösser als bei Variante 2. Der Einfluss der geringeren Anzahl aufgenommener Bäume wirkt sich stärker aus als die stärkere Homogenität innerhalb der Straten, insbesondere für die Zielgrösse ‚Stammzahl‘. Es muss wieder betont werden, dass Variante 2 für ein Stratum keine biasfreien Schätzungen liefert.

**Tab. 12:** Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit in einzelnen Straten. Beispiel Schwarzenegg.

Stratum <sup>1</sup>	Methode der Auswahl von Bäumen und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit.							
	2. Variante				1. Variante			
	Schätzung		Varianz		Schätzung		Varianz	
	Vorrat sv/ha	Stammzahl n/ha	Vorrat	Stammzahl	Vorrat sv/ha	Stammzahl n/ha	Vorrat	Stammzahl
KB1	517.05	320.23	4438	1948	544.88	338.24	5432	1870
KB2	685.52	416.57	11543	5707	753.21	446.47	8298	6863
KB3	652.17	575.31	6023	9803	680.46	585.00	4326	10840
KB4	578.97	487.55	2962	5948	624.84	518.97	3780	6536
KB5	544.29	443.59	1715	2527	515.08	410.95	18159	7595
KS1	200.28	133.14	6786	139	116.82	110.15	2615	1450
KS4	290.40	336.45	106	776	224.82	349.93	10656	3526
PL12	353.98	402.28	8484	4990	304.27	342.14	1856	6256
PL13	522.47	501.14	3849	2610	488.77	481.03	8888	4974
PL22	281.21	504.19	5593	7697	282.95	535.78	3948	11121
PL23	489.19	518.93	1623	2248	496.55	492.91	4541	3463
PL32	393.53	505.59	2315	2876	394.75	566.81	3880	5372
PL33	611.60	516.37	2303	1108	617.22	531.08	4393	1537
PL42	527.86	565.19	3750	3441	486.78	527.04	2363	6865
PL43	603.47	549.55	693	515	596.77	558.26	869	760
PL53	519.93	447.42	8816	1606	575.31	538.90	6498	1943
UB12	444.69	481.47	1679	970	430.97	484.64	2887	895
UB13	522.99	443.97	1036	411	479.20	421.51	2132	627
UB22	485.20	526.15	1658	1002	439.20	473.32	2083	2309
UB23	567.77	514.34	1213	657	541.52	497.30	1440	826
UB32	471.45	500.30	2885	2393	469.63	544.31	4702	2435
UB33	630.64	513.41	1204	926	635.27	516.01	1922	1530
UB41	155.78	434.06	4998	36145	181.16	473.21	8190	52414
UB42	479.97	528.89	2421	2967	419.63	531.84	4800	3537
UB43	657.14	552.94	463	307	648.99	546.31	687	372
UB52	261.68	424.81	4650	1841	272.12	449.39	5529	1808
UB53	581.76	471.39	4583	2485	701.04	530.66	19495	4301

Tabelle 13 enthält Schätzungen von Teilpopulationen zweier Straten, welche als Beispiele für einen gleichförmigen und einen plenterartigen Wald stehen. Bei der Schätzung der Teilpopulationen innerhalb eines Stratums werden von der Variante 1 „relevantere“ Daten erwartet. In den femelschlagartigen Beständen bedeutet „relevanter“, dass z.B. das Baumholz bei der Zielgrösse ‚Vorrat in hohen Stärkeklassen‘ einen grösseren Wert aufweist als bei der Zielgrösse ‚Vorrat in niedrigen Stärkeklassen‘. Umgekehrt sollte im Stangenholz der Vorrat in hohen Stärkeklassen relativ niedrig und der Vorrat in den unteren Stärkeklassen relativ hoch sein. Die Resultate sind ähnlich wie bei der Gesamtpopulation: Während im Femelschlag die Unterschiede zwischen den zwei Varianten deutlich sind, werden sie im Plenterwald nicht einwandfrei bestätigt. Insgesamt sind die Varianzen bei Variante 1 wieder grösser als bei Variante 2.

**Tab. 13:** Veränderung der Vorratsschätzung und ihrer Varianz für Stärkeklassen in Abhängigkeit von der Methode der Baumauswahl und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit in zwei ausgewählten Straten. Beispiel Schwarzenegg.

Stratum	Methode der Auswahl von Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit.							
	2. Variante (Baum = Probekreis)				1. Variante (Baum = Probezentrum)			
	KB4		PL43		KB4		PL43	
Stärkeklasse	Vorrat sv/ha	Varianz	Vorrat sv/ha	Varianz	Vorrat sv/ha	Varianz	Vorrat sv/ha	Varianz
gesamt	579	2962	603	693	625	3780	597	869
8 – 15.9cm	11	7	19	2	11	7	20	2
16 – 27.9cm	46	97	41	10	48	116	42	14
28 – 39.9cm	99	848	50	24	102	851	52	30
40 – 51.9cm	198	2200	88	138	234	2995	90	176
52cm BHD +	225	4634	405	892	230	4782	393	925

<sup>1</sup> Stratumsabkürzungen sind in Kapitel 4.2.4.1. erklärt

### 4.1.3. Kreisverhältnis und Kluppschwelle bei konzentrischen Kreisproben

Die Suche nach einem optimalen Stichprobedesign bei konzentrischen Proben besteht darin, eine optimale Kluppschwelle und ein optimales Flächenverhältnis zwischen den konzentrischen Kreisen zu bestimmen. Ein Stichprobeverfahren mit optimalen Kluppschwellen und Flächenverhältnissen liefert für eine bestimmte Funktion der Zielgrösse  $f(Y_i)$  (z.B. Volumenfunktion, Volumentarif) und für eine bestimmte Häufigkeitsverteilung (Stammzahlverteilung) den kleinsten Faktor  $\gamma$  (Abschnitt 3.1.4.8.). Das Verfahren ermöglicht, eine gewünschte Genauigkeit der Schätzung mit minimalem Aufwand zu erreichen.

In den folgenden Beispielen werden optimale Kluppschwellen und Flächenverhältnisse für Vorrat und Stärkezuwachs berechnet. Als Eingangsgrösse dienen Häufigkeitsverteilung und Volumenfunktion (Volumentarif) bzw. Stärkezuwachsfunction. Die unterste Kluppschwelle ist je nach Häufigkeitsverteilung mit 8 bzw. 12 cm festgesetzt (Abschnitt 3.1.4.8.).

Beim Probeverfahren mit 2 konzentrischen Kreisen beträgt die optimale Kluppschwelle des grossen Kreises für die Zielgrösse ‚Stärkezuwachs‘ je nach Verteilungsfunktion rund 22 cm, für die Zielgrösse ‚Vorrat‘ rund 32 cm. Das Flächenverhältnis zwischen kleinem und grossem Kreis liegt bei der Zielgrösse ‚Stärkezuwachs‘ je nach Verteilungsfunktion zwischen 1:1,8 bis 1:2,5. Beim Vorrat variiert das Verhältnis je nach Verteilungsfunktion zwischen 1:7 bis 1:22 (Tabelle 14).

**Tab.14:** Optimale Kluppschwellen und Kreisverhältnisse bei konzentrischen Proben mit 2 Kreisen, je nach Funktion der Zielgrösse (Volumenfunktion, Zuwachsfunction) und nach Verteilungsfunktion. Beispiele für Vorrat und Stärkezuwachs. **Markierten Zeilen werden für weitere Berechnungen benutzt.**

Funktion der Zielgrösse	Optimiert für Verteilungsfunktion	Kluppschwelle		Flächenverhältnis zwischen den Kreisen
		des kleineren Kreises	des grösseren Kreises	
<b>Stärkezuwachs</b> Stärkezuwachsfunction Schwarzenegg	<b>LFI 1</b> (12-100 cm BHD)	12	23	1.85
	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	8	21	2.47
	<b>FIESTA - aus PWVF</b> (8-120 cm BHD)	8	22	2.54
<b>Vorrat</b> Volumenfunktion LFI 1	<b>LFI 1</b> (12 - 100 cm BHD)	12	31	7.21
	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	8	31	18.48
	<b>FIESTA - aus PWVF</b> (8-120 cm BHD)	8	33	22.47
<b>Vorrat</b> Volumenfunktion Schwarzenegg	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	8	32	15.86
	<b>FIESTA - aus PWVF</b> (8-120 cm BHD)	8	34	19.60

Bei einem Verfahren mit 3 konzentrischen Kreisen in der Probe (Tabelle 15) liegt die Kluppschwelle des mittleren Kreises für die Zielgrösse Stärkezuwachs zwischen 15 und 19 cm BHD, für den Vorrat variiert diese Schwelle gering um 23 cm. Die Kluppschwelle des grossen Kreises dagegen variiert bei der Zielgrösse Stärkezuwachs nur gering um 31 cm, sehr viel stärker jedoch beim Vorrat (41 bis 51 cm BHD). Das optimale Flächenverhältnis zwischen dem kleinen und dem mittleren Kreis liegt bei der Zielgrösse Stärkezuwachs in einem engen Bereich zwischen 1:1,6 und 1:1,8. Für den Vorrat dagegen erhalten diese Flächenverhältnisse je nach Verteilungsfunktion mit 1:6 bis 1:12 sehr unterschiedliche Werte. Das optimale Flächenverhältnis zwischen dem kleinen und dem grossen Kreis liegt für die Zielgrösse Stärkezuwachs zwischen 1:2,2 und 1:3,3, für die Zielgrösse Vorrat zwischen 1:18 und 1:56.

**Tab.15:** Optimale Kluppschwellen und Kreisverhältnisse bei konzentrischen Proben mit 3 Kreisen, je nach Funktion der Zielgrösse (Volumenfunktion, Zuwachsfunktion) und nach verschiedener Verteilungsfunktion. Beispiele für Vorrat und Stärkezuwachs. **Markierten Zeilen werden für weitere Berechnungen benutzt.**

Optimiert für		Kluppschwelle			Flächenverhältnis zwischen	
Funktion der Zielgrösse	Verteilungsfunktion	des kleinsten Kreises	des mittleren Kreises	des grössten Kreises	kleinstem und mittlerem Kreis	kleinstem und grösstem Kreis
<b>Stärkezuwachs</b> Stärkezuwachsfunktion Schwarzenegg	<b>LFI 1</b> (12-100 cm BHD)	12	19	32	1.59	2.25
	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	8	15	31	1.85	3.22
	<b>FIESTA - aus PWVF</b> (8-120 cm BHD)	8	15	31	1.84	3.34
<b>Vorrat</b> Volumenfunktion LFI 1	<b>LFI 1</b> (12 - 100 cm BHD)	12	24	41	5.84	17.56
	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	8	23	46	11.93	45.73
	<b>FIESTA - aus PWVF</b> (8-120 cm BHD)	8	23	48	12.38	56.44
<b>Vorrat</b> Volumenfunktion Schwarzenegg	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	8	24	48	10.12	35.84
	<b>FIESTA - aus PWVF</b> (8-120 cm BHD)	8	24	51	10.80	45.29

Die Resultate zeigen, dass die Kluppschwelle und das Flächenverhältnis der Kreise stark von der Funktion der gesuchten Zielgrösse abhängig ist. Je schneller die Zielgrösse mit steigendem BHD zunimmt bzw. je steiler die Funktion der Zielgrösse ist, desto grösser ist der Unterschied zwischen den Kluppschwellen und desto grösser ist das Kreisverhältnis. Beim Kreisverhältnis spielt die Verteilungsfunktion eine bedeutende Rolle: Je steiler die Verteilungskurve, desto kleiner das Kreisverhältnis (Voraussetzung:  $f(Y_i)$  steigt). Der Einfluss der Verteilungsfunktion auf die Kluppschwelle ist dagegen eher gering.

Relative Unterschiede im Faktor  $\gamma$  zwischen der einfachen und der konzentrischen Kreisprobe zeigen, wie sich die Effizienz einer Stichprobe hinsichtlich bestimmter Zielgrössen durch ein anderes Probeverfahren verbessern lässt. Die Faktoren  $\gamma$  der konzentrischen Proben in Tabelle 16 sind für Verfahren mit optimalen Kreisverhältnissen und Kluppschwellen berechnet (in den Tabellen 14 und 15 aufgeführt).

Bei der Zielgrösse Stärkezuwachs ist der Faktor  $\gamma$  auch bei der einfachen Kreisprobe mit einem maximalen Wert 1,30 nicht weit von PPS-Verfahren entfernt. Dies bedeutet, dass beim Stärkezuwachs der Effizienzgewinn durch konzentrische Proben allgemein gering ist. Insbesondere der Gewinn von einer konzentrischen Probe mit 2 Kreisen zu einer konzentrischen Probe mit 3 Kreisen ist äusserst klein. Die 3 Probeverfahren können, was die Effizienz betrifft, als ebenbürtig bezeichnet werden. Wird der vermehrte Aufwand durch die Messung von Grenzbäumen einbezogen, scheidet das Probeverfahren mit 3 Kreisen sogar mit Gewissheit aus.

Bei der Zielgrösse Vorrat dagegen ist der Faktor  $\gamma$  der einfachen Kreisprobe mit Werten zwischen 2,60 und 4,55 weit von PPS-Verfahren entfernt. Der Faktor  $\gamma$  wird durch eine konzentrische Probe mit 2 Kreisen mindestens halbiert. Der Effizienzgewinn von einer konzentrischen Probe mit 2 Kreisen zu einer konzentrischen Probe mit 3 Kreisen ist deutlich kleiner. Bei Berücksichtigung des höheren Aufwandes infolge vermehrter Grenzbaummessung ist die Überlegenheit von Proben mit 3 Kreisen gegenüber Proben mit 2 Kreisen fraglich. Die einfache Kreisprobe schneidet in jedem Fall am schlechtesten ab.

**Tab.16:** Verkleinerung des Faktors  $\gamma$  durch konzentrische Proben. Der Faktor  $\gamma$  ist bei konzentrischen Proben mit optimalen Kluppschwellen und optimalem Kreisverhältnis für jeweils eine bestimmte Funktion der Zielgrösse (Volumenfunktion, Zuwachsfunktion) und bestimmte Verteilungsfunktion ausgerechnet. Die optimalen Kluppschwellen und Kreisverhältnisse stehen in Tabellen 14 und 15.

Optimiert für		$\gamma$ für		
Funktion der Zielgrösse	Verteilungsfunktion	1 Kreis	2 Kreise	3 Kreise
<b>Stärkezuwachs</b> Stärkezuwachsfunktion Schwarzenegg	<b>LFI 1</b> (12-100 cm BHD)	1.12	1.03	1.01
	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	1.27	1.06	1.02
	<b>FIESTA</b> - aus PWVF (8-120 cm BHD)	1.30	1.06	1.03
<b>Vorrat</b> Volumenfunktion LFI 1	<b>LFI 1</b> (12 - 100 cm BHD)	2.60	1.39	1.18
	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	3.84	1.49	1.22
	<b>FIESTA</b> - aus PWVF (8-120 cm BHD)	4.55	1.52	1.23
<b>Vorrat</b> Volumenfunktion Schwarzenegg	<b>Schwarzenegg</b> (8-105 cm BHD)	3.75	1.47	1.20
	<b>FIESTA</b> - aus PWVF (8-120 cm BHD)	4.52	1.51	1.22

Die Resultate erlauben eine allgemeine Aussage über den Einfluss der Funktion der Zielgrösse und der Häufigkeitsverteilung: Je steiler die Funktion der Zielgrösse ansteigt, desto grösser ist der relative Effizienzgewinn (als Faktor  $\gamma$  ausgedrückt) durch konzentrische Proben. Je steiler die Häufigkeitsverteilung fällt, desto kleiner ist der relative Gewinn durch konzentrische Proben.

Bei der Grundfläche, die eine Zwischenstellung zwischen Vorrat und Stärkezuwachs einnimmt, werden die Resultate am Beispiel der konzentrischen Probe mit zwei Kreisen dargestellt. Sie bestätigen die oben gemachten Aussagen. Das optimale Kreisverhältnis für die Grundfläche liegt je nach Verteilungsfunktion zwischen 1:7 und 1:11. Die Kluppschwelle des grossen Kreises liegt zwischen 32 und 34 cm. Der Faktor  $\gamma$  der einfachen Kreisprobe beträgt je nach Verteilungsfunktion zwischen 2,08 und 3,50, bei der konzentrischen Probe mit zwei Kreisen zwischen 1,29 und 1,43.

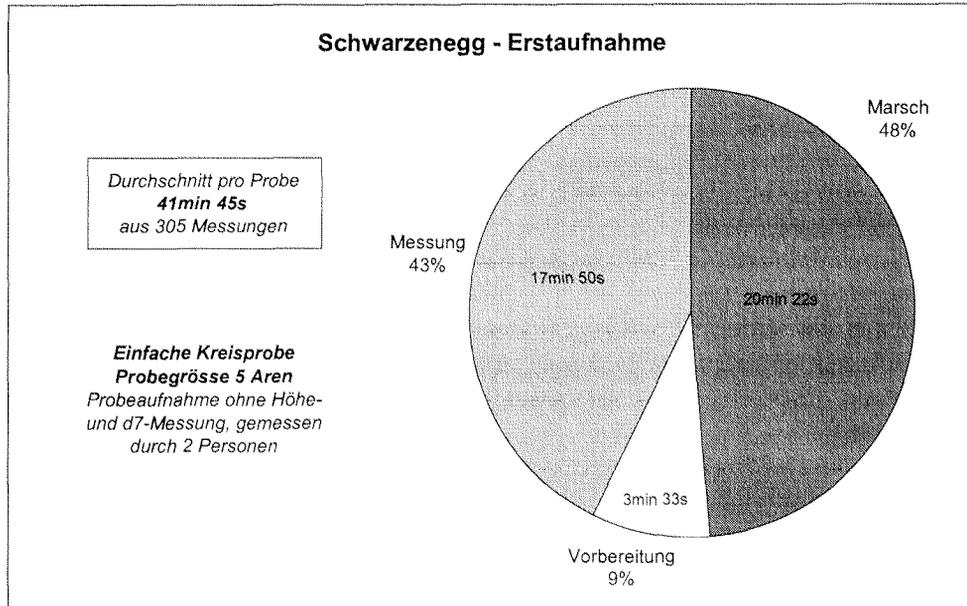
#### 4.1.4. Zeitaufwand

##### 4.1.4.1. Resultate der Zeitmessungen

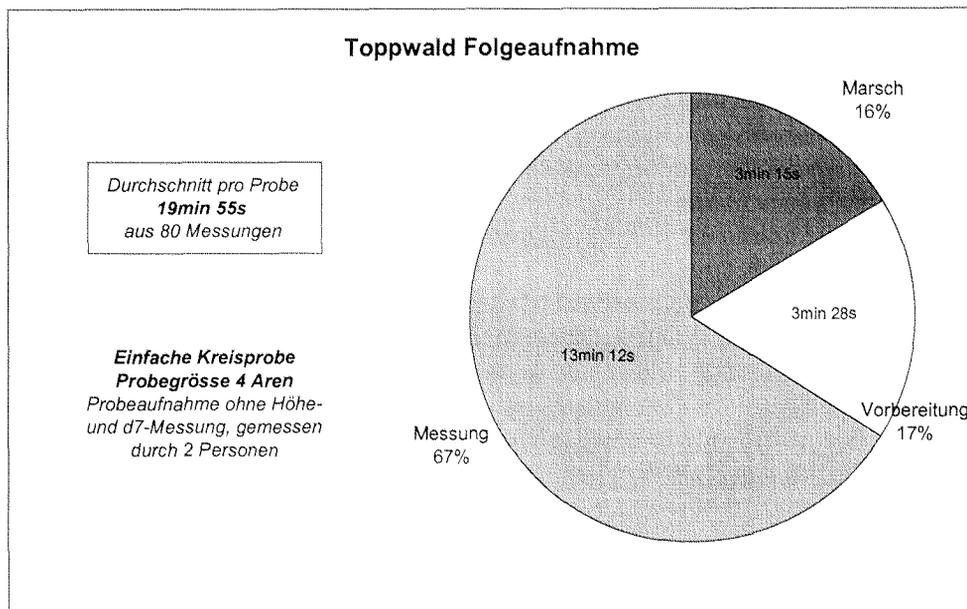
Während den Stichprobenaufnahmen wurde der Zeitaufwand für einzelne Arbeitsschritte gemessen (Abschnitt 3.1.4.6.1.). Die Angaben wurden für die Optimierung benutzt. Messungen aus Schwarzenegg (Abbildung 18) repräsentieren Erstinventuren, Messungen aus Toppwald (Abbildung 19) Folgeinventuren.

Der markanteste Unterschied zwischen Erst- und Folgeinventur wurde bei den Marschzeiten festgestellt. Der Marsch nimmt bei der Erstinventur sechsmal mehr Zeit in Anspruch als bei der Folgeinventur. Ursache ist, dass bei der Erstaufnahme die Marschzeit auch die genaue Einmessung der Probezentren mit Massband und Bussole enthält. Bei Folgeinventuren müssen die Probezentren nicht eingemessen, sondern nur gefunden werden (Abschnitt 3.1.4.6.1.). Bei gleicher Probeflächengrösse benötigten die Messungen in der Probe bei der Erstinventur etwa 10 % mehr Zeit als bei der Folgeinventur. Bei der Vorbereitung auf der Probefläche wurden keine zeitlichen Unterschiede gefunden, obwohl die Tätigkeiten bei Erst- und Folgeinventur nicht identisch waren (Abschnitt 3.1.4.6.1.).

**Abb. 18:** Netto-Zeitaufwand für Messung einer Probe. Beispiel Erstinventur Schwarzenegg. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich.



**Abb. 19:** Zeitaufwand für die Messung einer Probe. Beispiel Folgeinventur, Toppwald. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich..

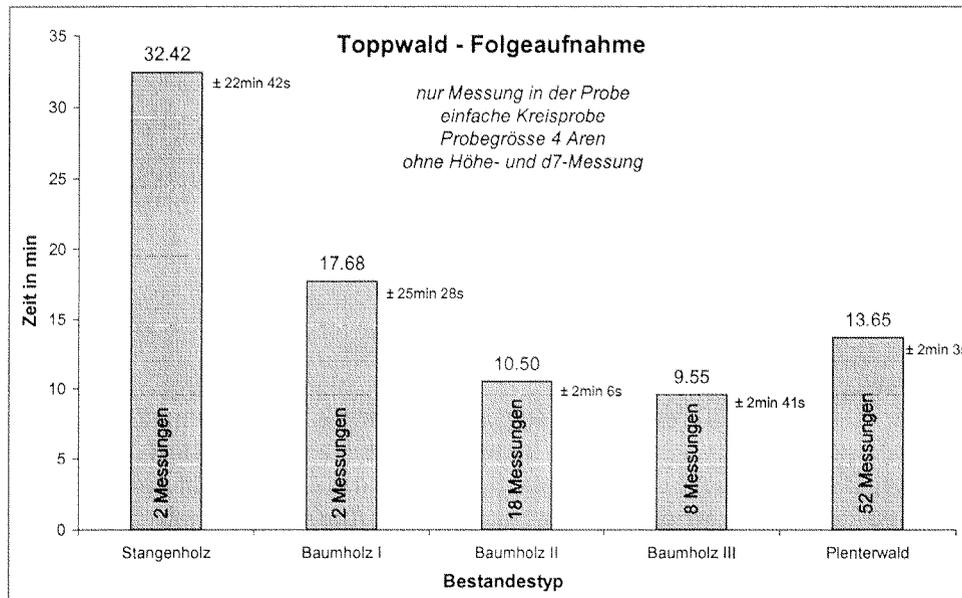


Die Angaben sind Nettozeiten. Sie enthalten keine Arbeitszeiten, die durch schlechtes Wetter, Pausen, Transport, Markierung der Fixpunkte usw. bedingt sind. Diese zusätzlichen Zeiten, die im Durchschnitt etwa ein Drittel der gesamten Arbeitszeit ausmachen, sind vom Stichprobenverfahren unabhängig oder können nicht oder nur mit hohem Aufwand abgeleitet werden. Die Entscheidung zwischen zwei Stichprobenverfahren kann deshalb vereinfachend auf Nettozeiten basieren.

Abbildung 20 zeigt zusätzlich den Zeitbedarf für die Inventur plenterartiger Waldtypen verschiedener Entwicklungsstufen im Femelschlagwald. Die Angaben für ‚Stangenholz‘ und ‚Baumholz I‘ sind unsicher, weil sie nur auf zwei Messungen beruhen. Gleichwohl entspricht die

deutlich sichtbare Tendenz der allgemeinen Regel, dass mit höherer Stammzahldichte der Zeitaufwand steigt. Die Messungen im Plenterwald benötigen höchstens den Zeitaufwand für Messungen im Femelschlagwald. Auch hier gilt, dass die Messungen umso zeitaufwendiger sind, je stammzahlreicher der Plenterwald ist (kann oft durch „vorratsarm“ ergänzt werden). Im Femelschlagwald gilt zusätzlich, dass die Messungen umso zeitaufwendiger werden, je kürzer die Umtriebszeit ist.

Abb. 20: Zeitaufwand für die Messung in der Probe nach Bestandestyp bei der Folgeaufnahme. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich..



#### 4.1.4.2. Abgeleiteter Zeitaufwand für die Messung in der Probe $T_P$

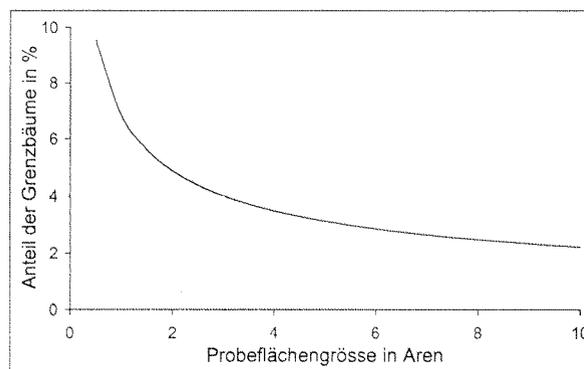
Der Zeitaufwand wurde für zwei Probetypen gemessen. Für andere Probetypen wurde der Aufwand theoretisch abgeleitet bzw. simuliert (Abschnitt 3.2.3.2.).

Die folgenden Resultate gelten genau genommen nur für Probeflächen, deren Ausdehnung nicht weit von den tatsächlich gemessenen Flächen (4 und 5 Aren) entfernt ist. Bei einer Probefläche von mehr als 7-10 Aren nimmt die Sicht und damit auch die Identifizierung der Bäume bzw. die Übersichtlichkeit schnell ab. Um die durch die schlechte Übersichtlichkeit entstehenden Fehler zu vermeiden, müsste ein vermehrter Aufwand betrieben und in die Zeitmessung eingerechnet werden. Da dieser Mehraufwand bei den Modellberechnungen nicht berücksichtigt wurde, ist der geschätzte Zeitaufwand für Proben mit einer Fläche über 7-10 Aren als zu niedrig anzusehen. Zwar befindet sich die ermittelte optimale Probeflächengrösse meist im Bereich über 7 Aren, weil zu grosse Proben (in der Regel über 7 Aren) in der Praxis aber nur schwer durchführbar sind, wurde ihre Anwendung von vornherein als unwahrscheinlich betrachtet. Auf eine Korrektur durch schwer modellierbare Grössen wie schlechte Sicht oder Übersichtlichkeit wurde deshalb verzichtet. Eine Probefläche von 10 Aren ist nach Meinung des Verfassers nur in Sonderfällen zumutbar und praktisch durchführbar. Wenn die ermittelte optimale Probefläche in diesem Bereich oder darüber liegt, sollte das Resultat als eine Empfehlung betrachtet werden, die Fläche so gross zu wählen, wie es die praktische Durchführung erlaubt.

Der Zeitaufwand für die Messung in der Probe ist nicht nur von der Probeflächengrösse abhängig, sondern auch vom Anteil der Grenzbäume und vom durchschnittlichen Messabstand zwischen den Bäumen in der Probe. Letzterer hängt auch von der Kluppschwelle ab. Der Anteil

der Grenzbäume nimmt mit der Probefläche proportional ab (Abbildung 21). Bei gleicher Stammzahldichte steigt der Abstand zwischen den zu messenden Bäumen mit der Kluppschwelle und mit der Probefläche. Ab einer bestimmten Fläche bleibt der durchschnittliche Messabstand trotz wachsender Probefläche aber relativ konstant. Bei der Kluppschwelle 8 cm beträgt diese Fläche ca. 250 m<sup>2</sup>, bei der Kluppschwelle 48 cm ca. 450 m<sup>2</sup> (Abbildung. 22). Wie Abbildung 23 zeigt, besteht zwischen dem berechneten Zeitaufwand für die Messung in der Probe und der Probefläche fast eine einfache lineare Beziehung. Dies gilt für alle simulierten Probetypen. Der Zusammenhang entsteht, weil sich die Einflüsse der Grenzbäume und die mittlere Marschdistanz zwischen den Bäumen in der Probe gegenseitig kompensieren. Der Zeitaufwand für die Messung in der Probe  $T_p$  kann daher in erster Näherung als eine einfache lineare Funktion der Probefläche ausgedrückt werden (Tabelle 17). Die Funktion diente dazu, den Zeitaufwand für grössere Probeflächen zu ermitteln. Bei konzentrischen Proben wurden für die Berechnung der optimalen Kreisverhältnisse und Kluppschwellen (Zielgrösse Vorrat) die Volumenfunktion Schwarzenegg und die Häufigkeitsverteilung gemäss dem Programm FIESTA benutzt (Abschnitt 4.1.3.). Um den Zeitaufwand für die Messung in der Probe bei Folgeninventuren zu erhalten, muss der Zeitaufwand  $T_p$  der Erstinventur mit dem Faktor 0,922 multipliziert werden.

Abb. 21: Anteil von Grenzbäumen in einer Probe nach Probenflächengrösse.



Tab. 17: Zeitaufwand für die Messung in einer Probe (ohne Höhe- und d7-Messung) für verschiedene Probetypen. Die Zeitangabe ist Aufwand für 1 Ar der Probefläche bei der Erstinventur. Kluppschwellen und Flächenverhältnisse zwischen den Kreisen bei konzentrischen Proben sind für die Zielgrösse Vorrat optimiert (Kap. 4.1.3.). Bei den konzentrischen Proben ist mit der Probenflächengrösse die Fläche des grössten Kreises gemeint.

	Einfache Kreisprobe	Konzentrische mit 2 Kreisen	Konzentrische mit 3 Kreisen
$T_p$ in min	3.63	1.77	1.12

Abb. 22: Simulierter durchschnittlicher Baumabstand in der Probe nach Kluppschwelle und Probenflächengrösse.

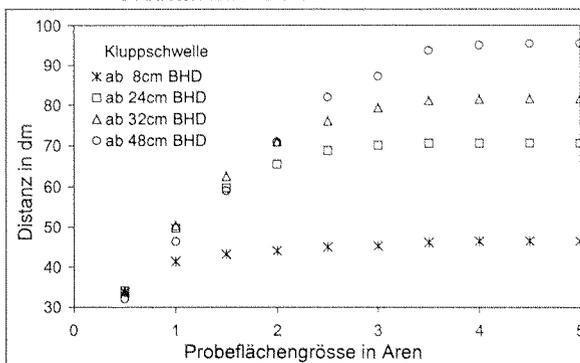
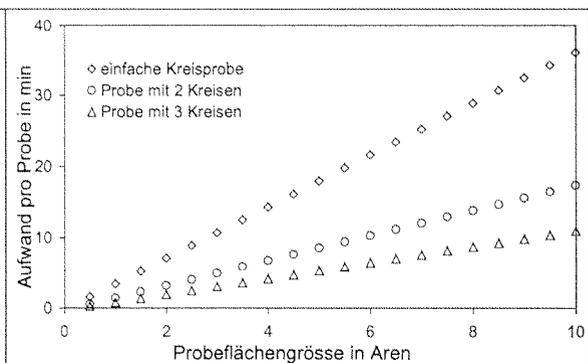


Abb. 23: Zeitaufwand für die Messung in der Probe nach Probenflächengrösse.



#### 4.1.4.3. Zeitaufwand für die Vorbereitung auf der Probe $T_V$

Die Zeitangabe ist für jeden Probetyp und jede Probefläche konstant. Es muss nur zwischen Erst- und Folgeinventur unterschieden werden. Für die weiteren Berechnungen wurden die Daten aus Abschnitt 4.1.4.1. direkt übernommen.

Tab. 18: Zeitaufwand für die Vorbereitung auf einer Probe. Daten aus Inventuren im Schwarzenegg (Erst-) und im Toppwald (Folgeinventur).

	Erstinventur	Folgeinventur
$T_V$ in min	3.55	3.47

#### 4.1.4.4. Zeitaufwand für den Marsch zwischen den Proben $T_M$

Die durchschnittliche Marschdistanz zwischen zwei Proben variiert je nach Probeanzahl, Probedichte, Form des Probenetzes, Waldfläche und Waldform. Bei einer gleichen Anzahl Proben ist die gesamte Marschdistanz in erster Linie von der **Waldfläche** abhängig. Die gesamte Marschdistanz steigt mit der Wurzel der Waldfläche (Abbildung 24).

Von den übrigen Parametern hat die **Probedichte**, d.h. das Verhältnis zwischen der Fläche und der Anzahl Proben, den grössten Einfluss auf die Marschdistanz. Sie steigt mit der Wurzel der Probeanzahl (Abbildung 24).

Abb. 24: Gesamte Marschdistanz zwischen den Proben nach Waldfläche, Probedichte und Probenetz.

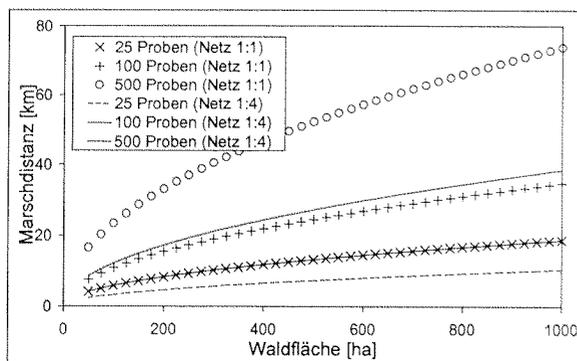
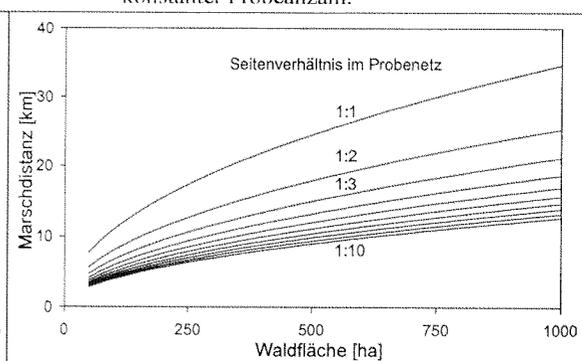


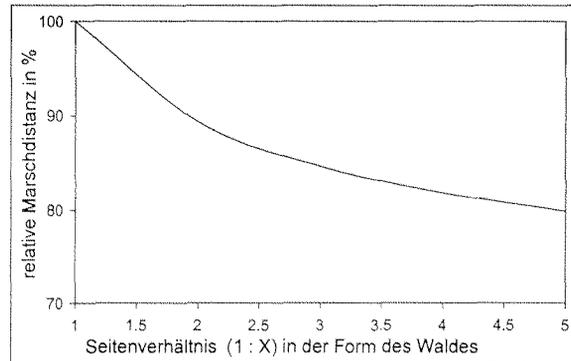
Abb. 25: Gesamte Marschdistanz zwischen den Proben nach Waldfläche und Seitenverhältnis bei konstanter Probeanzahl.



Da sowohl die zu inventarisierende Waldfläche als auch die Probedichte bzw. die Anzahl der Proben durch die gewünschte Genauigkeit vorgegeben sind, kann die gesamte Marschdistanz praktisch nur mit dem **Seitenverhältnis**, d.h. mit der Art des Probenetzes beeinflusst werden. Die Marschdistanz nimmt mit dem Seitenverhältnis proportional ab. Deshalb ist die grösste Einsparung beim Wechsel von einem Seitenverhältnis 1:1 zu einem Verhältnis 1:2 zu erreichen. Ein weiterer Wechsel von einem Verhältnis 1:2 hin zu 1:4 oder 1:5 ergibt nur eine relativ geringe zusätzliche Verkürzung der Marschdistanz (Abbildung 25). Unter Berücksichtigung möglicher Fehler (Abschnitt 4.1.1.) wird ein Seitenverhältnis 1:3 bis 1:4 empfohlen. Ein solches Netz halbiert die gesamte Marschdistanz im Vergleich zum quadratischen Netz.

Einen relativ kleinen Einfluss auf die Marschdistanz hat die **Form des Waldes**. Wenn der Wald eine rechteckige Form hat und die Probelinien parallel zur längeren Seite des Waldes verlaufen, nimmt die Marschdistanz mit steigendem Verhältnis der Waldseiten nur undeutlich ab (Abbildung 26).

**Abb. 26:** Änderung der gesamten Marschdistanz zwischen den Proben bei Änderung der Waldform.



Eine schnelle Orientierungshilfe über die gesamte Marschdistanz  $GMD$  ist die Funktion

$$GMD = \exp(0.4217 \cdot \ln n) \cdot \sqrt{WF} \quad [\text{m}],$$

wobei  $n$  gleich der Anzahl Proben und  $WF$  die Waldfläche in  $\text{m}^2$  ist. Die Funktion wurde aus Simulationen der  $GMD$  berechnet. Sie gilt nur für die Form des Stichprobenetzes 1:4 und nur für einen homogenen, quadratischen Wald. Sie ist nur als eine grobe Schätzung für die gesamte Marschdistanz zu betrachten. Die durchschnittliche Marschdistanz zwischen zwei Proben  $T_M$  ist dann durch die folgende Formel gegeben:

$$T_M = \frac{GMD \cdot t_M}{AP}$$

$AP$  ist die gesamte Probeanzahl.  $t_M$  ist der tatsächlich gemessene Zeitaufwand für einen Meter der Marschdistanz in Schwarzenegg und Toppwald (Tabelle 19).

**Tab. 19:** Zeitaufwand für das Zurücklegen eines Meters der Marschdistanz. Daten aus Inventuren in Schwarzenegg (Erst-) und im Toppwald (Folgeinventur).

	Erstinventur	Folgeinventur
$t_M$ in min	0.2550	0.0406

#### 4.1.5. Minimale Anzahl Proben pro Auswertungseinheit

Aus der Schätzung der Varianz für einzelne Proben  $\sigma^2$ , die im Programm FIESTA für verschiedene Probetypen simuliert wurden (Abschnitt 3.1.3.), leitet sich die minimale Probeanzahl pro Auswertungseinheit ab. Bei konzentrischen Proben wurden für die Berechnung der optimalen Kreisverhältnisse und Kluppschwellen (Zielgröße Vorrat) die Volumenfunktion Schwarzenegg und die Häufigkeitsverteilung gemäss dem Programm FIESTA benutzt (Abschnitt 4.1.3.).

Aus den Daten wurde eine Funktion aus der Probefläche und der Varianz von Einzelproben für jeden untersuchten Probetyp aufgestellt (Abschnitt 3.2.4.). Die Konstanten  $a$  und  $b$  aus der Funktion sind in Tabelle 20 dargestellt.

$$\ln \sigma^2 = a - b \cdot \ln PF$$

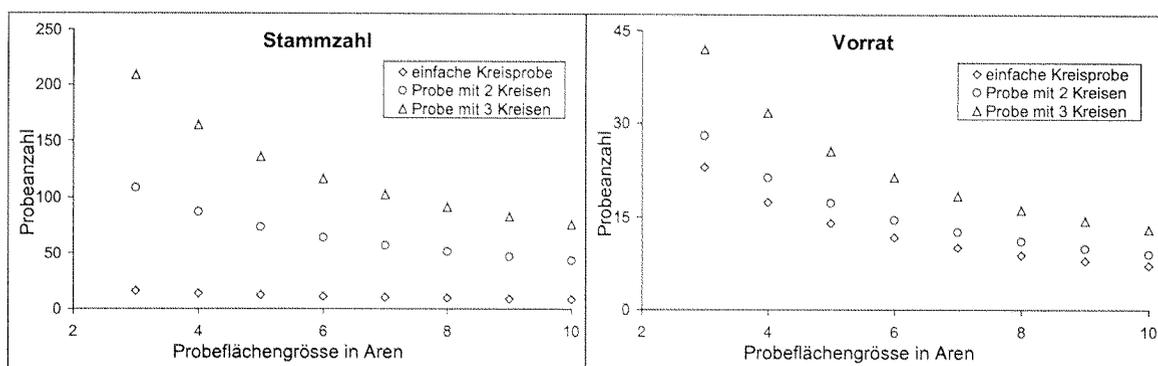
Dabei gilt:  $\sigma^2$  ist die Schätzung der Varianz einer einzelnen Probe und  $PF$  ist die Probefläche in Aren, bei konzentrischen Proben die Fläche des grössten Kreises. Mit dieser Funktion kann die Varianz für eine beliebige Probefläche berechnet werden.

**Tab. 20:** Varianz als Funktion von Probeflächengrösse und ihre Konstanten. Kreisverhältnisse und Kluppschwellen bei konzentrischen Proben sind für Zielgrösse Vorrat optimiert (Kap. 4.1.3.)

Probetyp	Zielgrösse Konstanten	Stammzahl		Vorrat	
		a	b	a	b
Einfache Kreisprobe <i>Kluppschwelle 8 cm</i>		11.2340	<b>0.5346</b>	12.3749	<b>0.9721</b>
Konzentrische Kreisprobe mit 2 Kreisen <i>Kreisverhältnis 1 : 19,6 ; Kluppschwellen 8 ; 34 cm</i>		13.4082	<b>0.7621</b>	12.5392	<b>0.9430</b>
Konzentrische Kreisprobe mit 3 Kreisen <i>Kreisverhältnis 1 : 10,8 ; 1 : 45,29 ; Kluppschwellen 8 ; 24 ; 51 cm</i>		14.1507	<b>0.8415</b>	12.9774	<b>0.9729</b>

Der nächste Schritt ist die Ermittlung der minimal notwendigen Probeanzahl für die Erreichung einer gewünschten Genauigkeit, für welche hier 10 % Standardfehler der Schätzung vorgegeben wurden. Um diese Genauigkeit bei der Zielgrösse Stammzahl zu erreichen, sind 16 einfache Kreisproben, 109 konzentrische Proben mit zwei Kreisen oder 209 konzentrische Proben mit drei Kreisen mit einer Probeflächengrösse von jeweils 3 Aren erforderlich (bei konzentrischen Proben bezieht sich die Flächenangabe auf den grössten Kreis). Alternativ dazu werden bei 10 Aren grossen Probeflächen 9, 44 oder 76 Proben benötigt (Abbildung 27). Für die Zielgrösse Vorrat beträgt die minimale Probeanzahl 23, 28 und 42 (Proben mit 3 Aren) bzw. 8, 9 und 13 (Proben mit 10 Aren) (Abbildung 27). Bei der Zielgrösse Vorrat sind deutlich kleinere Unterschiede zwischen den drei untersuchten Probetypen auf die Optimierung der Kreisverhältnisse und der Kluppschwellen bei konzentrischen Proben zurückzuführen. Für die Erreichung einer bestimmten Genauigkeit werden in jedem Fall mehr konzentrische Proben als einfache Kreisproben benötigt. Der Grund ist, dass die konzentrische Probe weniger Bäume aufnimmt, aber auch weniger aufwendiger ist als die einfache Kreisprobe von gleicher Probeflächengrösse.

**Abb. 27:** Minimale Probeanzahl für 10% Standardfehler bei Stammzahl und Vorrat nach Probenflächengrösse und Probetyp.



#### 4.1.6. Optimale Probeflächengrösse

Bei Kenntnis der Zeitaufwandfunktion (Kostenfunktion)  $f_T$  und der Varianz als Funktion der Probeflächengrösse  $f_V$  kann die optimale Probeflächengrösse berechnet werden (Abschnitt 3.1.4.8.). Weil der Zeitaufwand für den Marsch  $T_M$  von vielen Faktoren abhängt und schwierig zu simulieren ist, wurden die optimalen Probeflächen zunächst ohne ihn berechnet. Damit kann der Einfluss des Zeitaufwands für die Messung in der Probe  $T_p$  und für die Vorbereitung  $T_V$  besser analysiert werden.

Die optimalen Probeflächengrößen für die Zielgrösse Vorrat liegen bei allen untersuchten Probetypen und sowohl bei Erst- als auch bei Folgeinventur bei mehr als 30 Aren (Tabelle 21, Abbildung 27). Bei konzentrischen Proben sind die Kreisverhältnisse und Kluppschwellen für die Zielgrösse optimiert (Abschnitt 4.1.3.), und die Probeflächengrösse bezieht sich auf die Fläche des grössten Kreises.

Bei der Zielgrösse Stammzahl wurden, je nach Probetyp und Folge- oder Erstinventur, optimale Probeflächengrößen zwischen 1,12 und 17,93 Aren ermittelt (Tabelle 21). Die Erstinventur weist bei allen Probetypen kleinere optimale Probeflächen auf als die Folgeinventur. Weil die Vorbereitungszeit  $T_V$  für Folge- und Erstinventur fast identisch sind, kann die Vergrößerung der Probefläche bei Folgeinventuren dem sinkenden Zeitaufwand für die Messung in der Probe zugeschrieben werden.

**Tab. 21:** Optimale Probeflächengrösse in Aren. Mit und ohne der Berücksichtigung der Marschzeiten. Die Kreisverhältnisse und Kluppschwellen bei konzentrischen Proben sind für Zielgrösse Vorrat optimiert (Kap. 4.1.3.). Bei konzentrischen Proben ist mit der Probenflächengrösse die Fläche des grössten Kreises gemeint.

Art der Probe	Zielgrösse	Erstinventur		Folgeinventur	
		Stammzahl	Vorrat	Stammzahl	Vorrat
<b>Ohne Marsch zwischen den Proben</b>					
Einfache Kreisprobe		1.12	34.07	1.20	36.31
2 Kreise		6.42	33.18	6.85	35.36
3 Kreise		16.83	113.79	17.93	121.26
<b>Marschdistanz zwischen den Proben: 80 m</b>					
Einfache Kreisprobe		8.20	248.79	2.32	70.32
2 Kreise		46.91	242.27	13.26	68.48
3 Kreise		122.87	830.84	34.73	234.83
<b>Marschdistanz zwischen den Proben: 120 m</b>					
Einfache Kreisprobe		11.74	356.15	2.88	87.32
2 Kreise		67.15	346.81	16.47	85.03
3 Kreise		175.89	1189.36	43.13	291.62
<b>Marschdistanz zwischen den Proben: 160 m</b>					
Einfache Kreisprobe		15.28	463.51	3.44	104.33
2 Kreise		87.40	451.36	19.67	101.59
3 Kreise		228.91	1547.88	51.52	348.40

Die optimalen Probeflächengrößen für die Zielgrösse Vorrat sind die tiefsten Punkte in einem sehr breiten Optimumbereich. Dieser Bereich (Abbildung 28) beginnt je nach Probetyp bei einer Fläche von 15 bis 25 Aren. Oberhalb der optimalen Flächengrösse ist nur ein sehr langsamer Anstieg der Kurve zu verzeichnen. Bei der Stammzahl dagegen, insbesondere bei der einfachen Kreisprobe, ist das Optimum deutlich ausgeprägt. Dieses bei Vorrat und Stammzahl unterschiedliche Kurvenverhalten beruht auf unterschiedlichen Werten der Konstante  $b$  in der Varianzfunktion der Zielgrößen (Abschnitt 4.1.5.). Für  $b = 1$  könnte kein Optimum gefunden werden. Ab einer gewissen Grösse werden alle noch grösseren Flächen gleich optimal. Dieser Sachverhalt trifft für den Poisson-Wald zu, in dem alle Bäume zufällig verteilt sind. Je näher dagegen die Konstante  $b$  bei 0 ist, desto ausgeprägter ist das Optimum. Dies trifft auf geklumpte Populationen zu. Die plenterartigen Bestände dieser Untersuchung besitzen für die Zielgrösse Vorrat Konstanten  $b$ , die nicht weit von 1 entfernt sind. Bei der Stammzahl sind die Wert für  $b$  deutlich kleiner. Dies weist darauf hin, dass der Vorrat in plenterartigen Beständen mehr zufällig verteilt ist als die Stammzahl.

Wenn beim Zeitaufwand für die Installation der Probe die richtigen Werte für  $\gamma$  und  $T_{MV}$  eingesetzt werden, d.h. **mit den Marschzeiten**  $T_M$ , vergrössern sich die optimalen Probeflächen noch weiter. Die Marschzeiten sind von vielen Faktoren abhängig (Abschnitt 3.1.4.6.2.) und schwierig zu simulieren. Tabelle 7 enthält drei Beispiele für Marschdistanzen, die nach Meinung des Verfassers realistisch sind. Die optimalen Probeflächen werden mit der Marschdistanz logischerweise immer grösser. Auffallend ist der etwas stärkere Unterschied zwischen Erst- und Folgeinventur. Er entsteht dadurch, dass bei der Folgeinventur der Zeitaufwand für den Marsch ( $T_M$ ) und für die Installation der Probe ( $T_{MV}$ ) etwas geringer ist.

Die Formel für die Berechnung der optimalen Probefläche (Abschnitt 3.1.4.8.) lässt die Folgerung zu, dass die optimale Probeflächengrösse mit dem Zeitaufwand für die Installation der Probe steigt ( $T_{MV}$  bzw.  $\varepsilon$ , aus Marschzeiten und Vorbereitung). Im Gegensatz dazu wird die optimale Probeflächengrösse kleiner, wenn der Zeitaufwand für die Messung in der Probe ( $T_p$  bzw.  $\delta$ ) steigt.

Im Zeitaufwand für die Messung in der Probe ( $T_p$  bzw.  $\delta$ ) ist nicht der Zeitaufwand für die Höhen- und  $d_7$ -Messung enthalten. Der Einbezug dieser und anderer Messgrössen erhöht den Zeitaufwand für die Messung in der Probe mit der Folge, dass die optimale Probefläche kleiner wird als in Tabelle 21 angegeben.

#### 4.1.7. Gesamtoptimierung

Die Optimierung besteht darin, für eine geforderte Genauigkeit Stichprobeverfahren zu suchen, welche den kleinsten zeitlichen Aufwand (Kosten) benötigen. Umgekehrt wird bei gegebenem Zeitaufwand (Kosten) dasjenige Verfahren gesucht, welches die kleinste Varianz liefert. In den folgenden Beispielen wird vom ersten Ansatz ausgegangen, d.h. von einer geforderten Genauigkeit und einer bestimmten Waldfläche. Der gesuchte Probetyp soll den kleinsten Zeitaufwand erfordern. Bei konzentrischen Probetypen sind die Kreisverhältnisse und Kluppschwellen für die Zielgrösse Vorrat optimiert.

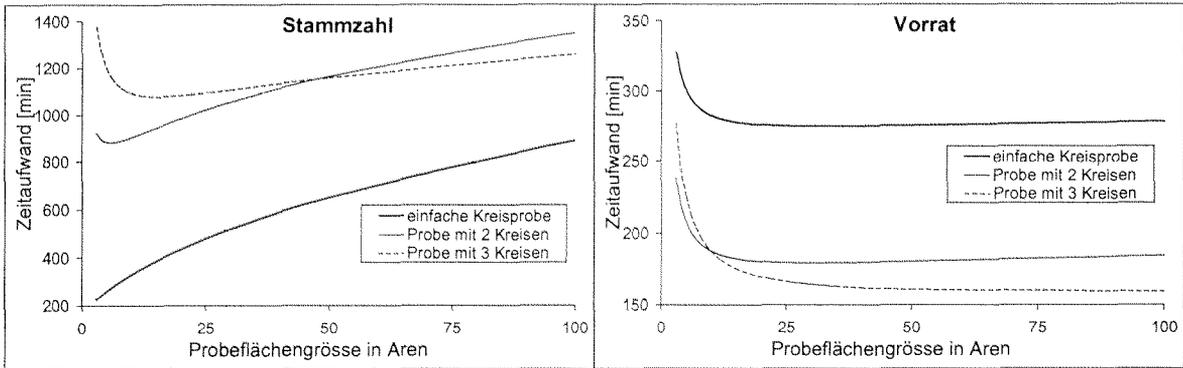
Bleiben die **Marschzeiten**  $T_M$  unberücksichtigt, so ist für die Zielgrösse Stammzahl das mit Abstand effizienteste Verfahren die einfache Kreisprobe (Abbildungen. 28, 29). Diese Aussage gilt nicht nur für die in der Praxis üblichen Probeflächengrössen bis 10 Aren, sondern auch darüber. Dagegen ist bei der Zielgrösse Vorrat die einfache Kreisprobe den konzentrischen Proben schon ab einer Fläche von 10 m<sup>2</sup> unterlegen. Die zwei konzentrischen Kreisproben können bezüglich der Effizienz im Bereich bis 10 Aren als gleichwertig betrachtet werden, obwohl die Probe mit drei Kreisen der Probe mit zwei Kreisen unter 9 Aren leicht unterlegen ist (Abbildung 29). Mit steigender Probenflächengrösse ist die konzentrische Kreisprobe mit drei Kreisen den anderen Probetypen immer mehr überlegen (Abbildung 28).

Für die Gesamtoptimierung müssen die **Marschzeiten** berücksichtigt werden. Da sie stark von der Waldfläche und der Art des Probenetzes abhängig sind, kann auch das optimale Stichprobendesign je nach Waldfläche und Art des Probenetzes variieren (Abschnitt 4.1.4.4.). Für die Berechnungen im Rahmen der Gesamtoptimierung wird ein Seitenverhältnis von 1:4 als optimal und vertretbar angenommen. Die Fläche des zu inventarisierenden Waldgebietes bzw. die davon abhängige Marschdistanz spielt bei der Erstinventur eine grössere Rolle als bei der Folgeinventur (Abbildung 30). Der Grund ist der unterschiedliche Zeitaufwand für den Marsch zwischen den Proben  $T_M$ . Die Feststellung, dass mit der Waldfläche auch der Unterschied zwischen Erst- und Folgeinventur immer grösser wird, gilt für alle Inventurvarianten im gleichen Masse.

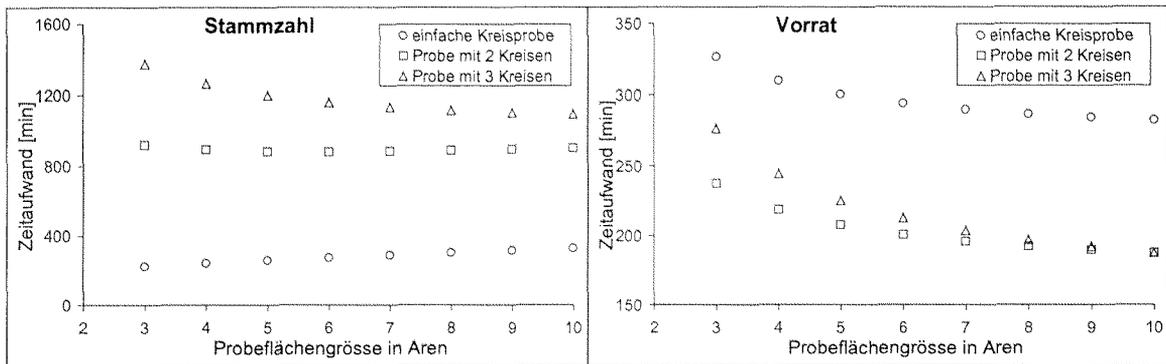
Tabelle 22 zeigt den Zeitaufwand für verschiedene Kombinationen von Genauigkeit und Waldfläche. Die Marschdistanzen zwischen den Proben in der Linie liegen im Bereich zwischen 50 und 200 m. Der Zeitaufwand gilt für einen homogenen, quadratischen Wald und für ein Seitenverhältnis im Probenetz von 1:4. Es zeigt sich, dass der kleinste Zeitaufwand mit der grössten Probefläche (7 Aren) erreicht wird (Ausnahme: einfache Kreisprobe, Zielgrösse

Stammzahl, Folgeinventur). Bei der Zielgrösse Vorrat führt eine Vergrößerung der Probefläche zu einer grösseren Zeitersparnis als bei der Zielgrösse Stammzahl. Das optimale Stichprobeverfahren kann auch der Abbildung 31 entnommen werden, auf der die Varianz und der Zeitaufwand als Funktionen der Probeanzahl dargestellt sind. Die Abbildung gilt aber nur für eine bestimmte Zielgrösse, Waldfläche, Waldform und Art des Probegitters.

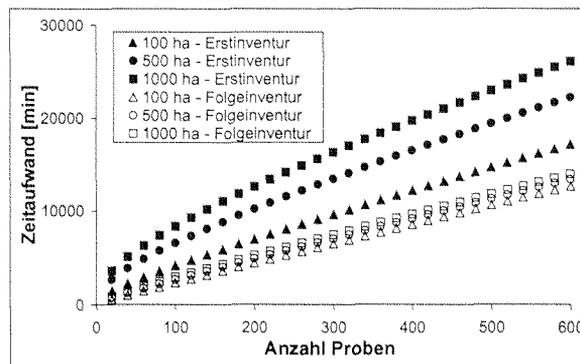
**Abb. 28:** Zeitaufwand einer Stichprobe für 10% Standardfehler ohne Marschzeit. Beispiel – Erstinventur, Zielgrössen Stammzahl und Vorrat im Simulationswald FIESTA. Bei konzentrischen Proben sind Kreisverhältnisse und Kluppschwellen für die Zielgrösse Vorrat optimiert (Kap. 4.3.1.). Bei konzentrischen Proben ist mit der Probeflächengrösse die Fläche des grössten Kreises gemeint.



**Abb. 29:** Zeitaufwand einer Stichprobe für 10% Standardfehler ohne Marschzeit (Detail). Beispiel – Erstinventur, Zielgrössen Stammzahl und Vorrat im Simulationswald FIESTA. Bei konzentrischen Proben sind Kreisverhältnisse und Kluppschwellen für die Zielgrösse Vorrat optimiert (Kap. 4.3.1.). Bei konzentrischen Proben ist mit der Probeflächengrösse die Fläche des grössten Kreises gemeint.



**Abb. 30:** Zeitaufwand für die Marschdistanz zwischen Proben nach Probeanzahl und Waldfläche. Beispiel – ein homogener, quadratischer Wald. Seitenverhältnis im Probenetz 1:4.

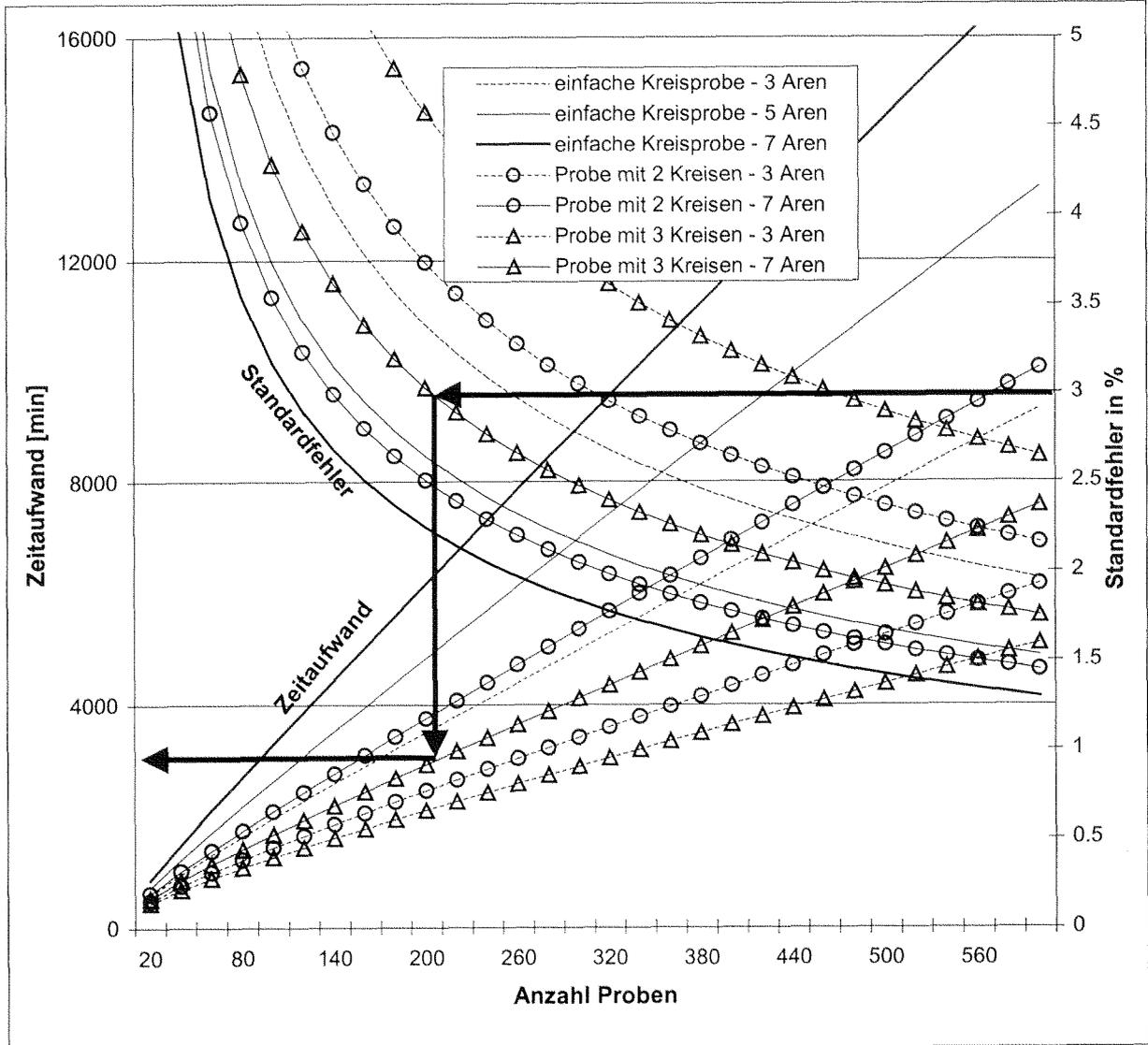


**Tab. 22:** Gesamtzeitaufwand für die Stichprobe bei verschiedenen Probeflächengrößen und für verschiedene angestrebte Genauigkeiten. Beispiel: ein homogener quadratischer Wald, Seitenverhältnis im Probenetz 1:4, Kreisverhältnisse und Kluppschwellen sind bei konzentrischen Proben für die Zielgröße Vorrat optimiert. Mit der Probeflächengröße ist bei der konzentrischen Proben die Fläche des grössten Kreises gemeint.

Zielgröße	Zeit in min					
	Vorrat			Stammzahl		
Probefläche	einfache Kreisprobe	Kreisprobe mit 2 Kreisen	Kreisprobe mit 3 Kreisen	einfache Kreisprobe	Kreisprobe mit 2 Kreisen	Kreisprobe mit 3 Kreisen
<b>Erstaufnahme</b>	<b>100 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 10%</b>		
3 Aren	1'375	1'376	1'627	1'121	2'787	4'033
5 Aren	1'151	1'137	1'321	1'057	2'399	3'416
7 Aren	1'030	1'009	1'158	1'029	2'197	3'100
<b>Erstaufnahme</b>	<b>100 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 5%</b>		
3 Aren	3'188	2'994	3'530	2'507	6'862	10'270
5 Aren	2'727	2'499	2'867	2'466	6'019	8'773
7 Aren	2'488	2'242	2'527	2'483	5'613	8'058
<b>Erstaufnahme</b>	<b>500 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 5%</b>		
3 Aren	5'513	5'519	6'526	4'493	11'172	16'165
5 Aren	4'613	4'562	5'297	4'237	9'614	13'690
7 Aren	4'131	4'045	4'643	4'124	8'804	12'422
<b>Erstaufnahme</b>	<b>1'000 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 5%</b>		
3 Aren	7'255	7'412	8'772	5'981	14'402	20'582
5 Aren	6'026	6'105	7'118	5'563	12'309	17'375
7 Aren	5'362	5'397	6'229	5'354	11'195	15'693
<b>Erstaufnahme</b>	<b>10'000 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 1%</b>		
3 Aren	105'774	103'163	121'847	84'942	219'880	322'845
5 Aren	89'320	85'594	98'921	81'507	190'788	274'457
7 Aren	80'618	76'275	86'899	80'481	176'113	250'396
<b>Folgeaufnahme</b>	<b>100 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 10%</b>		
3 Aren	457	389	459	340	1'077	1'692
5 Aren	402	329	371	356	962	1'451
7 Aren	375	300	329	375	915	1'346
<b>Folgeaufnahme</b>	<b>100 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 5%</b>		
3 Aren	1'492	1'192	1'402	1'072	3'687	5'917
5 Aren	1'335	1'020	1'134	1'167	3'330	5'091
7 Aren	1'265	941	1'011	1'261	3'198	4'753
<b>Folgeaufnahme</b>	<b>500 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 5%</b>		
3 Aren	1'830	1'559	1'837	1'361	4'313	6'773
5 Aren	1'609	1'319	1'487	1'424	3'853	5'806
7 Aren	1503	1'203	1'319	1'500	3'661	5'387
<b>Folgeaufnahme</b>	<b>1'000 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 5%</b>		
3 Aren	2'083	1'834	2'164	1'577	4'783	7'415
5 Aren	1'815	1'544	1'751	1'617	4'244	6'341
7 Aren	1'682	1'399	1'549	1'679	4'009	5'863
<b>Folgeaufnahme</b>	<b>10'000 ha</b>			<b>Ziel: Standardfehler 1%</b>		
3 Aren	41'083	33'925	39'935	30'043	99'200	157'520
5 Aren	36'460	28'850	32'306	32'055	89'118	135'298
7 Aren	34'291	26'468	28'730	34'210	85'138	125'945

Die Resultate einer solchen Optimierung fallen je nach Zielgröße unterschiedlich aus, liegen aber immer innerhalb des Bandes, welches durch die beiden Extreme Stammzahl und Vorrat begrenzt ist. Die Optimierungskurve für die Grundfläche nimmt eine Zwischenstellung ein, relativ nahe an derjenigen des Vorrates. Eine ähnliche Aussage trifft für die Zielgröße Volumenzuwachs zu. Dagegen ähnelt die Optimierungskurve für die Zielgröße Stärkezuwachs in ihrem Verlauf eher der Kurve für die Zielgröße Stammzahl. Eine Folgerung aus den Resultaten ist die Empfehlung an die Praxis, in plenterartigen Beständen eher wenige, grosse Probeflächen (min. 5 Aren) an Stelle vieler, kleiner Probeflächen anzulegen.

**Abb. 31:** Optimales Stichprobenverfahren bei gegebener Genauigkeit oder gegebenem Zeitaufwand. Beispiel – Folgeaufnahme, Zielgröße Vorrat, ein homogener quadratischer Wald, Probenetz 80 x 320m, Kreisverhältnisse und Kluppschwellen bei konzentrischen Proben sind für Zielgröße Vorrat optimiert (Kap. 4.1.3.) Die Pfeile zeigen das Herauslesen des Zeitaufwandes für eine Stichprobe mit 3 Kreisen (7 Aren) bei einer Genauigkeit von 3% Standardfehler.

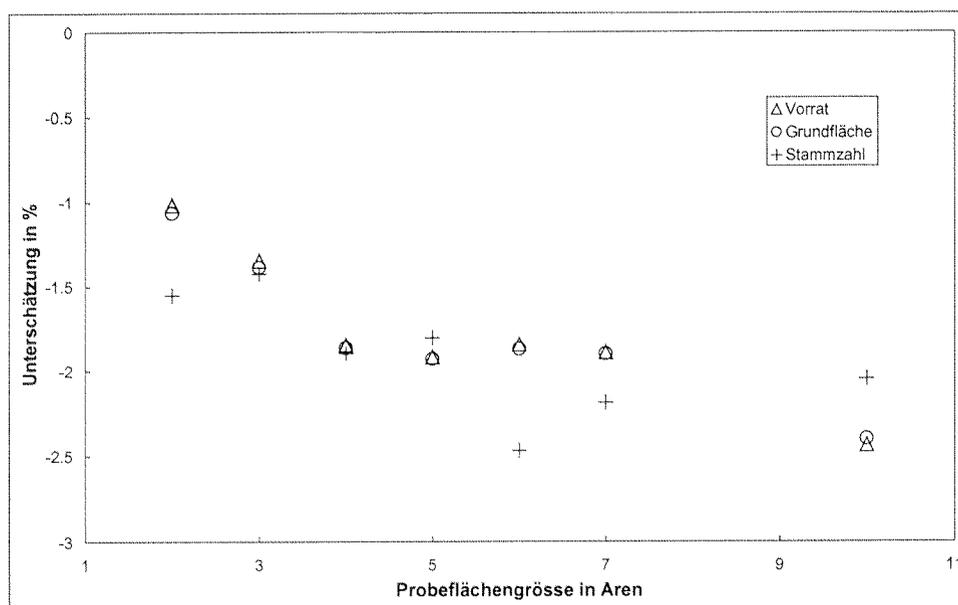


#### 4.1.8. Randproben

Die Fehler bzw. der Bias, welche durch die fehlende Berücksichtigung der Randproben entstehen, wurden in dieser Arbeit nicht detailliert untersucht. Die folgenden Resultate sind Nebenprodukte der Simulationen mit dem Programm FIESTA. Die festgestellten Zusammenhänge bestätigen frühere Arbeiten. Der Bias hängt in erster Linie vom Verhältnis zwischen Waldrandlänge und Waldfläche ab. Die folgenden Resultate gelten genau genommen nur für den Simulationswald, insbesondere für sein Verhältnis zwischen Randlänge und Waldfläche.

Der Mittelwert von Stichproben, welche das Randproblem ausser Acht lassen, unterschätzt den wahren Wert. Während die Unterschätzung mit steigender Probeflächengrösse zunimmt (Abbildung 32), besteht zwischen der Unterschätzung und dem Seitenverhältnis im Netz oder der Probedichte kein Zusammenhang.

Abb. 32: Unterschätzung des geschätzten Mittelwertes gegenüber dem wahren Wert bei Nichtberücksichtigung des Randproblems nach Probeflächengrösse.



## 4.2. Stratenbildung und Poststratifizierung

### 4.2.1. Kartierungen

#### 4.2.1.1. Bestandeskarte

In den Untersuchungsgebieten Schwarzenegg und Toppwald erfolgten unterschiedliche Bestandeskartierungen. Im Toppwald wurde die bestehende Bestandeskarte benutzt, die auf dem Kartierungsschlüssel der dortigen Forstinspektion basiert. In Schwarzenegg fertigte der Verfasser eine neue Kartierung an, die auf der Plenterziffer basiert (Abschnitte 3.3.2. und 4.2.2.).

Die beiden Kartierungen unterscheiden sich nicht nur durch den verwendeten Kartierungsschlüssel, sondern auch durch den Detaillierungsgrad. Da über die Kartierung nach Plenterziffern (Plenterstruktur-Kartierung) keine Erfahrungen vorlagen, erfolgte die Kartierung sehr detailliert. Dieser Umstand wirkte sich auf die durchschnittliche Bestandesgrösse in Schwarzenegg aus. Aufgrund der hohen Zahl kleiner Einheiten (Bestände) wurden ähnliche Bestände nach Bestandestypen gruppiert (Abschnitt 4.2.4.). Ziel war die Schaffung grösserer Einheiten, die statistisch sinnvoll ausgewertet werden konnten. Die durchschnittliche Bestandsgrösse ist mit der Einführung von Bestandestypen deutlich gestiegen (Tabelle 23). Bei den kleinsten Flächen handelt sich meist um Blössen oder kompakte Jungwuchs- oder Dickungsgruppen.

**Tab. 23 :** Bestandesfläche nach unterschiedlichen Kartierungen. Beispiel Schwarzenegg, nur plenterartige Bestände.

Kartierung nach	durchschnittliche Fläche	minimale Fläche	Maximale Fläche
Plenterziffer	<b>0,38 ha</b>	0,03 ha	5,56 ha
Bestandestyp	<b>0,72 ha</b>	0,03 ha	61,42 ha

Bei der Bestandeskartierung nach der Plenterziffer wurde festgestellt, dass die durchschnittliche Bestandesfläche von der Betriebsart abhängt. Bestände, die als Plenterwald eingestuft wurden, haben im Durchschnitt eine kleinere Bestandesfläche als Überführungs- oder gleichförmige Bestände (Tab. 24). Bei plenterartigen Beständen besteht ausserdem ein Zusammenhang mit der Vorratshöhe: Je niedriger der Vorrat, desto grösser war die Tendenz, kleinere Bestände auszuscheiden. Tabelle 25 zeigt diese Beobachtung am Beispiel der Bestandeskartierung nach Bestandestypen; bei der Bestandeskartierung nach Plenterziffern besteht ein ähnlicher Zusammenhang.

**Tab. 24 :** Bestandesfläche bei Kartierung nach der Plenterziffer in Abhängigkeit von der Art der Bestockung. Beispiel Schwarzenegg

Art der Bestockung	Durchschnittliche Bestandesfläche
Plenterwald	0,31 ha
Überführung gleichförmig	0,39 ha 0,50 ha

**Tab. 25 :** Bestandesfläche bei der Kartierung nach Bestandestyp in Abhängigkeit von der Art der Bestockung und Vorratshöhe. Beispiel Schwarzenegg, nur plenterartige Bestände.

Vorratshöhe	Art der Bestockung	
	Plenterwald	Überführung
Niedrig	0,24 ha	0,26 ha
Mittel	0,30 ha	0,38 ha
Hoch	0,68 ha	1,85 ha

Im **Toppwald**, in dem ein anderer Kartierungsschlüssel benutzt und weniger detailliert kartiert wurde, sind die durchschnittlichen Bestandesflächen mit 2,15 ha wesentlich grösser als in Schwarzenegg. Die Extremwerte betragen 0,03 ha und 30,71 ha. Die durchschnittliche Bestandesfläche plenterartiger Bestände liegt bei 2,66 ha. Im Gegensatz zu Schwarzenegg weisen die femelschlagartigen Bestände mit durchschnittlich 1,96 ha eine kleinere Bestandesfläche auf als die plenterartigen Bestände. Die Ursache dürften viele kleine, flächige Bestände in den jüngsten Entwicklungsstufen sein (Blössen, Kulturen und Dickungen).

#### 4.2.1.2. Standortskarte

Die Standortskarten der beiden Gebiete wurden zur ungefähr gleichen Zeit mit dem gleichen Kartierungsschlüssel und nach denselben Regeln erstellt (Abschnitt 3.3.3.). In beiden Gebieten wurden verwandte Standorte zu Standortgruppen zusammengefasst (Abschnitt 4.2.3.1.). Da beide Gebiete ähnliche standörtliche Bedingungen haben, sind die Unterschiede hinsichtlich der durchschnittlichen Grösse einer zusammenhängenden Fläche für einen Standort (Tab. 26) allein auf die unterschiedliche Genauigkeit der Kartierung zurückzuführen.

**Tab. 26 :** Flächengrösse der Standorte und Standortgruppen.

Ausgewertet nach	zusammenhängende Flächengrösse					
	Schwarzenegg			Toppwald		
	Ø	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.
Standort	<b>0,33 ha</b>	0,02 ha	14,04 ha	<b>1,28 ha</b>	0,02 ha	39,42 ha
Standortgruppe	<b>0,88 ha</b>	0,02 ha	43,30 ha	<b>3,05 ha</b>	0,04 ha	51,97 ha

Die einzelnen Standorte bzw. Standortgruppen weisen unterschiedlich grosse zusammenhängende Flächen auf: Die typischen Standorte der Plateau-Lagen (Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald) oder der Hänge (typischer Tannen-Buchenwald) bilden grössere zusammenhängende Flächen. Dagegen treten nasse Standorte, die am Rand von Bächen als schmale Streifen, lokal in kleinen Depressionen oder in der Nähe von Quellen zu finden sind, eher kleinflächig auf (Tabelle. 27).

**Tabelle 27:** Flächengrösse der Standortgruppen. Die Bildung der Standortgruppen ist im Kapitel 4.2.3.1. beschrieben.

Standortgruppe	zusammenhängende Flächengrösse					
	Schwarzenegg			Toppwald		
	Ø	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.
Nasse, nährstoffreiche	<b>0,83 ha</b>	0,02 ha	43,30 ha	<b>0,71 ha</b>	0,04 ha	2,91 ha
Feuchte eher neutral	<b>0,53 ha</b>	0,02 ha	6,73 ha	<b>1,37 ha</b>	0,07 ha	8,03 ha
Frisch bis trocken eher sauer	<b>0,91 ha</b>	0,03 ha	22,91 ha	<b>6,83 ha</b>	0,08 ha	48,30 ha
Saure, frisch bis feucht-nass	<b>1,16 ha</b>	0,03 ha	29,33 ha	<b>3,59 ha</b>	0,10 ha	51,97 ha
Veränderte Hochmoore	<b>1,01 ha</b>	0,04 ha	8,55 ha	-	-	-
Untere Montanstufe	-	-	-	<b>8,20 ha</b>	8,20 ha	8,20 ha

#### 4.2.1.3. Karte der End-Straten

Die Karte der End-Straten ist das Ergebnis einer Verschneidung der Bestandeskarte nach Bestandestypen mit der Standortkarte nach Standortgruppen sowie der anschliessenden Gruppierung von verwandten Beständen (Abschnitt 4.2.4.). Die durchschnittlichen Bestandesflächen nach Endstraten sind deutlich kleiner als die Flächen nach Standortgruppen oder Bestandestypen (Tabelle 28). Die Unterschiede zwischen den beiden Karten der End-Straten entsprechen im Ausmass den Unterschieden bei den zugrunde liegenden Bestandes- und Standortskarten von Schwarzenegg und Toppwald.

**Tab. 28:** Flächengrösse der Endstraten.

	Durchschnittliche Bestandesgrösse					
	Schwarzenegg			Toppwald		
	Ø	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.
End-Straten	<b>0,18 ha</b>	0,01 ha	22,34 ha	<b>0,50 ha</b>	0,01 ha	17,13 ha

## 4.2.2. Stratifizierung nach Bestandestypen in Schwarzenegg

### 4.2.2.1. Flächenanteile der Betriebsarten

Im Schwarzenegg wurden die plenterartigen Bestände nach einem neuen, auf ebensolche Bestände ausgerichteten Verfahren kartiert, der Plenterstruktur-Kartierung (Kapitel 3.3.), welche die einzelnen Schichten des Plentergefüges anspricht und bewertet. Gleichförmige Bestände wurden auf die herkömmliche Art nach Entwicklungsstufen kartiert.

Nach dieser Kartierung sind über 90% der Bestände plenterartig und weniger als 10% gleichförmig. Die plenterartigen Bestände setzen sich zu etwa 1/3 der Fläche aus Plenterwald und zu etwa 2/3 aus Überführungswald zusammen. Die Anteile der plenterartigen bzw. der echten Plenterbestände sind je nach Standort unterschiedlich. Die Abbildungen 33 und 34 zeigen diese Anteile für einzelne Standortgruppen (vgl. auch Abschnitt 4.2.3.1.). Sie bestätigen die Plenterwald fördernde Eigenschaft (SCHÜTZ 1989) der *Vaccinio-Abietetum*-Gruppe (Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald, zusammengefasst in Standortgruppe 4). Den zweitgrössten Anteil von plenterartigen Beständen hat die Standortgruppe 3, die trockenere, saurere und nährstoffärmere

*Abieti-Fageta* zusammenfasst. Bei den Standortsgruppen 2 und 1 dagegen, die frische bis nasse und nährstoffreiche Standorte enthalten, ist der Anteil von plenterartigen Beständen kleiner. Den kleinsten Plenterwaldanteil weist Standortsgruppe 5 auf, die zwei Standorte auf Torfböden vereint. Ein Grund könnte sein, dass die zuletzt genannte Standortsgruppe eher extensiv bewirtschaftet wird; zuverlässige Aussagen können wegen der geringen Fläche aber nicht gemacht werden.

Abb. 33: Bestockte Waldfläche nach Standortsgruppen in Schwarzenegg [ha].

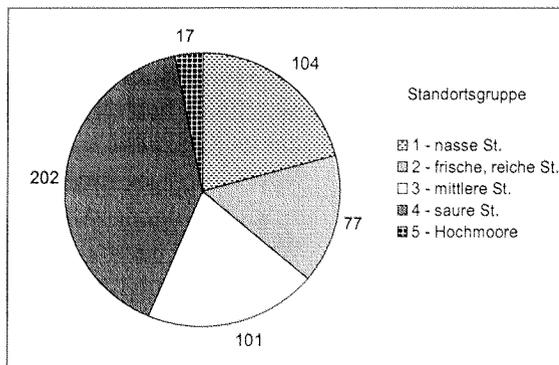
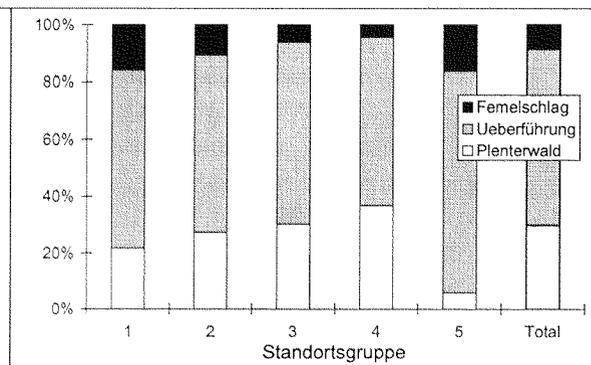


Abb. 34: Flächenanteile der Betriebsarten nach Standortsgruppen in Schwarzenegg.



#### 4.2.2.2. Flächenanalyse mit der Plenterziffer

Die Kartierung der plenterartigen Bestände nach ihren Plenterziffern erlaubt auch quantitative Aussagen über die Struktur verschiedener Walddteile. Das Untersuchungsgebiet und seine einzelnen Standortstypen können mit dieser Plenterziffer bzw. der Plenterzahl charakterisiert werden (Tab. 29, Flächen und Plenterzahlen im Anhang). Eine Schicht, die optimal vertreten ist, sollte im Durchschnitt die Plenterzahl 2,0 haben. Ist der Wert höher, ist die Schicht übervertreten, ist der Wert niedriger, ist sie untervertreten. Nach der Bestandeskarte von Schwarzenegg sind in plenterartigen Beständen die Oberschicht und die Mittelschicht übervertreten, die Unterschicht untervertreten. Der Jungwuchs ist im Vergleich zum Idealbestand stark untervertreten. Dabei besteht zwischen der Standortsgruppe und dem überdurchschnittlichen Vorhandensein bestimmter Schichten ein Zusammenhang: Auf nassen Standorten (Standortsgruppen 1 und 5) ist die anteilmässige Überlegenheit der Oberschicht weniger deutlich als auf den übrigen Standorten. Die Mittelschicht ist allgemein um so weniger übervertreten, je trockener der Standort ist. Die Unterschiede sind allerdings sehr klein. Die Unterschicht ist auf nassen Standorten noch weniger vertreten als auf trockenen. Ähnliches gilt für den Jungwuchs, der auf reichen, feuchten bis nassen Standorten (Gruppe 1 und 2) in noch geringerem Ausmass als auf mittleren und sauren Standorten vorkommt.

Tab. 29: Durchschnittliche Plenterzahlen der einzelnen Schichten nach Standortsgruppen. Beispiel Schwarzenegg, nur plenterartige Bestände.

Standortsgruppe	Schichten			
	Oberschicht	Mittelschicht	Unterschicht	Jungwuchs
<b>Total</b>	<b>2,46</b>	<b>2,39</b>	<b>1,45</b>	<b>0,76</b>
1	2,24	2,45	1,37	0,70
2	2,48	2,42	1,38	0,70
3	2,51	2,37	1,46	0,81
4	2,57	2,36	1,53	0,77
5	1,91	2,58	1,25	0,79

Mit der Plenterziffer kann der Einfluss einer Schicht auf die übrigen Schichten untersucht werden. Zwischen den berechneten durchschnittlichen Plenterzahlen zweier Schichten besteht ein Zusammenhang, den Tabelle 30 am Beispiel der plenterartigen Bestände in Schwarzenegg zeigt. Die Plenterzahl der **Oberschicht** hat einen schwach negativen Einfluss auf die Plenterzahl für den Jungwuchs und die Unterschicht, kein Einfluss ist beim Vergleich mit der Mittelschicht festzustellen. Die Plenterzahl der **Mittelschicht** hat einen relativ starken negativen Einfluss auf den Jungwuchs. Auf die Unterschicht dagegen wirken sich die Plenterzahlen der Mittelschicht oder der Oberschicht nur relativ schwach aus: hohe Plenterzahlen bedeuten in beiden Fällen eine etwas niedrigere Plenterzahl der Unterschicht, niedrige Plenterzahlen in den höheren Schichten eine etwas höhere Plenterzahl in der Unterschicht, wobei in dieser Richtung der Einfluss der Mittelschicht etwas deutlicher wird als der Einfluss der Oberschicht. Die Plenterzahl der **Unterschicht** steht in keinem klaren Zusammenhang mit der Plenterzahl für den Jungwuchs. Die Plenterzahl des **Jungwuchses** erreicht bei sinkender Plenterzahl der Ober- und Mittelschicht grössere Werte. Eine positive Tendenz ist auch dann zu beobachten, wenn die Plenterzahl der Unterschicht steigt.

**Tab. 30:** Einfluss der Plenterzahl einer Schicht auf die Plenterzahlen anderer Schichten. Beispiel Schwarzenegg, nur plenterartige Bestände. Kursiv = nicht repräsentativ (zu kleine Flächen oder nur eine grosse Fläche).

Plenterzahl		Durchschnittliche Plenterzahlen anderen Schichten			
		Oberschicht	Mittelschicht	Unterschicht	Jungwuchs
Oberschicht	0	.	1.29	1.83	1.37
	1	.	2.54	1.63	0.83
	2	.	2.71	1.50	0.83
	3	.	2.20	1.39	0.70
Mittelschicht	0	3.00	.	0.00	1.07
	1	2.64	.	1.62	0.96
	2	2.67	.	1.51	0.83
	3	2.26	.	1.37	0.66
Unterschicht	0	2.56	1.54	.	0.55
	1	2.51	2.46	.	0.60
	2	2.41	2.38	.	1.04
	3	2.15	1.98	.	0.90
Jungwuchs	0	2.54	2.49	1.25	.
	1	2.42	2.41	1.53	.
	2	2.33	2.11	1.74	.
	3	3.00	0.69	0.69	.

#### 4.2.2.3. Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Gesamtpopulation

Die Inventurdaten ermöglichen, die Kartierung der Plenterstruktur zu überprüfen. Die Auswertung ist nur für plenterartige Beständen möglich. Die Berechnung wurde für jede Schicht separat geführt, und die Plenterzahlen 0 bis 3 jeder Schicht wurden als eigenständige Straten betrachtet. Die bei der Berechnung benutzten Verfahren für die Auswahl der Bäume und der Aufnahmewahrscheinlichkeit sind in Abschnitt 3.1.5. unter Variante 2 beschrieben. Die dauernd unbestockte Waldfläche wurde als Nicht-Wald betrachtet.

Bei der poststratifizierten Auswertung nach Plenterziffern für die Gesamtpopulation zeigen sich signifikante Unterschiede nur für die Oberschicht und die Zielgrössen Vorrat und Grundfläche (Tabelle 31); bei anderen Schichten konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Mit steigender Plenterzahl der Oberschicht steigen Vorrat und Grundfläche deutlich, die Stammzahl dagegen sinkt schwach. Die Plenterzahl der Mittelschicht steht in einem schwach positiven Zusammenhang mit der Stammzahl. Bei den Zielgrössen Vorrat und Grundfläche konnte kein Zusammenhang aufgedeckt werden. Die Plenterzahl der Unterschicht steht in einem negativen Zusammenhang mit Vorrat und Grundfläche und in einem schwach positiven Zusammenhang mit der Stammzahl. Die Plenterzahl des Jungwuchses steht mit allen drei

Zielgrößen in einem schwach negativen Zusammenhang, wobei die Tendenz bei der Stammzahl noch schwächer als beim Vorrat oder bei der Grundfläche ausgeprägt ist.

**Tab. 31:** Schätzwerte und ihre Standardfehler nach Poststratifizierung gemäss der Plenterzahl. Beispiel Schwarzenegg, plenterartige Bestände.

Plenterzahl	Anzahl Proben	Vorrat		Stammzahl		Grundfläche	
		sv/ha	SF in %	n/ha	SF in %	m <sup>2</sup> /ha	SF in %
<b>Oberschicht</b>							
0	1	27	.	162	.	3.0	.
1	41	401	7.02	529	4.98	29.8	6.31
2	121	502	3.73	518	2.99	36.0	3.49
3	231	616	2.09	515	2.00	43.1	1.99
<b>Mittelschicht</b>							
1	41	578	6.06	442	4.93	40.3	5.65
2	150	548	2.81	495	2.37	38.8	2.61
3	203	559	2.83	548	2.22	39.8	2.66
<b>Unterschicht</b>							
0	3	597	4.53	291	8.90	40.0	4.24
1	241	572	2.38	513	1.95	40.4	2.24
2	125	539	3.59	517	2.94	38.3	3.35
3	25	497	7.83	575	6.32	35.9	7.07
<b>Jungwuchs</b>							
0	149	614	2.83	533	2.55	43.2	2.68
1	198	520	2.68	511	2.30	37.0	2.51
2	46	532	6.71	487	4.17	37.9	6.10
3	1	523	.	481	.	38.4	.

#### 4.2.2.4. Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Teilpopulationen nach Schichtzugehörigkeit

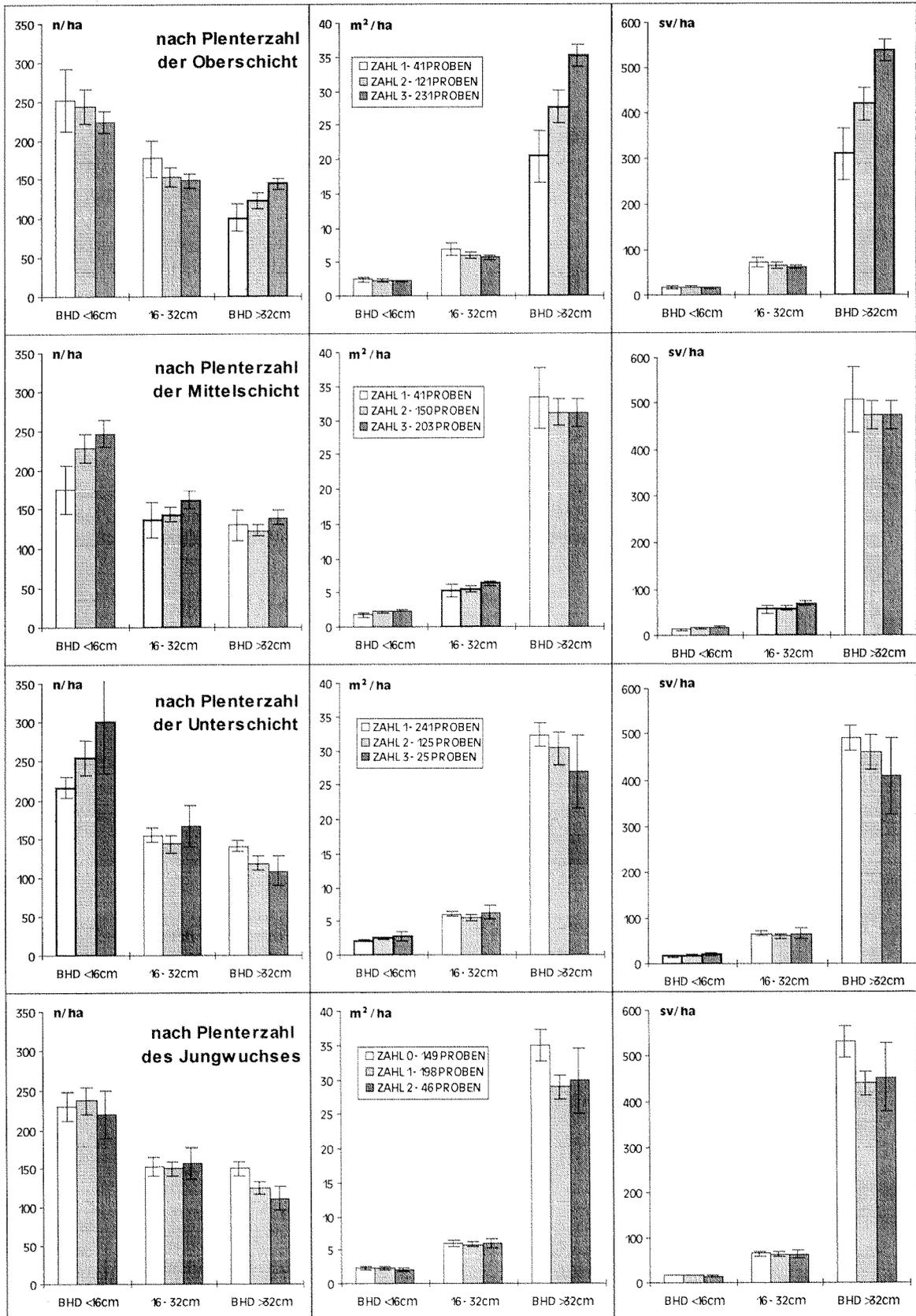
Die Korrelation zwischen BHD und Baumhöhe ermöglicht, die inventarisierte Baumpopulation nach dem BHD in drei Teilpopulationen bzw. Schichten einzuteilen und auszuwerten (Abschnitt 3.3.2.3.). Anhand der Inventurresultate lässt sich die Bestandskarte bzw. die Kartierung überprüfen. Mit steigender Plenterzahl für eine Schicht sollten auch die Schätzwerte für die betreffende Schicht steigen. Aufgrund der Kluppschwelle (8 cm) ist eine Prüfung für die Ober- und Mittelschicht möglich, teilweise auch für die Unterschicht. Über den Jungwuchs liegen keine Daten vor.

Die beste Übereinstimmung der Bestandskarte (Plenterziffer) mit den Inventurdaten konnte bei der Oberschicht und der Unterschicht gefunden werden, wo bei den Zielgrößen Vorrat und Grundfläche signifikante Unterschiede bestehen (Abbildung 35). Bei der Mittelschicht kann nur von Tendenzen gesprochen werden.

Bei der **Oberschicht** sind für den Vergleich der Plenterzahlen mit den Inventurdaten die Schätzungen für die Teilpopulation BHD >32 cm massgebend. Sie repräsentieren die Oberschicht. Mit steigender Plenterzahl der Oberschicht steigen die Werte aller untersuchter Schätzgrößen. Beim Vorrat und bei der Grundfläche sind die Unterschiede signifikant. Der Einfluss der Plenterzahl der Oberschicht auf die Teilpopulationen Mittelschicht (BHD 16–32 cm) und Unterschicht (BHD <16 cm) ist durch die Plenterstruktur bedingt: Mit steigender Plenterzahl der Oberschicht sinken die Schätzwerte dieser Teilpopulationen. Die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant.

Die Auswertung der Inventurdaten nach der Plenterzahl der **Mittelschicht** führt zum Ergebnis, dass mit steigender Plenterzahl die Schätzwerte für alle Zielgrößen dieser Teilpopulation (BHD 16–33 cm) steigen, die Unterschiede aber nicht signifikant sind. Auf Schätzwerte für die Teilpopulation der Oberschicht (BHD > 32 cm) hat die ändernde Plenterzahl der Mittelschicht keinen Einfluss. Keine Tendenz oder sogar signifikante Unterschiede sind feststellbar. Dagegen könnte bei den Schätzwerten für die Teilpopulation der

**Abb. 35:** Poststratifizierte Inventurdaten nach Plenterzahlen am Beispiel Schwarzenegg: Teilpopulationen nach Schichtzugehörigkeit. Nur plenterartige Bestände. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich..



Unterschicht (BHD < 16 cm) ein positiver Zusammenhang mit der Plenterzahl für Mittelschicht gefunden werden. Die Unterschiede zwischen den Schätzwerten der Plenterzahl 1 und 2 sind sogar signifikant. Diese Feststellung entspricht nicht der Erwartung.

Im Gegensatz dazu ergibt die Analyse der kartierten Bestandesflächen, dass eine höhere Plenterzahl der Mittelschicht zu einer niedrigeren Plenterzahl der Unterschicht führt. Dass dieses Ergebnis, welches der Logik der Plenterstruktur entspricht, bei der Auswertung der Inventurdaten nicht gefunden wurde, hat vermutlich zwei Ursachen: Bäume, welche die Bestandeskartierung der Unterschicht zuordnete, wurden bei der Inventur mehrheitlich gar nicht aufgenommen, weil ihre Durchmesser unterhalb der Kluppschwelle lagen. Es kommt hinzu, dass die Bestandeskartierung einige Bäume der Mittelschicht fälschlicherweise der Unterschicht zuordnete.

Der BHD der Bäume, die von der Bestandeskartierung der **Unterschicht** zugeordnet wurden, liegt meist unterhalb der Kluppschwelle. Trotzdem konnte ein Zusammenhang zwischen den Schätzwerten der Teilpopulation Unterschicht (BHD < 16 cm) und den dazugehörigen Plenterzahlen gefunden werden. Diese Aussage trifft insbesondere auf die Stammzahl zu, die Unterschiede zwischen den einzelnen Plenterzahlen sind allerdings nicht signifikant. Ein Zusammenhang zwischen der Plenterzahl der Unterschicht und den Schätzwerten für die Teilpopulation Mittelschicht (BHD 16–32 cm) konnte nicht nachgewiesen werden. Auch die Tendenz, dass mit steigender Plenterzahl der Unterschicht die Schätzwerte für die Oberschicht (BHD > 32 cm) sinken, ist statistisch nicht signifikant.

#### 4.2.2.5. Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Teilpopulationen nach Stärkeklassen

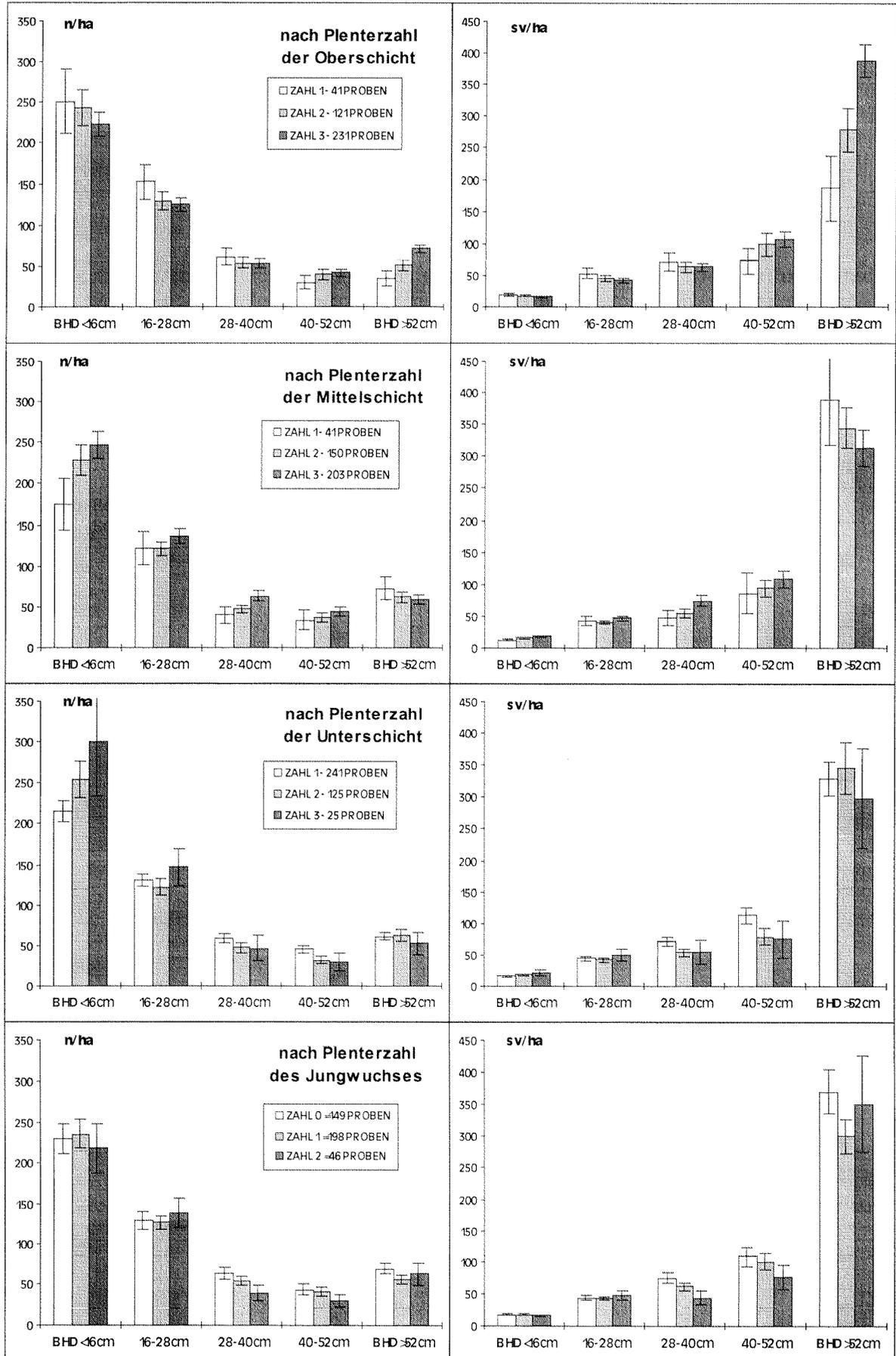
Eine weitere Möglichkeit zur Analyse der Plenterstruktur-Kartierung ist der Vergleich von Plenterzahlen mit den Inventur-Schätzwerten für Teilpopulationen nach Stärkeklassen (Abbildung 36). Er bestätigt den Vergleich für Teilpopulationen nach Schichten.

Der **Oberschicht** wurden bei der Bestandeskartierung Bäume ab etwa 32 cm BHD zugeordnet. Für die anschliessende Inventur erfolgte eine Stratifizierung nach der bei der Kartierung ermittelten Plenterzahl. Der Vergleich der Plenterzahlen mit den Inventur-Schätzwerten zeigt, dass die Schätzwerte für die Stärkeklassen 3 und 4 (40–52 cm, > 52 cm) mit steigender Plenterzahl grösser werden. Bei der Stärkeklasse 4 sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Plenterzahlen signifikant. Die Stärkeklasse 2 (28–40 cm) hat zwar Anteil an der Oberschicht, der stammzahlmässig grössere Teil der Bäume gehört jedoch zur Mittelschicht. Es sind daher keine signifikanten Unterschiede festzustellen, lediglich eine Tendenz zur Abnahme der geschätzten Werte bei steigender Plenterzahl. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich auch bei den Stärkeklassen 1 (16–28 cm) und 0 (< 16 cm): Die Schätzwerte werden bei steigender Plenterzahl der Oberschicht kleiner, die Unterschiede sind aber nicht signifikant.

Die **Mittelschicht** umfasst bei der Bestandeskartierung Bäume, deren BHD etwa zwischen 16 und 32 cm liegt. Dieser Bereich wird durch die Stärkeklasse 1 (16–28 cm), teilweise auch durch die Stärkeklasse 2 (28–40 cm) repräsentiert. Bei der Stärkeklasse 1 sind die Unterschiede zwischen den Plenterzahlen je nach Zielgrösse gering bis nicht vorhanden. In der Stärkeklasse 2 (28–40 cm) ergeben sich einige grössere, teilweise sogar signifikante Unterschiede, die aber den Erwartungen und den allgemeinen Kenntnissen über Plenterstrukturen widersprechen. Die Schätzwerte für diese Stärkeklasse sind mit steigender Plenterzahl der Mittelschicht nicht gefallen, sondern gestiegen. Eine mögliche Ursache ist, dass bei der Bestandeskartierung zu viele Bäume dieser Stärkeklasse der Mittelschicht zugeordnet wurden. Bei der Stärkeklasse 4 (BHD > 52 cm) scheint die Zuordnung richtig gewesen zu sein: Erwartungsgemäss sinken die Inventur-Schätzwerte bei steigender Plenterzahl.

Die Auswertung für die **Unterschicht** ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Teilpopulationen. Relativ deutliche Unterschiede zeigen sich allein bei der Stärkeklasse

**Abb. 36:** Poststratifizierte Inventurdaten nach Plenterzahlen am Beispiel Schwarzenegg: Teilpopulationen nach Stärkeklassen. Nur plenterartige Bestände. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich.



0 (< 16 cm), welche in Bezug auf die Durchmesser zugleich die Unterschicht repräsentiert. Mit steigender Plenterzahl steigen auch die Schätzwerte. Beim **Jungwuchs** konnte nur für die Stärkeklassen 2-4 eine schwache Tendenz zur Abnahme der Schätzwerte mit steigender Plenterzahl festgestellt werden.

#### 4.2.2.6. Auswertung der Inventurdaten nach Plenterziffern - Teilpopulationen nach Durchmesserstufen

Der Vergleich der Plenterzahlen mit den Schätzwerten der Teilpopulationen nach Durchmesserstufen ermöglicht eine detaillierte Prüfung der Plenterstruktur-Kartierung. Abbildung 37 zeigt die Resultate bezüglich der Zielgröße Stammzahl in der im Plenterwald üblichen halblogarithmischen Form.

Bei einer Poststratifizierung nach der Plenterzahl der **Oberschicht** zeigen sich im Bereich der BHD-Stufen 40-82 cm deutliche, teilweise sogar signifikante Unterschiede zwischen den Stammzahlkurven. Die Stammzahl fällt mit der Plenterzahl. Unterhalb der BHD-Stufe 36 cm besteht lediglich die Tendenz, dass die Stammzahl sinkt, wenn die Plenterzahl steigt. Oberhalb der BHD-Stufe 82 cm ist die Baumzahl so gering, dass keine zuverlässigen Aussagen möglich sind.

Die Poststratifizierung nach der Plenterzahl der **Mittelschicht** bewirkt im Bereich der BHD-Stufen 30-46 cm zwar deutliche, aber nicht signifikante Unterschiede zwischen den Stammzahlkurven. Die Stammzahl fällt mit der Plenterzahl. Unterhalb der BHD-Stufe 30 werden die Unterschiede geringer und die Aussage insgesamt noch unsicherer. Oberhalb der BHD-Stufe 46 cm ist die umgekehrte Tendenz zu beobachten. Die Stammzahl fällt mit steigender Plenterzahl. Oberhalb der BHD-Stufe 82 cm ist die Baumzahl so gering, dass keine zuverlässigen Aussagen möglich sind.

Die Poststratifizierung nach der Plenterzahl der **Unterschicht** hat zur Folge, dass im Bereich der BHD-Stufen 10-18 cm Stammzahl mit der Plenterzahl steigt. Bei den BHD-Stufen 26-62 cm ist eine umgekehrte Tendenz feststellbar. Oberhalb der BHD-Stufe 66 cm ist kein Zusammenhang ersichtlich.

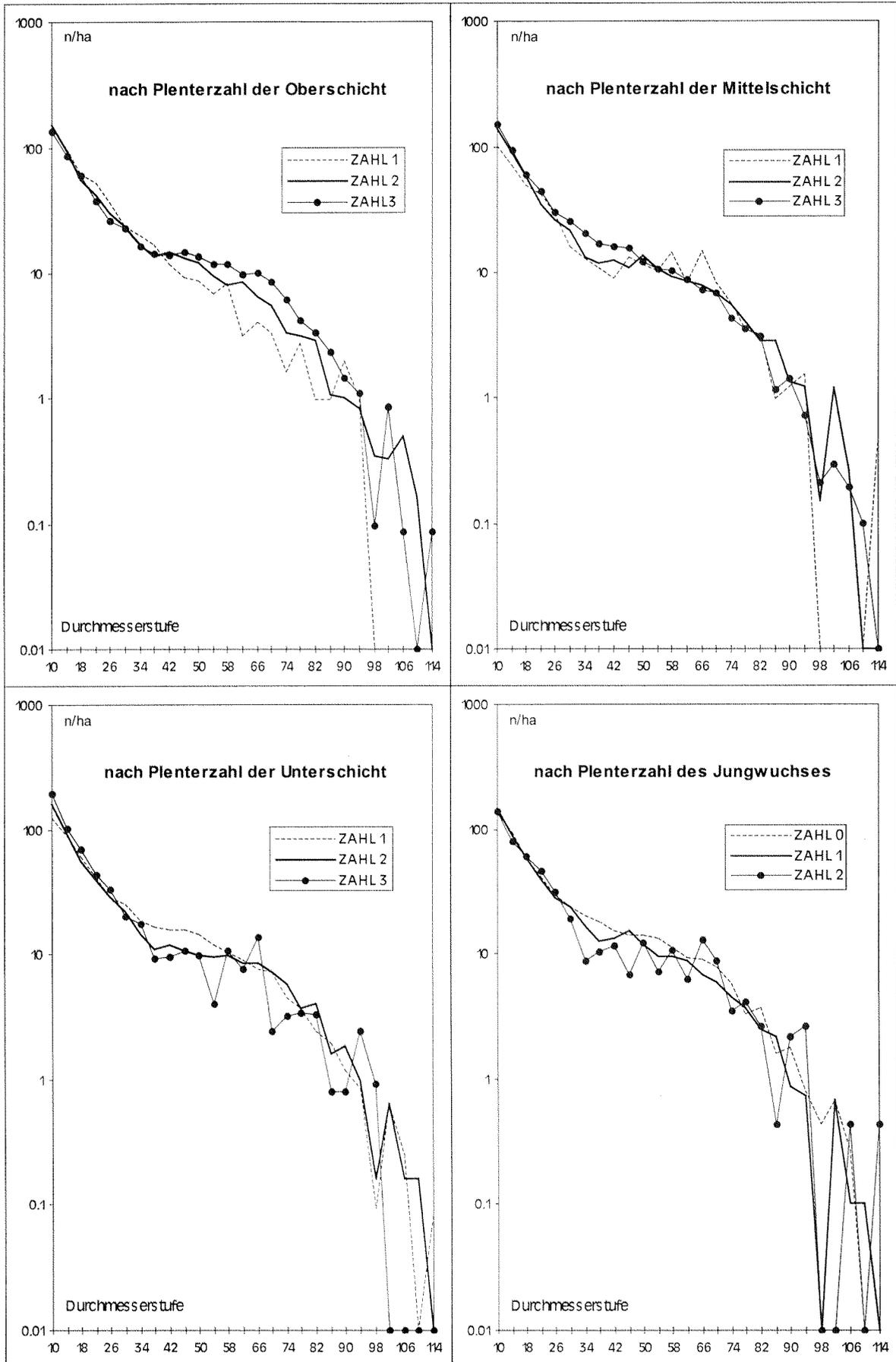
Bei der Poststratifizierung nach der Plenterzahl des **Jungwuchses** konnte nur im Bereich der BHD-Stufen 30-62 cm ein negativer, nicht signifikanter Zusammenhang zwischen der Stammzahl und der Plenterzahl ermittelt werden. Ausserhalb dieses Bereichs zeigen sich keine klaren Unterschiede zwischen den Kurven.

#### 4.2.2.7. Analyse der Plenterziffern - Zusammenfassung

Alle Analysen der Plenterziffern und Vergleiche der Plenterzahlen mit Inventurdaten dienen auch der Kontrolle und Beurteilung der Plenterstruktur-Kartierung. Eine besondere Rolle spielen sie beim Vergleich von Kartierungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder von unterschiedlichen Personen durchgeführt wurden.

Eine relativ gute Übereinstimmung der Inventurdaten mit den Plenterzahlen aus der Kartierung zeigt sich bei der Oberschicht, obwohl die Auswertung nach Stärkeklassen (Abschnitt 4.2.2.5.) vermuten lässt, dass die Kartierung viele Bäume der 3. Stärkeklasse, die vollständig im Durchmesserbereich der Oberschicht liegt, der Mittelschicht zugeordnet hat. Die Auswertung zeigt auch, dass wahrscheinlich viele Bäume unter 16 cm BHD, die im Bereich der Unterschicht liegen, der Mittelschicht zugeordnet wurden. Diese fehlerhaften Zuordnungen könnten ein Grund für die undeutlichen Unterschiede bei der Analyse der Plenterzahlen der Mittelschicht und der Unterschicht sein.

Abb. 37: Poststratifizierte Inventurdaten nach Plenterzahlen am Beispiel Schwarzenegg: Teilpopulation nach Durchmesserstufen. Nur plenterartige Bestände.



## 4.2.3. Standortkartierung

### 4.2.3.1. Bildung von Standortgruppen

Die Waldgesellschaften im Toppwald und vor allem in Schwarzenegg bilden ein buntes Mosaik mit zahlreichen Übergängen (vgl. Kapitel 3.2.). Das grossflächige Auftreten bestimmter Waldgesellschaften ist die Ausnahme. Wie mannigfaltig die verschiedenen Kombinationen von Waldgesellschaften sind, zeigt eine Tabelle im Anhang. Nur auf wenige Gesellschaften entfallen mehr als 10 Proben (Tabelle 32), die für eine sinnvolle Auswertung erforderlich sind.

Tab. 32: Standorte mit mehr als 10 Proben. Beispiel Schwarzenegg.

Waldgesellschaft	Anzahl Proben
46e	96
49	56
46a	37
18s	18
18a	14
46s	15
19ps	11
18a/18s	11

Für die Auswertung wurde eine Gruppierung der Waldgesellschaften, Standorte und Standortsmosaik in 5 Standortgruppen vorgenommen (Tabelle 33). Das Ziel war, solche Gesellschaften und Standorte zusammenzuführen, die ähnliche Waldstrukturen sowie vergleichbare Produktionsmöglichkeiten aufweisen und ökologisch verwandt sind, d.h. ähnliche Boden- und Klimaverhältnisse haben. Über die Zugehörigkeit der Standortsmosaik zu den einzelnen Standortgruppen entschied der flächenmässig häufigste Standort im Mosaik.

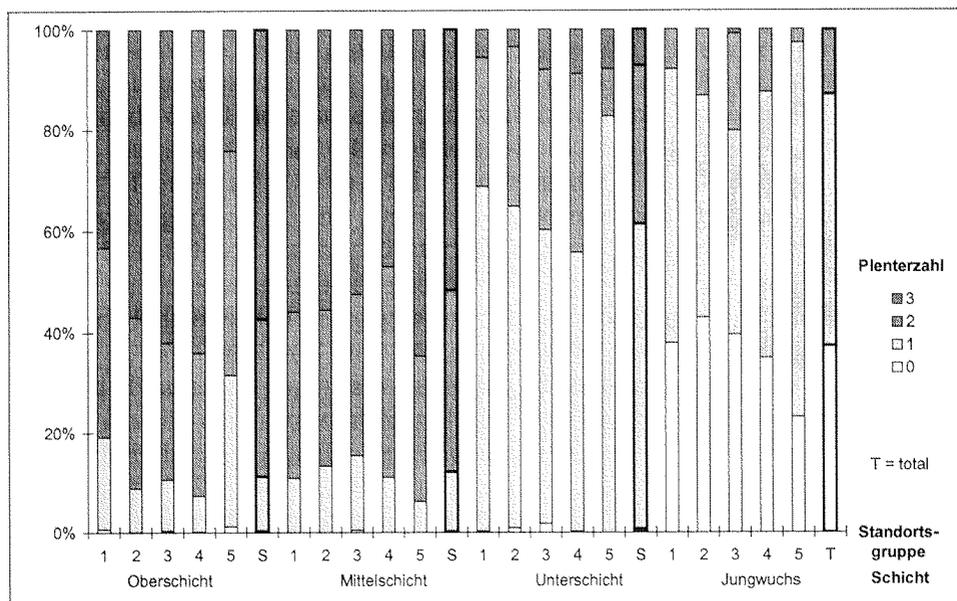
Tab. 33: Einteilung der Standorte in Standortgruppen.

Standortgruppe	Charakteristik	Standorte und ihre Mosaiken	Anzahl Proben	bestockte Waldfläche
<b>Schwarzenegg</b>				
1	nasse, nährstoffreiche	49,27 <sup>ho</sup> ,26 <sup>ho</sup>	82	104.03
2	feuchte eher neutral	18s,18s <sub>E</sub> ,20	66	76.81
3	frisch bis trocken eher sauer	18a,18a <sub>F</sub> ,18d,18w,19 <sup>ps</sup> ,19	88	100.95
4	saure, frisch bis feucht-nass	46e,46a,46s,46g	174	201.56
5	veränderte Hochmoore	56ex,71ex	18	16.69
	<b>Schwarzenegg gesamt</b>		<b>428</b>	<b>500.04</b>
<b>Toppwald</b>				
1	nasse, nährstoffreiche	27 <sup>ho</sup> ,26 <sup>ho</sup>	8	8.96
2	feuchte eher neutral	18s	37	41.83
3	frisch bis trocken eher sauer	18a, 18a <sub>F</sub> ,18d,18w,19,17c	146	172.82
4	saure, frisch bis feucht-nass	46e,46a,46s	97	116.27
6	unt. mont. Stufe Buchenwälder	1aho,8*,8d,8s	9	8.20
	<b>Toppwald gesamt</b>		<b>297</b>	<b>348.08</b>

#### 4.2.3.2. Kombination Bestandes- und Standortkartierung in Schwarzenegg

Einen detaillierten Einblick in die Standortsabhängigkeit der Plenterstruktur bietet die flächige Auswertung der Standortkartierung mit dem Hilfsmittel der Plenterstruktur-Kartierung. In Abbildung 38 sind die Flächenanteile der verschiedenen Plenterzahlen pro Schicht und Standortgruppe dargestellt. Die **Oberschicht** ist in der Standortgruppe 4 am stärksten überrepräsentiert (Plenterzahl = 3). Mit zunehmender Feuchtigkeit wird der Anteil der Oberschicht etwas geringer. Am wenigsten überrepräsentiert ist die Schicht in der Standortgruppe 5, den Hochmooren. Ein Grund könnte sein, dass bei der Bestandeskartierung die Oberhöhe dieser Standortgruppe überschätzt worden ist. In der **Mittelschicht** verhalten sich die Anteile der Plenterzahlen entgegengesetzt. Am wenigsten überrepräsentiert ist die Standortgruppe 4, am stärksten die Standortgruppe 5. Die **Unterschicht** ist allgemein unterrepräsentiert (Plenterzahl = 1), am wenigsten in der Standortgruppe 4. Die Auswertungen zeigen, dass die Anteile der Unterschicht sich mit dem Standort im gleichen Sinne wie bei der Oberschicht verändern, die Anteile der Mittelschicht jedoch entgegengesetzt. Daraus kann geschlossen werden, dass die Mittelschicht stärker als die Oberschicht die Unterschicht beeinflusst. Beim **Jungwuchs** ergeben sich ähnliche, aber nicht so eindeutige Resultate wie bei der Unterschicht. Ein Unterschied besteht in der Standortgruppe 5, in welcher der Jungwuchs stärker unterrepräsentiert ist.

Abb. 38: Flächenanteile für Plenterzahlen in einzelnen Schichten und Standortgruppen. Nur plenterartige Bestände.



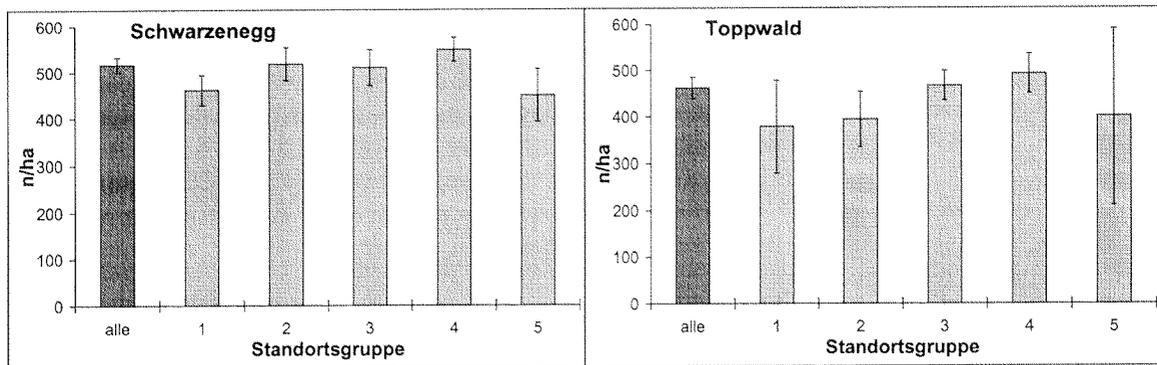
#### 4.2.3.3. Auswertung der Inventurdaten nach Standortgruppen - Gesamtpopulation

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Standortgruppen bei den Vorrats- und Stammzahlsschätzungen für die Gesamtpopulation sind in beiden Untersuchungsgebieten Toppwald und Schwarzenegg ähnlich. Allgemein nehmen die Vorräte und Stammzahlen von den trocken-sauren Standorten (Gruppe 4) zu den nassen, nährstoffreichen Standorten (Gruppe 1) ab (Abbildungen 39, 40). Davon ausgenommen sind allein die Hochmoore (Standortgruppe 5 in Schwarzenegg) und die Buchenwälder (Standortgruppe 6 im Toppwald). Obwohl im Toppwald die Unterschiede ausgeprägter zu sein scheinen, konnten beim Vorrat keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Dagegen wurden in Schwarzenegg zwischen den

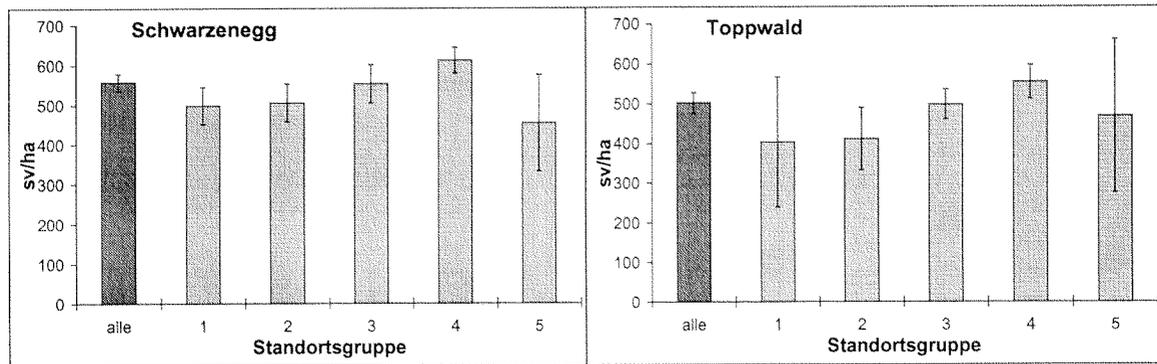
Standortsgruppen 4 und 1 bzw. 5 signifikante Unterschiede festgestellt (Abbildung 39). Bei der Stammzahl bietet sich eine ähnliche Situation wie beim Vorrat. Ein Unterschied ist, dass der signifikante Unterschied zwischen den Standortsgruppen 4 und 2 auch im Toppwald besteht.

Die grösseren Stichprobefehler im Toppwald sind hauptsächlich auf eine kleinere Probeflächengrösse und eine kleinere Probeanzahl als in Schwarzenegg zurückzuführen (4 Aren, 297 Proben gegenüber 5 Aren, 428 Proben). Die nicht signifikanten Unterschiede bei den Schätzungen für die Standortsgruppen 1 bis 4 können durch eine andere Bewirtschaftung oder durch ein anderes Verfahren der Standortskartierung hervorgerufen sein (Abschnitt 3.3.3). Sie können nicht mit Standortunterschieden begründet werden, da die Standortsgruppen in beiden Gebieten nahezu identisch zusammengesetzt sind.

**Abb. 39:** Schätzungen der Gesamtstammzahl nach Standortsgruppen. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich.



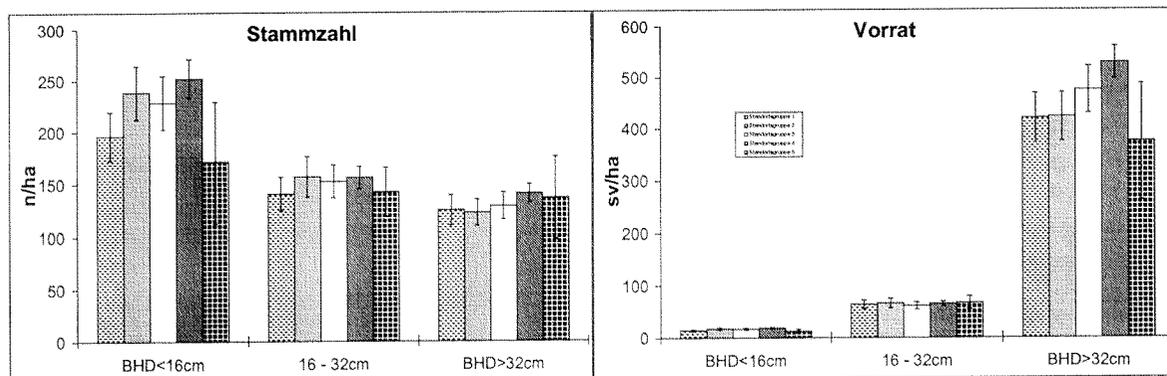
**Abb. 40:** Schätzungen des Gesamtvorrates nach Standortsgruppen. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich.



#### 4.2.3.4. Auswertung der Inventurdaten nach Standortsgruppen - Teilpopulationen nach Schichtzugehörigkeit in Schwarzenegg

Abbildung 41 zeigt geschätzte Stammzahlen und Vorräte für einzelne Schichten in Abhängigkeit vom Standort. Die Auswertung wurde nur für plenterartige Bestände in Schwarzenegg durchgeführt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Standortsgruppen sind nicht so deutlich wie bei der Auswertung der Gesamtpopulation, zeigen aber eine ähnliche Tendenz. Signifikante Unterschiede bestehen nur in Verbindung mit der Standortsgruppe 4 bei der Stammzahl der Unterschicht und beim Vorrat der Oberschicht. Bei der Mittelschicht zeigen sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Standortsgruppen.

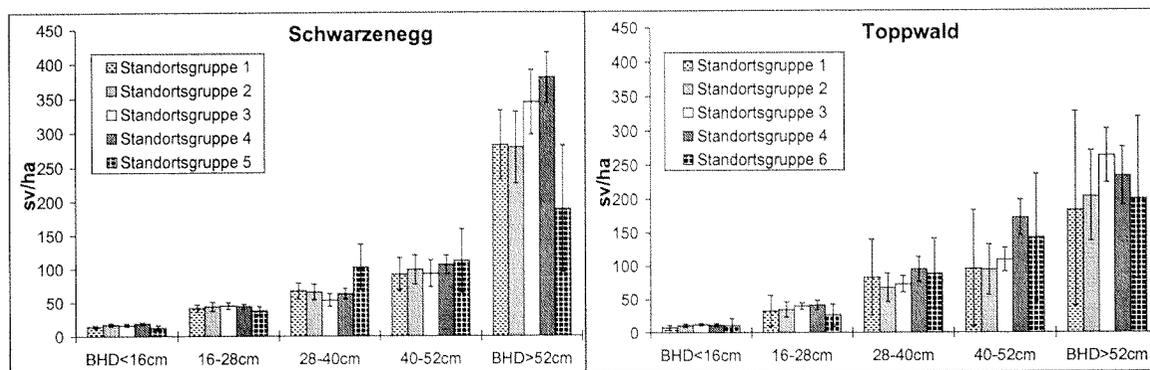
**Abb. 41:** Schätzungen der Stammzahl und des Vorrates nach Schichten und Standortgruppen. Schwarzenegg, nur plenterartige Bestände. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich..



#### 4.2.3.5. Auswertung der Inventurdaten nach Standortgruppen - Teilpopulationen nach Stärkeklassen

Auch hier konnten signifikante Unterschiede zwischen den Standortgruppen nur zur Standortgruppe 4 nachgewiesen werden. In Schwarzenegg bestehen solche Unterschiede bei den Stärkeklassen 0 (BHD < 16 cm) und 4 (BHD > 52 cm), im Toppwald bei der Stärkeklasse 3 (BHD 40 bis 52 cm). In der Regel sind die Unterschiede zwischen den Standortgruppen in höheren Stärkeklassen grösser (Abbildung 42). Stammzahl und Vorrat verhalten sich in diesem Sinne etwa gleich.

**Abb. 42:** Schätzungen des Vorrats nach Stärkeklassen und Standortgruppen. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich..



#### 4.2.3.6. Auswertung der Inventurdaten nach Standortgruppen - Teilpopulationen nach Durchmesserstufen

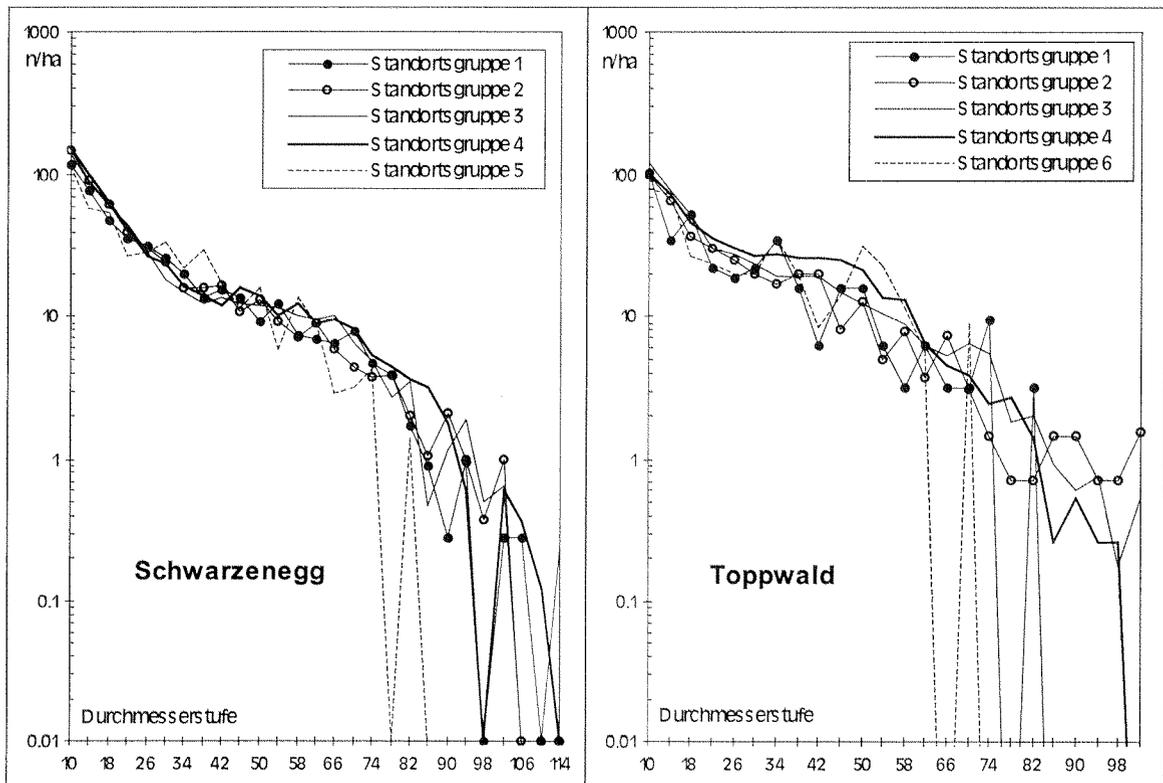
Die detaillierteste Auswertung des Bestandesgefüges nach dem Standort erlaubt die Unterteilung in Durchmesserstufen. In Abbildung 42 sind die Stammzahlen für einzelne Standortgruppen in halblogarithmischer Form dargestellt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Standortgruppen bleiben in dieser Darstellung undeutlich. Dies trifft vor allem auf das Gebiet Schwarzenegg zu.

In Schwarzenegg hebt sich nur die Standortgruppe 5 (Hochmoore) von den anderen Gruppen deutlich ab. Diese Gruppe ist im Vergleich mit anderen Gruppen im unteren BHD-Bereich (8-20 cm) unterdurchschnittlich und im mittleren BHD-Bereich (28-44 cm) überdurchschnittlich vertreten; im oberen BHD-Bereich (> 76 cm) werden keine so grossen Dimensionen wie in

anderen Standortgruppen erreicht. Zwischen den übrigen Standortgruppen zeigen sich keine deutlichen Unterschiede.

Insgesamt unterscheidet sich der Toppwald vom Gebiet Schwarzenegg durch eine kleinere Stammzahl bei schwachen Durchmessern (BHD < 20 cm) und eine grössere Stammzahl bei den mittleren Durchmessern (BHD 28–56 cm). In beiden Gebieten sind aber die Unterschiede zwischen den Standortgruppen 1 und 2 sowie den Gruppen 3 und 4 deutlich stärker ausgeprägt.

Abb. 43: Schätzungen der Stammzahl nach Durchmesserstufen und Standortgruppen.



#### 4.2.3.7. Analyse der Standortkartierung - Zusammenfassung

Die Auswertung nach Standortgruppen führt zu kleineren Unterschieden als die Auswertung nach Plenterziffern (Abschnitt 4.2.3.). Dies deutet darauf hin, dass die Bestandesstruktur einen grösseren Einfluss auf die Schätzwerte hat als der Standort. Trotzdem wurden Unterschiede zwischen den einzelnen Standortgruppen festgestellt. Sie verführen zu der vereinfachenden Aussage, dass der Vorrat und die Stammzahl umso kleiner sind, je nährstoffreicher und nasser der Standort ist. Die einzelnen Standortgruppen haben aber nicht den gleichen Flächenanteil an Betriebsarten. Gerade die Standortgruppen mit niedrigen Werten für Vorrat und Stammzahl haben niedrige Flächenanteile an Plenterwald und hohe Flächenanteile an gleichförmigem Wald (Abschnitt 4.2.2.1.). Die Schätzwerte für einzelne Standortgruppen könnten durch diese Tatsache beeinflusst sein.

Die beiden Untersuchungsgebiete unterscheiden sich durch die angewandten Verfahren der Standortkartierung. Die Feinheit der Kartierung war in Schwarzenegg wesentlich höher als im Toppwald (Abschnitt 4.2.1.2.). Da die Schätzergebnisse für einzelne Standortgruppen in beiden Gebieten ungefähr gleich sind, und die grösseren Fehler im Toppwald in erster Linie auf die kleinere Probeflächengrösse und die kleinere Probeanzahl zurückzuführen sind, können die Kartierungen - zumindest nach den vorliegenden Resultaten - als gleichwertig bezeichnet werden.

## 4.2.4. Poststratifizierung

### 4.2.4.1. Bildung von Straten und Poststratifizierung nach der Plenterziffer in Schwarzenegg

Ein Ziel der Stratifizierung im Plenterwald sollte sein, dass die Straten die Rolle der früheren Kontrolleinheiten (Abteilungen) übernehmen. Die Bedingung ist, dass die Fläche und die Lage der Straten stabil, also permanent bleiben. Wird diese Bedingung nicht erfüllt, ist die Kontrolleinheit der ganze Betrieb bzw. die ganze inventarisierte Fläche, was keinen detaillierten Einblick in einzelne Bestockungen erlaubt. Standortstraten können, weil sie relativ beständig sind, die Funktion von Kontrolleinheiten übernehmen. (Abschnitt 4.2.3.1.). Standortstraten erfüllen zusätzlich die Forderung nach gleichen bzw. ähnlichen Wuchsbedingungen in der Kontrolleinheit, was bei Abteilungen nur selten der Fall ist. Dieser Umstand könnte sich vor allem auf die Genauigkeit der Zuwachsermittlung positiv auswirken. Dagegen ist eine Bestandeskartierung zur Bildung permanenter Straten nicht gut geeignet, weil die Bestandesstruktur sich mit der Zeit mehr oder weniger stark ändert.

Die Schätzwerte für permanente Standortstraten liefern für eine gründliche Analyse des Forstbetriebes nur ungenügend detaillierte Informationen. Informationen über die Bestandesstruktur, welche die Schätzwerte mehr als der Standort beeinflussen kann, sind nicht vorhanden. Auch für die Massnahmenplanung ist die Bestandesstruktur in der Regel wichtiger als der Standort. Soll eine Inventur detaillierte Daten über die Bestandesstruktur liefern, ist die Verwendung temporärer Straten entsprechend der Bestandeskarte notwendig. Diese temporären Straten sollten aber in einem klaren Zusammenhang mit permanenten Standortstraten stehen und damit die Datenanalyse für Standortstraten, eventuell mit zusätzlichen temporären Informationen, erleichtern. Die Kombination von Standortstraten mit Straten aus der Bestandeskarte (Bestandestypen) stellt eine Möglichkeit dar, detaillierte Angaben über die aktuelle Bestandesstruktur zu erhalten, ohne die enge Verbindung zu den permanenten Standortstraten zu verlieren.

Nach der Plenterstruktur-Kartierung in Schwarzenegg wurden Bestände mit ähnlicher Bestandesstruktur in Bestandestypen gruppiert. Die Auswertung der Plenterziffern (Abschnitt 4.2.2.) ergab, dass für die Bildung von Bestandestypen in plenterartigen Beständen die Plenterzahlen der Ober- und Mittelschicht bzw. deren Vorratsverhältnisse ausschlaggebend sind. Tabelle 34 erläutert die Bildung von Bestandestypen in plenterartigen Beständen.

**Tab. 34:** Bildung der Bestandestypen in plenterartigen Beständen, Schwarzenegg.

Bestandestyp	mögliche Benennung	Betriebsart	beinhaltet Bestände mit Plenterziffer <sup>2</sup>
13	Plenterwald mit hohem Vorrat	Plenterwald	23XX, 31XX, 32XX, 31XX
12	Plenterwald mit mittlerem Vorrat	Plenterwald	22XX, 13XX
11	Plenterwald mit niedrigem Vorrat	Plenterwald	11XX, 12XX, 21XX
23	Ueberführung mit hohem Vorrat	Ueberführung	23XX, 31XX, 32XX, 33XX
22	Ueberführung mit mittlerem Vorrat	Ueberführung	13XX, 22XX, 30XX
21	Ueberführung mit niedrigem Vorrat	Ueberführung	0XXX, 10XX, 11XX, 12XX, 20XX, 21XX

Die einfache flächenbezogene Kombination von Bestandestypen der Bestandeskarte und Standortgruppen der Standortskarte ergibt viele kleine Einheiten, die oft über eine ungenügende Probenanzahl verfügen. Einheiten, die hinsichtlich des Standortes oder der Struktur verwandt sind, wurden daher in grössere Einheiten zusammengefasst, die in der vorliegenden Arbeit als End-Straten bezeichnet werden. Tabelle 35 erläutert die Bildung der End-Straten für plenterartige Bestände. Ziel der Zusammenfassung war, in jedem End-Stratum sichere und brauchbare Daten zu erhalten. Folgende Regeln wurden angewendet:

<sup>2</sup> 1. Ziffer bezeichnet Oberschicht, 2. Mittelschicht, 3. Unterschicht, 4. Verjüngung (siehe Kap. 3.3.2.4.)

- ein End-Stratum muss minimal 3 Proben enthalten,
- nur Straten innerhalb der gleichen Standortsgruppe können zusammengefasst werden,
- die End-Straten müssen relevant sein (z.B. Bestandestyp 11 mit 12 zusammenfassen, nicht 11 mit 13).

**Tab. 35:** Gebildete Endstraten in plenterartigen Beständen, Schwarzenegg. Die mit \* bezeichnete Bestandestypen enthalten keine Proben.

End-stratum	Mögliche Benennung	Standortsg ruppe	Bestandestyp	Anzahl Proben
PL12	Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf nassem Standort	1	11, 12	3
PL13	Plenterwald mit hohem Vorrat auf nassem Standort	1	13	13
PL22	Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf frischem Standort	2	11*, 12	5
PL23	Plenterwald mit hohem Vorrat auf frischem Standort	2	13	9
PL32	Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf mittlerem Standort	3	11, 12	15
PL33	Plenterwald mit hohem Vorrat auf mittlerem Standort	3	13	16
PL42	Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf saurem Standort	4	11, 12	10
PL43	Plenterwald mit hohem Vorrat auf saurem Standort	4	13	51
PL53	Plenterwald mit hohem Vorrat auf Hochmoor	5	12*, 13	3
UB12	Ueberführungswald mit mittlerem Vorrat auf nassem Standort	1	21, 22	17
UB13	Ueberführungswald mit hohem Vorrat auf nassem Standort	1	23	38
UB22	Ueberführungswald mit mittlerem Vorrat auf frischem Standort	2	21, 22	19
UB23	Ueberführungswald mit hohem Vorrat auf frischem Standort	2	23	27
UB32	Ueberführungswald mit mittlerem Vorrat auf mittlerem Standort	3	21, 22	17
UB33	Ueberführungswald mit hohem Vorrat auf mittlerem Standort	3	23	37
UB41	Ueberführungswald mit tiefem Vorrat auf saurem Standort	4	21	3
UB42	Ueberführungswald mit mittlerem Vorrat auf saurem Standort	4	22	11
UB43	Ueberführungswald mit hohem Vorrat auf saurem Standort	4	23	89
UB52	Ueberführungswald mit mittlerem Vorrat auf Hochmoor	5	21, 22	5
UB53	Ueberführungswald mit hohem Vorrat auf Hochmoor	5	23	6

#### 4.2.4.2. Verbesserung der Genauigkeit durch Poststratifizierung am Beispiel der plenterartigen Bestände in Schwarzenegg

Der Vergleich der geschätzten Varianzen von poststratifizierten mit nicht-poststratifizierten Hochrechnungen zeigt, welche Genauigkeitserhöhung bzw. welche Verringerung der Varianz die Poststratifizierung ergibt. Entsprechend der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Poststratifizierung nur am Beispiel der plenterartigen Bestände in Schwarzenegg analysiert. Die Untersuchung erstreckte sich auf verschiedene Arten der Poststratifizierung: nach Plenterzahlen der einzelnen Schichten, nach Standortsgruppen, nach Bestandestypen und nach End-Straten (Tabellen 36, 37). Die auf der Basis von 394 Proben untersuchten Zielgrössen sind Stammzahl und Vorrat der Gesamtpopulation.

Die **Schätzungen** für die Zielgrössen Stammzahl und Vorrat unterschieden sich bei den verschiedenen Arten der Poststratifizierung nur geringfügig. Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Dies bedeutet, dass die Art der Stratifizierung für die Schätzung der genannten Zielgrössen unbedeutend ist.

Die **Varianz** der Schätzung verhält sich je nach Poststratifizierung und je nach Zielgrösse unterschiedlich. Während sich bei der Stammzahl durch die Poststratifizierungen keine kleinere, sondern eher eine grössere Varianz feststellen lässt (Tabelle 36), wird beim Vorrat die Varianz meist kleiner. Die grösste Verringerung der Varianz (-17%) wird mit der Poststratifizierung nach End-Straten erreicht. Die Poststratifizierung nach Bestandestypen führt zu einer um 13% geringeren Varianz, diejenige nach Standortsgruppen zu einer um 5% geringeren Varianz.

Das unterschiedliche Verhalten der Varianzen von Vorrat und Stammzahl, ein typisches Merkmal für plenterartige Bestände, kann durch die Bildung der Bestandestypen erklärt werden (Abschnitt 4.2.4.1.): Die Stratifizierung nach Bestandestypen erfolgt nach der vorratsreichen,

aber stammzahlarmen Oberschicht und Mittelschicht. Die stammzahlreiche Unterschicht spielt bei der Bildung von Bestandestypen keine Rolle. In gleichförmigen Wäldern verhalten sich die Varianzen bei beiden Zielgrößen ähnlich. Der Grund dafür sind die dort verwendeten Entwicklungsstufen, die sich nicht nur im Vorrat, sondern auch in der Stammzahl unterscheiden.

**Tab. 36:** Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Art der Poststratifizierung. Beispiel Stammzahl, Gesamtpopulation.

Poststratifizierung	Schätzer n/ha	% 100%=End-Straten	Varianz	% 100%=nicht stratifiziert
<b>nicht poststratifiziert</b>	<b>516.51</b>	<b>100.00</b>	<b>67.19</b>	<b>100.00</b>
nach Oberschicht	516.17	99.93	66.52	99.00
Plenterzahl Mittelschicht	515.67	99.83	64.47	95.94
Unterschicht	516.55	100.01	67.95	101.13
Jungwuchs	517.03	100.10	67.35	100.23
nach Standortsgruppe	516.44	99.99	64.75	96.36
nach Bestandestyp	516.51	100.00	67.94	101.11
nach End-Straten	515.94	100.00	70.88	105.48

**Tab. 37:** Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Art der Poststratifizierung. Beispiel Vorrat, Gesamtpopulation.

Stratifizierung nach	Schätzer sv/ha	% 100%=nicht stratifiziert	Varianz	% 100%=nicht stratifiziert
<b>nicht stratifiziert</b>	<b>556.92</b>	<b>100.00</b>	<b>113.94</b>	<b>100.00</b>
nach Oberschicht	556.68	99.96	110.59	97.06
Plenterziffer Mittelschicht	557.46	100.10	116.21	101.99
Unterschicht	554.86	99.63	99.71	87.51
Jungwuchs	556.39	99.90	113.06	99.23
nach Standortsgruppe	557.19	100.05	108.00	94.78
nach Bestandestyp	557.96	100.19	99.27	87.12
nach End-Straten	555.74	100.15	94.68	83.09

#### 4.2.4.3. Bildung von Straten in den plenterartigen Beständen im Toppwald

Da für den Toppwald keine Plenterstruktur-Kartierung vorliegt, wurde die Bestandeskarte verwendet, um Bestandestypen zu Straten zusammenzufassen. Dabei wurde versucht, die Bestandestypen nach ähnlichen Kriterien wie in Schwarzenegg zu gruppieren. Entscheidende Kriterien waren die Eigenschaft Plenter- oder Überführungsbestand und die Vorratshöhe. Bei zu geringer Probezahl pro Standortsgruppe wurden die betreffenden Bestände nicht in ‚Plenterung‘ oder ‚Überführung‘ eingeteilt, sondern im Stratum ‚plenterartige Bestände‘ zusammengefasst. Die Bildung der Standorts- und End-Straten geschah analog zum Gebiet Schwarzenegg. Die End-Straten sind in Tabelle 38 dargestellt. Die Nummerierung der Bestandestypen entstammt der

**Tab. 38:** Gebildete Endstraten in plenterartigen Beständen am Beispiel Toppwald. In der Kolonne „Bestandestypen“ sind Bestandestypen mit Proben unterstrichen. Bestandestypen mit mehr als 5 Proben sind fett gedruckt.

End-strat.	Mögliche Benennung	Standort gruppe	Bestandestypen	Anzahl Proben
102	Plenterartige Bestände auf nassem Standort	1	<u>611, 612, 710, 711, 713, 714, 724</u>	4
213	Plenterwald mit hohem Vorrat auf frischem Standort	2	<u>710, 711, 712, 720, 722</u>	11
222	Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf frischem Standort	2	<u>713, 714, 723, 724</u>	12
308	Plenterartige Bestände mit Laubholz auf mittlerem Standort	3	<u>720, 722, 723, 724</u>	6
312	Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf mittlerem Standort	3	<u>711, 712, 612</u>	11
313	Plenterwald mit hohem Vorrat auf mittlerem Standort	3	<u>710, 611</u>	29
322	Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf mittlerem Standort	3	<u>714</u>	32
323	Überführungswald mit hohem Vorrat auf mittlerem Standort	3	<u>713</u>	17
413	Plenterwald mit hohem Vorrat auf saurem Standort	4	<u>710, 711, 712, 720, 611</u>	7
422	Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf saurem Standort	4	<u>714, 612</u>	26
423	Überführungswald mit hohem Vorrat auf saurem Standort	4	<u>713, 723</u>	7
622	Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf frischem Standort	6	<u>714, 710</u>	4

bestehenden Bestandeskarte. Die End-Straten fanden bei der Auswertung der Inventurdaten Verwendung; im Gegensatz zu Schwarzenegg wurde jedoch die Poststratifizierung nicht ausführlicher untersucht. Die Resultate werden in Kapitel 4.3. erläutert.

#### 4.2.4.4. Bildung der Straten in gleichförmigen Beständen

Die Tatsache, dass in beiden Untersuchungsgebieten gleichförmige Bestände weniger zahlreich vorhanden sind als plenterartige Bestände, wirkt sich auf die Probeanzahl aus. Einige Standortgruppen, insbesondere in Schwarzenegg, enthalten so wenig Proben, dass für die Auswertung die Zusammenfassung aller gleichförmiger Bestände - vom Jungwuchs bis zum Baumholz - zu einem einzigen Stratum erforderlich war (Tabelle 39). Im günstigsten Fall konnten in Schwarzenegg nur zwei Straten pro Standortgruppe gebildet werden: Baumhölzer und Stangenhölzer einschliesslich jüngerer Entwicklungsstufen. In einigen Standortgruppen des Toppwaldes dagegen konnten die gleichförmigen Bestände in mehrere Straten unterteilt werden (Tabelle 40). Die Nummerierung der Bestandestypen erfolgte nach dem im Kanton Bern üblichen Schlüssel. Die Ergebnisse der Poststratifizierung wurden bei der Auswertung der Inventuren verwendet, jedoch nicht weiter analysiert.

**Tab. 39:** Gebildete Endstraten in gleichförmigen Beständen am Beispiel Schwarzenegg. In der Kolonne „Bestandestyp“ sind Bestandestypen mit Proben unterstrichen.

Endstratum	Mögliche Benennung	Standortgruppe	Bestandestyp	Anzahl Proben
KB1	Gleichförmige Baumhölzer auf nassem Standort	1	311,312, <u>411,412,413,512</u>	7
KS1	Gleichförmige Stangenhölzer und jüngere Entwicklungsstufen auf nassem Standort	1	<u>111,112,211,212,213,221,232,900</u>	6
KB2	Gleichförmige Bestände auf frischem Standort ( <i>meistens Baumholz II</i> )	2	111,211,221,321, <u>411,412,511,512,900</u>	3
KB3	Gleichförmige Bestände auf mittlerem Standort ( <i>meistens Baumholz</i> )	3	111,211,232,411, <u>412,413,511,512,900</u>	7
KB4	Gleichförmige Baumhölzer auf saurem Standort	4	<u>311,411,412,413,512</u>	4
KS4	Gleichförmige Stangenhölzer und jüngere Entwicklungsstufen auf saurem Standort	4	<u>111,113,211,212,213,221,900</u>	4
KB5	Gleichförmige Bestände auf Hochmoor	5	111,211, <u>312,411,412</u>	3

**Tab. 40:** Gebildete Endstraten in gleichförmigen Beständen am Beispiel Toppwald. In der Kolonne „Bestandestyp“ sind Bestandestypen mit Proben unterstrichen. Bestandestypen mit mehr als 5 Proben sind fett gedruckt.

Endstratum	Mögliche Benennung	Standortgruppe	Bestandestyp	Anzahl Proben
135	Gleichförmige Bestände auf nassem Standort ( <i>meistens Baumholz II</i> )	1	111,121,211,232,311,331, <u>411,412,421,423,511,512,716,717,718,726,900</u>	4
236	Gleichförmige Bestände auf frischem Standort ( <i>meistens Baumholz II</i> )	2	111,121,211,232,311,331, <u>411,412,421,423,511,512,513,521,716,717,718,726,728,900</u>	14
331	Stangenhölzer und jüngere auf mittlerem Standort	3	111,121, <u>211,718,728,900</u>	6
334	Baumholz II auf mittlerem Standort	3	311, <u>411,412,413,717</u>	15
335	Baumholz III auf mittlerem Standort	3	<b>511,512,513</b>	12
336	Starkes Baumholz auf mittlerem Standort im Plenterwaldteil	3	<b>716</b>	14
338	Baumhölzer mit Laubholz auf mittlerem Standort	3	521, <u>726,727,</u>	4
432	Stangenhölzer und jüngere Entwicklungsstufen auf saurem Standort	4	111,121, <u>211,231,232,718,728,900</u>	3
434	Baumholz II auf saurem Standort	4	311,321, <u>411,412,421,423,716,726,717</u>	39
435	Baumholz III auf saurem Standort	4	<u>511,512,513,521</u>	15
634	Baumhölzer in der unteren montanen Stufe	6	<u>411,412,421,511,512,718</u>	5

#### 4.2.5. Einfluss der unbestockten Waldfläche auf die Inventurresultate

Der Ausschluss der dauernd unbestockten Waldflächen aus dem inventarisierten Gebiet kann als eine Art der Stratifizierung angesehen werden (Abschnitt 3.3.4.). Zu diesem Zweck werden Proben, deren Zentrum in der dauernd unbestockten Fläche liegt, nicht in die Auswertung aufgenommen. Ziel ist, die Homogenität innerhalb der Straten zu erhöhen. In praktischen Beispielen im Toppwald und in Schwarzenegg führte dieses Vorgehen zu einem um 0,5-1,5% kleineren Standardfehler (Tabelle 41). Diese Veränderung ist nur beim relativen Standardfehler zu erkennen, weil mit dem Ausschluss der unbestockten Waldfläche sich auch die Schätzungen für die Zielgrößen verändern. Der geringfügig kleinere Standardfehler wurde mit einer niedrigeren Probeanzahl erzielt (Tabelle 42).

**Tab. 41:** Veränderung der Schätzung und ihrer Varianz in Abhängigkeit von der Berücksichtigung der dauernd unbestockten Waldfläche. Schwarzenegg und Toppwald 1994 – alle Bestände.

Variante	Schätzung		Varianz des Schätzung		Standardfehler in %	
	Vorrat sv/ha	Stammzahl n/ha	Vorrat	Stammzahl	Vorrat	Stammzahl
<b>Schwarzenegg</b>						
ganze Waldfläche	535.4	489.7	101.10	63.28	1.88	1.62
nur bestockte Waldfläche	553.6	506.3	105.62	65.72	1.86	1.60
<b>Toppwald</b>						
ganze Waldfläche	489.2	449.0	170.72	134.42	2.67	2.58
nur bestockte Waldfläche	502.0	462.1	178.74	140.98	2.66	2.57

**Tab. 42:** Veränderung von Fläche, Probeanzahl und Schätzung in Abhängigkeit von der Berücksichtigung der dauernd unbestockten Waldfläche. Schwarzenegg und Toppwald 1994 – alle Bestände.

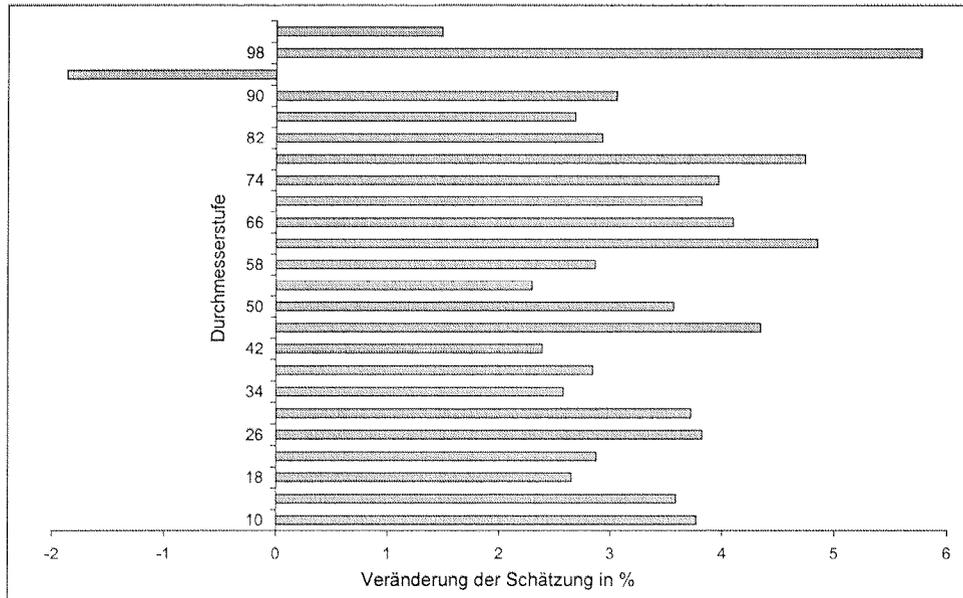
Variante	Fläche		Proben		Schätzung - Stammzahl/ha		Schätzung – Vorrat/ha in sv	
<b>Schwarzenegg</b>								
ganze Waldfläche	520 ha	100 %	434	100 %	490	100 %	535	100 %
nur bestockte Waldfläche	500 ha	96 %	428	98.6 %	506	103 %	554	104 %
<b>Toppwald</b>								
ganze Waldfläche	359	100 %	297	100 %	449	100%	489	100 %
nur bestockte Waldfläche	348	97 %	289	97.3 %	462	103 %	502	103 %

Nach Ausschluss der Proben auf der unbestockten Waldfläche liegen die Schätzwerte in beiden Gebieten um etwa 3 % höher. Der Grund sind höhere lokale Dichten, die auf eine Erhöhung der Zahl an Randproben zurückgehen. Jede Probe, die in der Nähe einer Strasse oder einer anderen dauernd unbestockten Waldfläche liegt, wird als Randprobe behandelt. Der Randeffect verkleinert die Aufnahmewahrscheinlichkeit von Bäumen, was sich auch auf die Berechnung der lokalen Dichten auswirkt.

Der Anstieg der Schätzwerte ist bei allen Teilpopulationen (z.B. Durchmesserstufen) ungefähr gleich. Es wurden weder klare Unterschiede noch deutliche Tendenzen zwischen den einzelnen Teilpopulationen gefunden (Abbildung 44). Der Wert der stammzahlarmen Durchmesserstufe 94 cm ist ein Ausreisser, der auf die geringe Anzahl aufgenommener Bäume zurückzuführen ist.

Dass die Schätzwerte nach dem Ausschluss der Proben der unbestockten Waldfläche ansteigen, wurde in jedem Stratum und in jedem Untersuchungsgebiet in ähnlicher Form beobachtet (Tabelle 43). Die Schätzwerte liegen je nach Stratum 0,5 bis 15% über den Schätzwerten einer Auswertung, welche die unbestockte Waldfläche einbezieht. Die Varianz bzw. die Standardfehler werden beim Ausschluss der unbestockten Waldfläche meist kleiner. Bei einigen Straten aber hat sich die Varianz bzw. der Standardfehler vergrößert. Dabei handelt es sich um Straten, die überwiegend schwaches Holz enthalten (KS1, KS2), oder um Straten, die bei Einbezug der unbestockten Waldfläche deutlich mehr Proben aufweisen.

**Abb. 44:** Stammzahlveränderung bei Berücksichtigung der unbestockten Waldfläche. Beispiel Schwarzenegg. 100% ist der Wert aus der Auswertung ohne Berücksichtigung der dauernd unbestockten Waldfläche.



**Tab. 43:** Veränderung der Schätzung und ihrer Standardfehler in Abhängigkeit von der Berücksichtigung der dauernd unbestockten Waldfläche in den einzelnen Straten. Beispiel Stammzahl. Kursiv sind Straten bezeichnet, die Varianz bzw. der Standardfehler mit der Berücksichtigung der unbestockten Waldfläche gestiegen ist.

Stratum	Relative Veränderung		Probeanzahl	
	der Schätzung	des Standardfehlers in %	ohne	mit
	100% = Berechnung ohne Ber. der unb. Waldfl.		Berücksichtigung der unbestockten Waldfläche	
KB1	1.4	-2.8	7	7
KB2	1.6	-6.4	6	6
KB3	9.3	-7.8	3	3
KB4	2.8	-5.2	7	7
KB5	4.4	-24.0	4	4
KS1	6.1	13.4	4	4
KS4	6.3	12.9	3	3
PL12	14.6	-8.7	3	3
PL13	4.7	4.3	13	13
PL22	2.8	5.6	5	5
PL23	4.2	-3.6	9	9
PL32	5.4	5.6	15	16
PL33	0.4	0.0	16	16
PL42	4.2	-7.0	10	10
PL43	4.7	-4.4	51	53
PL53	3.2	-25.4	3	3
UB12	4.8	-2.4	17	17
UB13	4.7	-2.2	38	40
UB22	3.9	-2.4	19	19
UB23	0.5	-1.6	27	27
UB32	2.2	-6.5	17	17
UB33	1.2	-2.5	37	37
UB41	1.7	-4.3	3	3
UB42	0.8	-1.0	11	11
UB43	3.3	2.6	89	89
UB52	0.8	-5.7	5	5
UB53	9.0	10.4	6	7

Die dauernd unbestockten Waldflächen wurden in den beiden Untersuchungsgebieten mit unterschiedlicher Präzision digitalisiert (siehe Kapitel 3.3.). Eine exakte und umfassende Gegenüberstellung beider Methoden ist aufgrund der Unkenntnis der wahren Werte der Gesamtpopulation nicht möglich. Weil beim Vergleich der beiden Methoden keine auffälligen Unterschiede gefunden wurden, werden in der vorliegenden Arbeit beide Methoden als ebenbürtig betrachtet. Danach können mit der in Schwarzenegg angewandten Methode, die als einfacher bezeichnet werden darf, die gleichen Resultate erzielt werden wie mit der präziseren Methode, die im Toppwald verwendet worden ist.

### 4.3. Analyse der Standardfehler bei den durchgeführten Inventuren

#### 4.3.1. Allgemeines

Der Schwerpunkt der folgenden Kapitel liegt auf der Analyse der Standardfehler in plenterartigen Beständen. Anhand von empirischen Zahlen, gewonnen aus den durchgeführten Inventuren, sollen ergänzende Informationen über die statistische Genauigkeit der Kontrollstichprobe in plenterartigen Beständen gegeben werden. Die Informationen führen zu Aussagen über unterschiedliche Populationen sowie Schätzwerten für verschiedene Zielgrößen. Die Informationen sollen auch die Struktur der untersuchten Gebiete beschreiben und dadurch einen Vergleich mit der Struktur anderer Wälder ermöglichen. Die durchgeführten Inventuren, die Auswertung und die Poststratifizierung sind in den Abschnitten 3.3.1., 3.3.5. und 4.2.4. beschrieben.

Die Angabe von Standardfehler wird ergänzt durch Informationen über die erforderliche Probenzahl für eine gewünschte Genauigkeit bei einer bestimmten Zielgrösse. Bei der Interpretation dieser Aussagen ist zu beachten, dass es sich um Durchschnittswerte über alle Straten handelt. Die Standardfehler einzelner Straten weichen jedoch oft voneinander ab: Bei relativ homogenen Straten sind sie in der Regel kleiner, bei inhomogenen Straten meist grösser. Unter den plenterartigen Beständen gelten vorratsreiche Plenterwälder als homogener als vorratsarme. Eine ähnliche Aussage für Überführungswälder ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Strukturen in diesen Wäldern nahezu unmöglich. Mehrheitlich sind die Überführungsbestände am Anfang der Überführung homogener als in fortgeschrittenen Stadien.

#### 4.3.2. Zustandsdaten

##### 4.3.2.1. Gesamtstammzahl

Die Durchschnittswerte für den **Gesamtwald** und die **Gesamtpopulation** (alle Bäume ab 8 cm BHD) betragen in Schwarzenegg  $506 \text{ n}\cdot\text{ha}^{-1}$ , im Toppwald gemäss der jüngsten Aufnahme  $462 \text{ n}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Tabelle 44). Die Varianz in Schwarzenegg ist kleiner als im Toppwald. Dies ist sicherlich eine Folge der grösseren Probeflächengrösse. Unsicher ist aber, ob die kleinere Varianz auch durch die grössere Bestandeshomogenität verursacht ist. Die aufeinander folgenden Aufnahmen im Toppwald zeigen, dass die Varianz zunehmend kleiner wird. Zurückzuführen ist dies allein auf die wachsende Homogenität der Bestände.

Die Stammzahlschätzung für die **Gesamtpopulation** in Schwarzenegg beträgt je nach **Endstratum** zwischen  $130$  und  $580 \text{ n}\cdot\text{ha}^{-1}$ , in plenterartigen Beständen zwischen  $400$  und  $570 \text{ n}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Die Grenze von 10% Standardfehler wird in Schwarzenegg bei 12 Proben, im Toppwald bei 15 Proben erreicht. (Abbildung 45).

Tab. 44 Stammzahl für Gesamtwald und Gesamtpopulation.

Ort	Schwarzenegg		Toppwald		
Jahr	1994		1972	1982	1993
n·ha <sup>-1</sup>	506		577	484	462
Anzahl Proben	428		297		
SF in %	1.6		2.9	2.7	2.5
Varianz der Stichprobe	28053		83158	50719	39621
Variationskoeffizient	0.33		0.50	0.47	0.43

Abb. 45: Standardfehler der Stammzahl der Gesamtpopulation nach Endstraten.

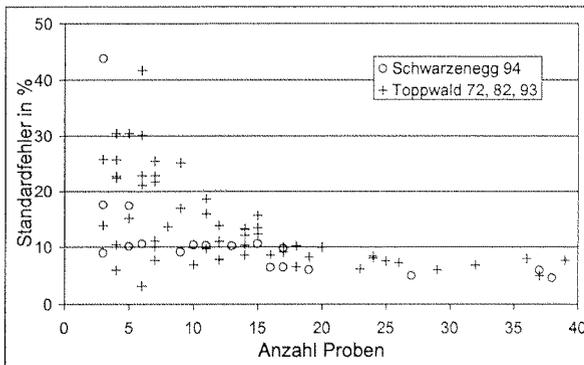
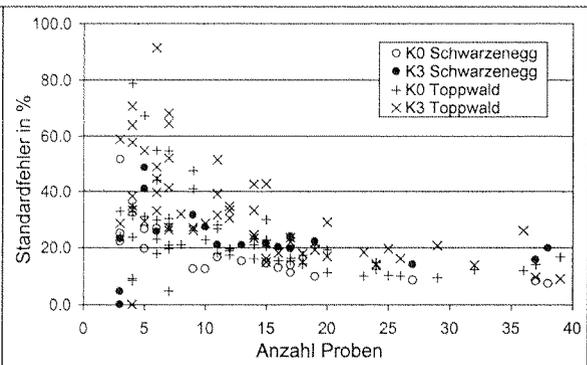


Abb. 46: Standardfehler der Stammzahl nach Stärkeklassen und Endstraten.



Die Schätzwerte für die **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** und den **Gesamtwald** sind in Tabelle 45 aufgeführt. In Schwarzenegg bewegt sich der Standardfehler je nach Stärkeklasse zwischen 2,5% und 4,5%, im Toppwald zwischen 4,4% und 5,8% (aktuelle Aufnahme). Der im Toppwald höhere Fehler ist hauptsächlich durch die geringere Anzahl Proben und die kleinere Probefläche verursacht. Auch der Variationskoeffizient ist im Toppwald deutlich höher. Gründe dafür sind die kleinere Probeflächengröße und wahrscheinlich auch die geringere Bestandeshomogenität als in Schwarzenegg. Im Laufe der Zeit ist der Variationskoeffizient im Toppwald fast stetig gesunken. Dies kann als Hinweis auf eine erhöhte Bestandeshomogenität interpretiert werden. Die Aussage gilt aber nicht für Bäume mit mittleren Dimensionen, die zur Teilpopulation K2 gehören. Ihr Variationskoeffizient ist bei allen drei Inventuren gleich geblieben.

Tab. 45: Stammzahl für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen.

Gebiet	Schätzung (n·ha <sup>-1</sup> )					Standardfehler in %					Variationskoeffizient					
	Stärkeklasse	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4
BHD		8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	16-28	28-40	40-52	>52
<b>Schwarzenegg 1994</b>		221	125	57	44	59	2.7	2.5	3.7	4.5	3.0	0.55	0.51	0.76	0.93	0.63
<b>Toppwald 1972</b>		236	160	95	50	36	4.7	5.2	5.7	6.1	6.4	0.81	0.90	0.98	1.04	1.11
<b>Toppwald 1982</b>		188	121	85	52	39	4.8	5.0	5.7	6.1	6.0	0.83	0.86	0.98	1.06	1.04
<b>Toppwald 1993</b>		185	107	68	55	47	4.4	4.8	5.8	5.4	5.1	0.76	0.82	0.99	0.93	0.88

Schon in der Darstellung der Stammzahl nach Stärkeklassen ist sichtbar, dass im Toppwald die Bäume mit der Zeit in höhere Stärkeklassen eingewachsen sind und die Vertretung der unteren Stärkeklassen abgenommen hat.

Tabelle 46 enthält Beispiele für Schätzwerte und ihre Standardfehler für einzelne plenterartige **Endstraten** und für **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** in Schwarzenegg. Der Standardfehler wächst mit sinkender Probeanzahl. Der kleinste Standardfehler ist in der Regel bei der stammzahlreichen Stärkeklasse K0 zu finden, der grösste bei den höheren und stammzahlarmen Stärkeklassen K3 und K4.

**Tab. 46:** Stammzahl für einzelne Endstraten und Stärkeklassen. Schwarzenegg, nur plenterartige Bestände. Abkürzungen der Endstraten sind in Kap. 4.2.4.1. in Tabelle 30 definiert.

Stra- tum	Anzahl Proben	Schätzung ( $n \cdot ha^{-1}$ )					Standardfehler in %				
		K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4
		8-16 cm	16-28 cm	28-40 cm	40-52 cm	>52 cm	8-16 cm	16-28 cm	28-40 cm	40-52 cm	>52 cm
PL12	3	126	132	65	45	35	22.2	13.1	51.1	23.1	54.3
PL13	13	240	127	46	33	55	15.2	10.2	24.4	20.8	21.4
PL22	5	283	130	38	38	16	19.6	24.7	41.0	41.0	73.4
PL23	9	226	147	56	48	42	12.6	16.9	11.3	31.5	14.1
PL32	15	257	138	37	34	39	14.5	11.1	28.6	21.5	20.2
PL33	16	237	135	40	26	79	13.0	9.1	19.7	20.1	13.0
PL42	10	284	142	47	38	54	12.5	17.2	26.8	27.2	19.5
PL43	51	275	124	44	35	72	6.7	7.1	9.0	12.8	7.5
PL53	3	150	131	63	42	61	25.1	15.6	51.8	4.6	49.1
UB12	17	220	124	58	30	50	11.2	12.5	12.4	23.8	16.1
UB13	38	177	105	63	43	56	7.4	8.0	11.5	19.7	10.3
UB22	19	245	142	58	34	47	9.8	13.1	14.5	22.1	15.9
UB23	27	229	121	59	42	63	8.5	9.0	13.7	14.0	10.5
UB32	17	233	135	47	32	53	13.8	10.8	19.6	19.4	16.1
UB33	37	211	131	52	47	72	8.3	9.0	12.1	15.6	8.1
UB41	3	286	108	33	.	7	51.7	31.0	52.9	.	100.0
UB42	11	222	158	66	40	43	16.6	11.2	20.7	20.9	17.3
UB43	89	238	134	60	48	74	5.2	5.2	7.8	8.1	5.3
UB52	5	212	108	65	24	16	26.5	14.8	11.8	48.6	61.3
UB53	6	147	99	113	63	49	26.9	14.4	22.2	25.6	21.0

In Schwarzenegg wird die Grenze von 10% (20%) Standardfehler für die Teilpopulation K0 im Durchschnitt bei 18 (10) Proben erreicht, im Toppwald bei 30 (15) Proben. Für die Teilpopulation K3 und 20% Standardfehler beträgt die entsprechende Probeanzahl 14 (Schwarzenegg) und 18 (Toppwald) (Abbildung 46, Tabelle 46).

Eine wichtige Darstellung der Stammzahl bei der Kontrollmethode ist die Stammzahlkurve. Für diese Darstellung ist es nötig, die Schätzwerte für die **Teilpopulationen nach Durchmesserstufen** zu kennen. In Abbildung 47 ist als Beispiel der Wert für die Stammzahl im **Gesamtwald** Schwarzenegg und sein Vertrauensbereich dargestellt. Stammzahlkurve und Vertrauensbereich sind in der im Plenterwald üblichen halblogarithmischen sowie in normaler Form dargestellt. Die Verzerrung durch die halblogarithmische Darstellung wird deutlich sichtbar. Entgegen den Erwartungen sind die Standardfehler für die einzelnen Durchmesserstufen allgemein klein. Die Abbildung lässt auch erkennen, dass mit steigender Durchmesserstufe die Anzahl der Bäume je Stufe abnimmt und im Gegenzug der Standardfehler steigt. Die 10%-Grenze (Standardfehler) wird in Schwarzenegg bei der Durchmesserstufe 74 cm überschritten, im Toppwald bei der Durchmesserstufe 54 cm (Abbildung 49).

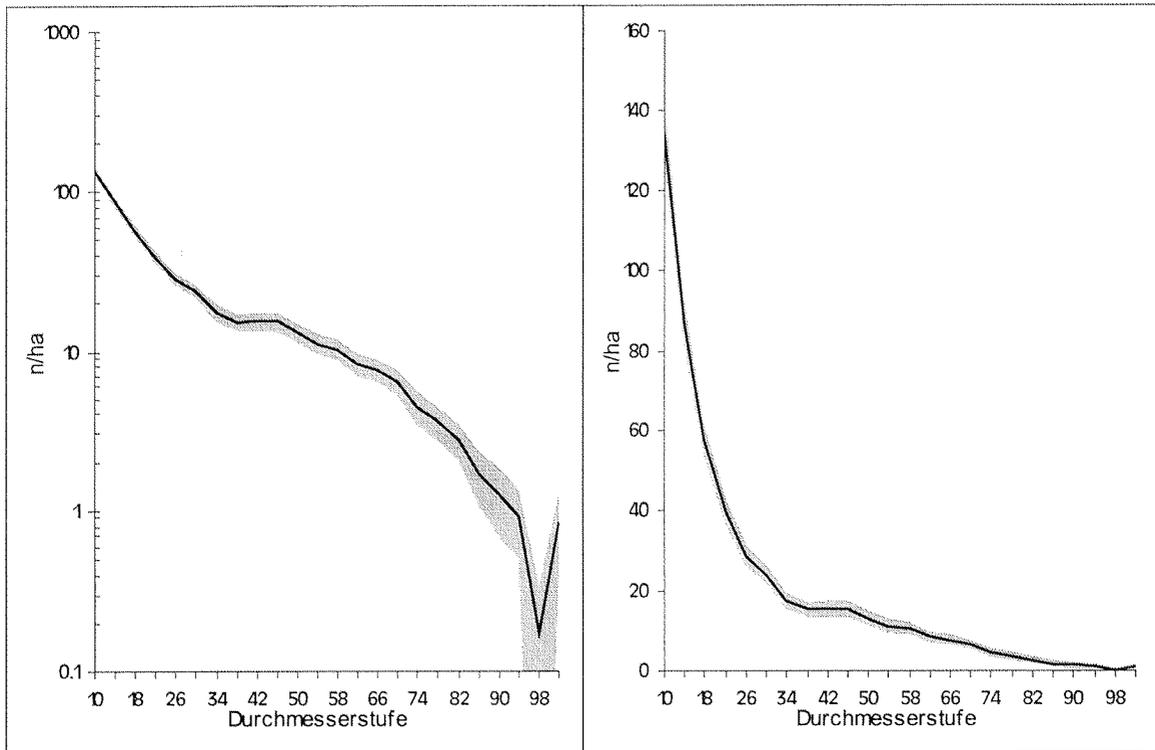
Die Durchmesserstufe 10 cm ist wegen der angestrebten Nachhaltigkeit beim Nachwuchs wichtig. Die Standardfehler für diese Durchmesserstufe betragen 3,1% (Schwarzenegg) bzw. 4,7% (Toppwald). Für die Nutzungsplanung sind höhere Durchmesserstufen interessant, z.B. die Stufe 54 cm. Bedingt durch die geringere Baumzahl liegen die Standardfehler mit 7,1% (Schwarzenegg) und 9,6% (Toppwald) wesentlich höher als bei der Durchmesserstufe 10 cm (Tabelle 47).

**Tab. 47:** Stammzahl für Gesamtwald und einzelne Durchmesserstufen. Beispiel Durchmesserstufe 10 und 54.

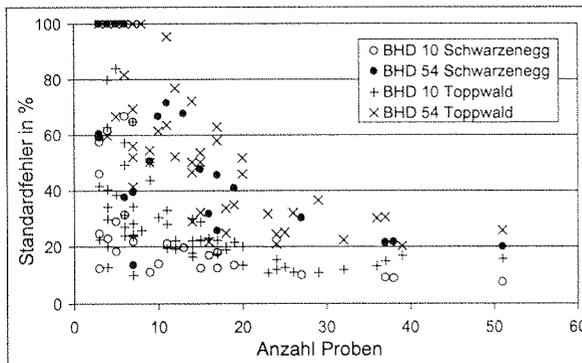
	Durchmesserstufe 10 (BHD 8 – 11.9 cm)			Durchmesserstufe 54 (BHD 52 – 55.9 cm)		
	$n \cdot ha^{-1}$	SF in %	Var. koeff.	$n \cdot ha^{-1}$	SF in %	Var. koeff.
Schwarzenegg 1994	134	3.1	0.62	11	7.1	1.47
Toppwald 1972	145	5.2	0.89	9	10.6	1.83
Toppwald 1982	109	5.6	0.97	10	10.2	1.76
Toppwald 1993	112	4.7	0.81	11	9.6	1.66

Wenn die Schätzwerte für einzelne End-Straten ausgewertet werden, steigen die Fehler rapid (Abbildung 48). Für die Durchmesserstufe 10 cm und die Grenze von 20 % Standardfehler sind in Schwarzenegg 18 Proben erforderlich, im Toppwald 20 Proben. Für die Durchmesserstufe 54 cm und gleicher Grenze werden in Schwarzenegg bereits 50 Proben benötigt, im Toppwald 70 Proben.

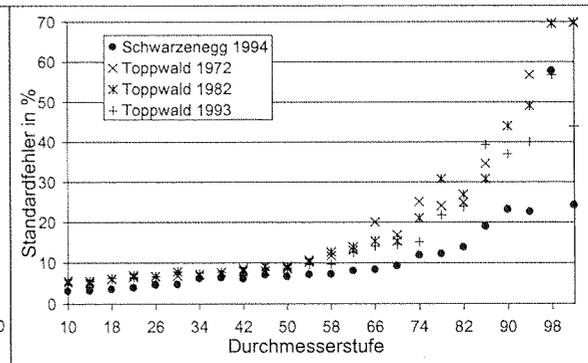
**Abb. 47:** Stammzahl des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen (Schwarzenegg). Der graue Bereich um die Stammzahlkurve entspricht der 95% Vertrauensbereich. Das linke Bild repräsentiert eine halblogarithmische Darstellung, das rechte eine normale Darstellung.



**Abb. 48:** Standardfehler der Stammzahl nach Durchmesserstufen und Endstraten.



**Abb. 49:** Standardfehler der Stammzahl des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen.



### 4.3.2.2. Stammzahl nach Baumarten

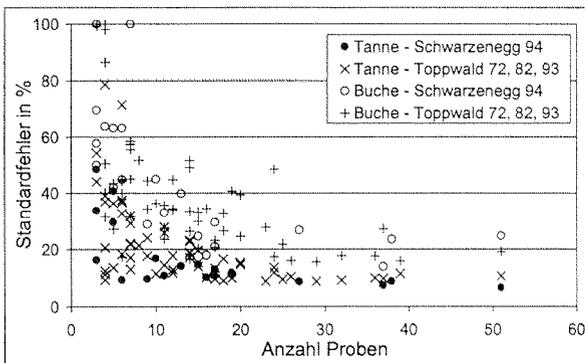
Die Fehler für Schätzwerte noch feinerer Teilpopulationen (z.B. für einzelne Baumarten) steigen mit fallender Baumzahl bzw. fallendem Baumartenanteil. Tabelle 48 enthält Schätzwerte für den **Gesamtwald** und für die **Gesamtpopulation** am Beispiel von Tanne und Buche. In Schwarzenegg ist der Standardfehler bei Buche (7,1%) fast dreimal so gross wie bei Tanne (2,6%). Dagegen ist im Toppwald, wo der Buchenanteil grösser ist, der Standardfehler für Buche (6,3%) nur knapp zweimal so gross wie bei Tanne (3,8%).

In **End-Straten** wird die Grenze von 20% Standardfehler für die Schätzung der Gesamtstammzahl der Baumart Tanne mit 12 Proben (Schwarzenegg) bzw. 14 Proben (Toppwald) erreicht (Abbildung 50). Für die Buche sind die entsprechenden Werte 40 Proben (Schwarzenegg) bzw. 30 Proben (Toppwald). Abbildung 51 zeigt die Stammzahlkurve der Buche und ihren Vertrauensbereich.

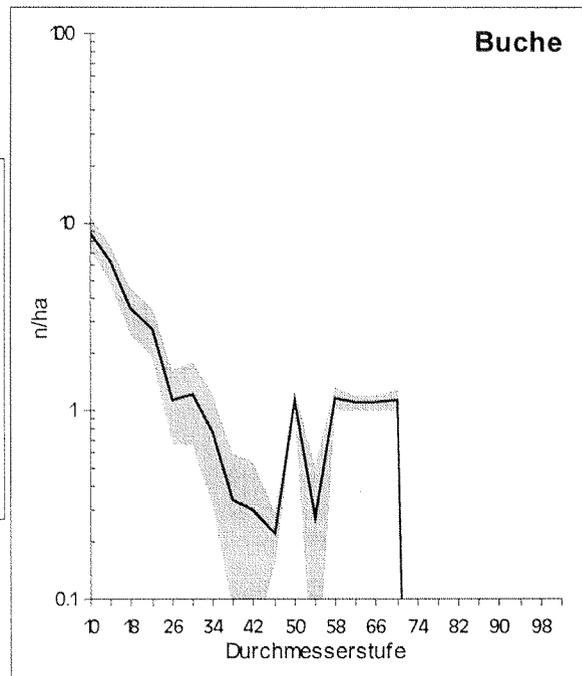
**Tab. 48:** Stammzahl für Gesamtwald und Gesamtpopulation nach Baumart.

Ort	Schwarzenegg		Toppwald	
	1994	1972	1982	1993
Jahr	1994	1972	1982	1993
Anzahl Proben	428		297	
<b>Tanne</b>				
n·ha <sup>-1</sup>	309	304	259	244
SF in %	2.6	3.9	3.8	3.8
Variationskoeffizient	0.54	0.67	0.66	0.65
<b>Buche</b>				
n·ha <sup>-1</sup>	26	106	75	61
SF in %	7.1	6.0	6.3	6.3
Variationskoeffizient	1.47	1.04	1.09	1.08

**Abb. 50:** Standardfehler der Stammzahl der Gesamtpopulation nach Endstraten und Baumarten.



**Abb. 51:** Schätzung der Stammzahl des Gesamtwaldes (nur Buchen) nach Durchmesserstufen. Der graue Bereich um die Stammzahlkurve ist 95% Vertrauensbereich.



### 4.3.2.3. Gesamtvorrat

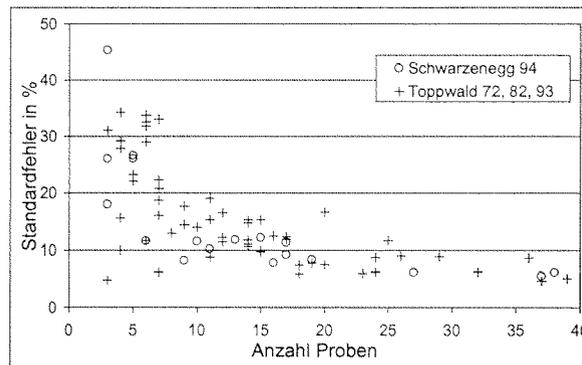
Die Durchschnittswerte für den Vorrat des **Gesamtwaldes** und für die **Gesamtpopulation** aller Bäume ab 8 cm BHD liegen in Schwarzenegg bei  $554 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , im Toppwald bei  $502 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Der Standardfehler im Toppwald, der bei allen Aufnahmen in derselben Grössenordnung liegt, ist grösser als in Schwarzenegg. Ursache sind die grösseren Probeflächen und die höhere Zahl an Proben in Schwarzenegg (Tabelle 49).

Tab. 49: Vorrat für Gesamtwald und Gesamtpopulation.

Ort	Schwarzenegg		Toppwald		
	Jahr	1994	1972	1982	1993
sv·ha <sup>-1</sup>		<b>554</b>	<b>483</b>	<b>470</b>	<b>502</b>
Anzahl Proben		428		297	
SF in %		1.9	2.7	2.9	2.6
Variationskoeffizient		0.38	0.46	0.49	0.45

Die Schätzungen für einzelne **End-Straten** der **Gesamtpopulation** bewegen sich in Schwarzenegg zwischen  $150$  und  $690 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  (in plenterartigen Beständen  $150$ - $660 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), im Toppwald zwischen  $220$  und  $605 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Die Grenze von 10% Standardfehler wird in Schwarzenegg bei 14 Proben, im Toppwald bei 17 Proben erreicht (Abbildung 52).

Abb. 52: Standardfehler des Vorrats der Gesamtpopulation nach Endstraten.

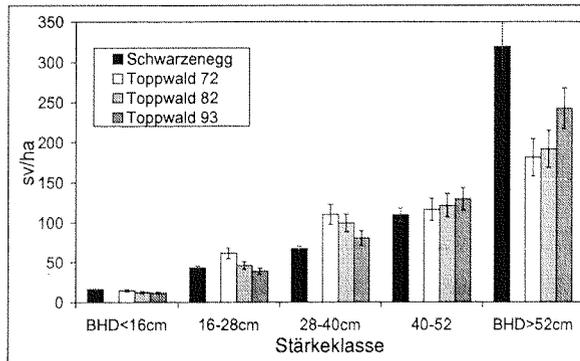


Die Schätzwerte für die **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** und für den **Gesamtwald** sind in Tabelle 50 aufgeführt. Der Standardfehler ist in Schwarzenegg mit 2,6-4,5% deutlicher tiefer als im Toppwald mit 4,7-5,8%. Im Toppwald sind die Variationskoeffizienten für den Vorrat bei den Teilpopulationen K0 und K1 im Laufe der Zeit nicht so deutlich gesunken wie für die Stammzahl. Das im Laufe von drei Inventuren allmähliche Einwachsen von Bäumen in höhere Stärkeklassen ist beim Vorrat und bei der Stammzahl gut sichtbar (Abbildung 53).

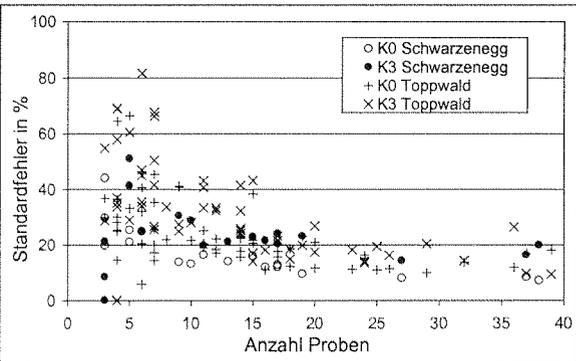
Tab. 50: Vorrat für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen.

Gebiet	Schätzung (sv·ha <sup>-1</sup> )					Standardfehler in %					Variationskoeffizient				
	Stärkeklasse					K0 K1 K2 K3 K4					K0 K1 K2 K3 K4				
	BHD					8-16 -28 -40 -52 >52					8-16 16-28 28-40 40-52 >52				
<b>Schwarzenegg 1994</b>	16	43	66	109	319	2.6	2.6	3.9	4.5	3.1	0.55	0.54	0.80	0.94	0.65
<b>Toppwald 1972</b>	14	61	110	116	181	4.8	5.4	5.6	6.0	6.5	0.83	0.92	0.97	1.03	1.13
<b>Toppwald 1982</b>	12	46	99	121	192	4.7	5.3	5.6	6.1	6.2	0.81	0.91	0.97	1.05	1.07
<b>Toppwald 1993</b>	11	39	80	129	242	4.7	4.8	5.8	5.5	5.3	0.82	0.82	1.00	0.94	0.91

**Abb. 53:** Schätzung des Vorrates des Gesamtwaldes nach Stärkeklassen. Die Fehleranzeige entspricht dem 95% Vertrauensbereich..



**Abb. 54:** Standardfehler des Vorrats nach Stärkeklassen und Endstraten.



**Tab. 51:** Vorrat für einzelne Endstraten und Stärkeklassen. Schwarzenegg, nur plenterartige Bestände. Abkürzungen der Endstraten sind in Kap. 4.2.4.1. in Tabelle 30 definiert.

Stratum	Anzahl Proben	Schätzung (sv·ha <sup>-1</sup> )					Standardfehler in %				
		K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4
		8-16 cm	16-28 cm	28-40 cm	40-52 cm	>52 cm	8-16 cm	16-28 cm	28-40 cm	40-52 cm	>52 cm
PL12	3	11	40	62	95	146	19.7	30.8	51.5	21.3	53.9
PL13	13	17	45	54	81	327	14.1	12.2	27.6	21.1	21.0
PL22	5	20	45	43	87	86	21.2	25.8	36.4	41.3	71.8
PL23	9	16	46	62	125	240	13.8	16.1	13.2	30.5	15.4
PL32	15	18	46	40	83	206	16.1	13.3	24.5	22.8	19.8
PL33	16	17	48	49	65	433	12.0	9.8	21.4	21.6	11.9
PL42	10	21	45	54	98	310	13.2	18.9	28.5	28.8	20.5
PL43	51	19	41	50	88	405	7.0	7.6	9.8	13.3	7.4
PL53	3	12	43	81	101	284	29.8	18.5	54.1	8.4	44.9
UB12	17	16	44	68	76	242	12.1	14.0	14.3	24.1	17.0
UB13	38	13	39	73	104	294	7.1	8.3	11.4	19.9	10.4
UB22	19	18	53	69	82	264	9.5	14.3	14.9	23.1	15.3
UB23	27	17	37	69	104	340	8.0	10.3	14.4	14.3	11.0
UB32	17	17	44	54	75	281	12.8	11.0	20.0	20.4	15.8
UB33	37	15	45	62	118	391	8.4	9.8	12.6	16.3	7.8
UB41	3	21	39	38	.	58	44.1	30.4	55.8	.	100.0
UB42	11	16	57	76	103	228	16.4	12.0	22.5	19.8	18.7
UB43	89	18	44	71	122	402	5.2	5.3	8.2	8.1	5.7
UB52	5	16	40	72	54	80	25.5	17.9	14.9	51.0	62.7
UB53	6	10	34	140	167	232	24.9	9.6	20.6	25.0	23.8

Tabelle 51 enthält ein Beispiel für Schätzwerte und Standardfehler für **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** in einzelnen **End-Straten**. Die Daten für Schwarzenegg entstammen der Inventur plenterartiger End-Straten. Der Fehlerrahmen entspricht demjenigen der Stammzahl.

In Schwarzenegg wird die Grenze von 10% (20%) Standardfehler beim Vorrat der Teilpopulation K0 mit 18 (9) Proben erreicht, im Toppwald mit 30 (14) Proben. Um bei der Teilpopulation K3 die 20%-Grenze einzuhalten, werden in Schwarzenegg 16 Proben benötigt, im Toppwald 18 Proben (Abbildung 54).

Die Darstellung des Vorrats nach **Durchmesserstufen** ist unüblich und für praktische Zwecke zu detailliert. Die Standardfehler für die einzelnen Durchmesserstufen des **Gesamtwaldes** verhalten sich gleich wie bei der Stammzahl. Die 10%-Grenze für den Standardfehler wird in Schwarzenegg bei der Durchmesserstufe 74 cm überschritten, im Toppwald bei der Stufe 54 cm (Abbildung 55).

Abb. 55: Standardfehler des Vorrats des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen.

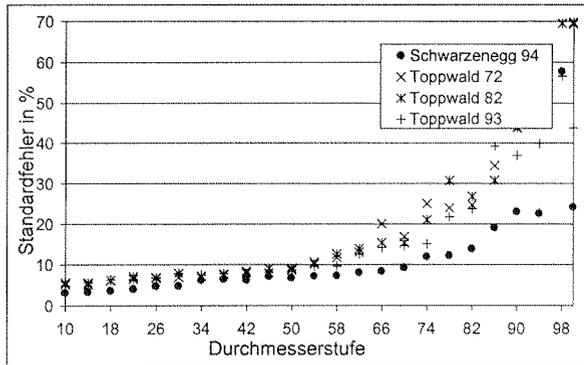
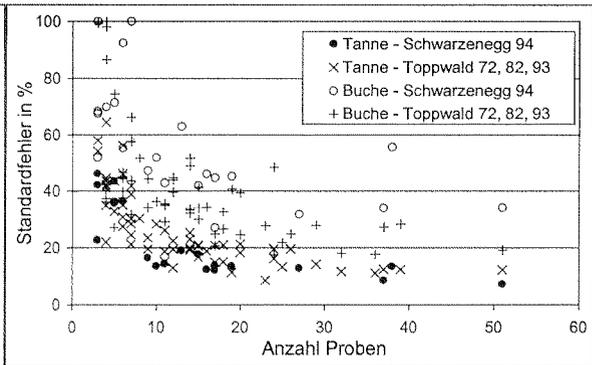


Abb. 56: Standardfehler des Vorrats der Gesamtpopulation nach Endstraten und Baumarten.



#### 4.3.2.4. Vorrat nach Baumarten

Die Schätzwerte und deren Standardfehler für den Vorrat einzelner Baumarten sind am Beispiel von Tanne und Buche dargestellt (Tabelle 52). Die Auswertung basiert auf der **Gesamtpopulation** im **Gesamtwald**. Die Fehler steigen mit der fallenden Zahl an Bäumen bzw. mit dem fallenden Anteil der Baumart.

Bei der Baumart Tanne wird in den einzelnen **End-Straten** die 20 %-Grenze für den Standardfehler mit rund 15 Proben erreicht. Diese Aussage gilt für beide Untersuchungsgebiete. Bei der Baumart Buche dagegen werden im Toppwald 50 Proben benötigt, um die oben beschriebene Genauigkeit zu erreichen. In Schwarzenegg ist der Buchenanteil sogar so gering, dass die Zahl von 50 Proben nicht ausreicht, um die 20%-Grenze zu erreichen (Abbildung 56).

Tab. 52: Vorrat für Gesamtwald und Gesamtpopulation nach Baumart.

Ort	Schwarzenegg		Toppwald	
Jahr	1994		1972	1993
Anzahl Proben	428		297	
<b>Tanne</b>				
Baumartenanteil nach Vorrat $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$	<b>308</b>	<b>240</b>	<b>225</b>	<b>235</b>
SF in %	3.3	4.3	4.7	4.6
Variationskoeffizient	0.68	0.75	0.80	0.79
<b>Buche</b>				
Baumartenanteil nach Vorrat $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$	<b>9</b>	<b>36</b>	<b>33</b>	<b>35</b>
SF in %	12.2	8.2	8.8	8.5
Variationskoeffizient	2.53	1.41	1.52	1.47

Die Schätzwerte für den Vorrat der Baumarten Tanne und Buche sind in Tabelle 53 aufgeführt. Die Auswertung basiert auf **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** im **Gesamtwald**. In Schwarzenegg beträgt der Standardfehler bei Tanne 3,5 bis 6,1%, bei Buche 8,8 bis 33,1%. Im Toppwald liegen die Standardfehler bei Tanne im Bereich 5,8 bis 8,5%, bei Buche im weiten Bereich 8,6 bis 27,9% der Schätzung. Im Toppwald ist der Variationskoeffizient bei der Tanne deutlich höher als in Schwarzenegg. Gründe sind die kleinere Probeflächengröße, der geringere Tannenanteil und wahrscheinlich auch die weniger homogenen Bestände. Dagegen hat die Buche im Toppwald trotz der dort kleineren Probeflächengröße einen niedrigeren Variationskoeffizienten als in Schwarzenegg. Der Grund ist vor allem der grössere Anteil der Buche. Im Laufe der letzten drei Inventuren ist der Variationskoeffizient im meist Toppwald leicht gesunken.

Tab. 53: Vorrat für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen nach Baumart. Beispiel Tanne und Buche.

Gebiet	Schätzung (sv-ha <sup>-1</sup> )					Standardfehler in %					Variationskoeffizient				
	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4
BHD	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	16-28	28-40	40-52	>52
<b>Tanne</b>															
Schwarzenegg 1994	10	29	39	46	183	3.6	3.5	4.5	6.1	4.8	0.75	0.73	0.94	1.26	1.00
Toppwald 1972	8	31	47	47	108	6.0	6.7	7.7	8.3	8.4	1.03	1.15	1.32	1.43	1.45
Toppwald 1982	7	24	42	47	105	5.9	6.4	7.8	9.4	8.4	1.02	1.10	1.34	1.62	1.45
Toppwald 1993	7	20	37	50	121	5.8	6.3	8.0	8.5	7.9	1.00	1.09	1.38	1.46	1.37
<b>Buche</b>															
Schwarzenegg 1994	1	2	2	1	2	8.8	10.8	18.8	33.1	33.0	1.83	2.23	3.89	6.86	6.82
Toppwald 1972	4	13	10	6	4	8.1	8.2	13.8	21.8	35.0	1.39	1.42	2.38	3.76	6.04
Toppwald 1982	2	10	11	6	4	8.4	8.6	13.6	22.1	32.0	1.45	1.48	2.35	3.81	5.52
Toppwald 1993	2	8	11	9	6	10.1	8.6	11.1	17.6	27.9	1.75	1.48	1.92	3.03	4.80

Tabelle 54 enthält als Beispiel die Schätzwerte und Standardfehler für den Vorrat bei Tanne und Buche. Die Auswertung bezieht sich auf einzelne **End-Straten** und **Teilpopulationen nach Stärkeklassen**. Es handelt sich nur um solche End-Straten aus der Inventur in Schwarzenegg, die als Plenterwald eingestuft worden sind. Das Beispiel zeigt mit Werten von 9,8% bis 100% die grosse Spanne des Standardfehlers bei der Schätzung des Vorrates der Tanne. In der Regel haben die stammzahlreichen Teilpopulationen K0 und K1 deutlich geringere Standardfehler als die Teilpopulationen K2, K3 und K4. Bei der Buche sind die Standardfehler noch höher: Der geringste Fehler mit 17,8% betrifft die Teilpopulation K0. Die Hälfte der Standardfehler liegt bei 100% der Schätzung.

Tab. 54: Vorrat für einzelne Endstraten und einzelne Stärkeklassen nach Baumart. Beispiel Tanne und Buche.

Stratum	Anzahl Proben	Schätzwert (sv-ha <sup>-1</sup> )					Standardfehler in %				
		K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4
		8-16 cm	16-28 cm	28-40 cm	40-52 cm	>52 cm	8-16 cm	16-28 cm	28-40 cm	40-52 cm	>52 cm
<b>Tanne</b>											
PL12	3	4	17	20	32	93	39.5	64.2	59.2	53.0	58.1
PL13	13	13	35	46	43	242	16.7	13.5	31.5	34.8	27.2
PL22	5	12	25	23	61	.	38.1	43.7	68.0	50.0	.
PL23	9	11	38	45	100	155	23.7	14.8	21.1	34.2	23.9
PL32	15	10	34	25	71	157	22.6	14.5	24.7	28.4	22.6
PL33	16	12	36	21	31	305	17.8	11.9	27.6	38.7	16.7
PL42	10	12	21	45	57	221	20.9	32.1	24.4	22.9	20.8
PL43	51	13	31	38	50	268	9.8	9.8	11.6	15.2	10.4
PL53	3	7	35	59	39	68	38.4	19.8	78.0	100.0	53.8
<b>Buche</b>											
PL12	3	2	.	8	13	.	100.0	.	100.0	100.0	.
PL13	13	1	.	1	.	.	52.0	.	100.0	.	.
PL22	5	3	2	4	.	.	61.1	100.0	100.0	.	.
PL23	9	3	3	2	.	.	37.4	45.8	100.0	.	.
PL32	15	3	3	8	2	.	38.9	36.3	76.6	100.0	.
PL33	16	3	2	6	2	.	17.8	60.4	58.4	100.0	.
PL42	10	0	3	.	.	.	100.0	58.3	.	.	.
PL43	51	1	1	.	1	.	26.0	41.0	.	100.0	.
PL53	3	1	.	.	.	.	100.0	.	.	.	.

Am Beispiel der Stärkeklasse K0 soll das je nach Untersuchungsgebiet unterschiedliche Verhalten des Standardfehlers gezeigt werden. In Schwarzenegg wird bei der Tanne in dieser Stärkeklasse die Grenze von 20% Fehler mit 10 Proben erreicht; bei der Buche reichen 50 Proben nicht aus. Im Toppwald dagegen sind bei der Tanne für die Erreichung dieser Grenze 15 Proben notwendig, bei der Buche 45 Proben (Abbildung 57). Verursacht werden die Unterschiede zwischen den beiden Gebieten nicht nur durch die unterschiedlichen Probeflächegrößen und Baumartenanteile, sondern vermutlich auch durch die unterschiedliche Homogenität der Bestände.

Werden **Teilpopulationen nach Durchmesserstufen** betrachtet, ergeben sich aufgrund der hohen Standardfehler für die Praxis oft unbrauchbare Schätzungen. Da eine solch feine Aufgliederung des Vorrats nicht üblich und für praktische Zwecke auch nicht nötig ist, wird an dieser Stelle auf die Darstellung der Schätzungen verzichtet. Vorgestellt werden nur die Standardfehler für die ausgewählten Baumarten Tanne und Buche. Bezogen auf den **Gesamtwald** und auf die Baumart Tanne liegt die 20%-Grenze des Standardfehlers in der Durchmesserstufe 86 cm (Schwarzenegg) bzw. 70 cm (Toppwald). Für die Buche lauten die entsprechenden Werte 26 cm (Schwarzenegg) bzw. 34 cm (Toppwald) (Abb. 58). Bezogen auf die einzelnen **End-Straten** sind die Standardfehler bei den **Durchmesserstufen** noch grösser und steigen noch steiler mit dem Durchmesser. Die meisten Schätzungen sind wegen ihres grossen Standardfehlers für die Praxis unbrauchbar.

Abb. 57: Standardfehler des Vorrats nach Stärkeklassen, Endstraten und Baumarten.

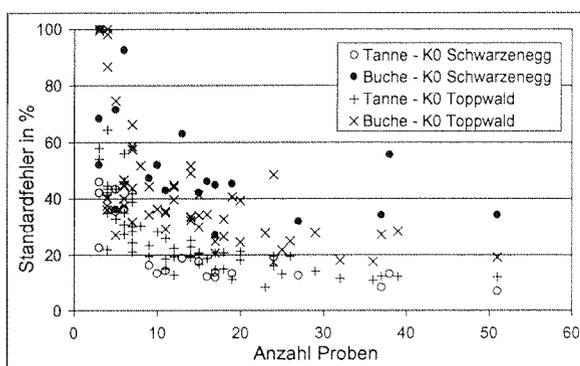
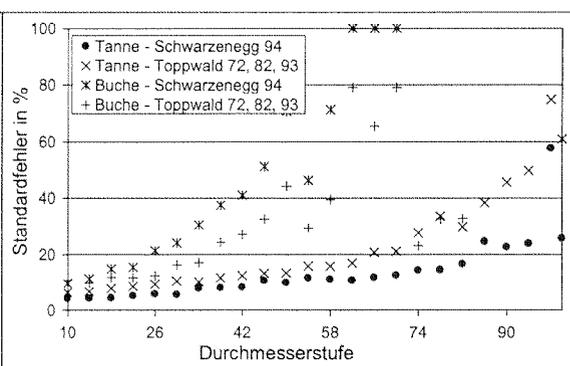


Abb. 58: Standardfehler des Vorrats des Gesamtwaldes nach Durchmesserstufen und Baumarten.



#### 4.3.2.5. Grundfläche

Bezogen auf den **Gesamtwald** und auf die **Gesamtpopulation** betragen die Schätzungen für die Grundfläche  $39,1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  (Schwarzenegg) bzw.  $36,1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  (Toppwald). Die Varianz ist in Schwarzenegg (1,7%) wegen der grösseren Probefläche und der höheren Zahl an Proben kleiner als im Toppwald (2,4%) (Tabelle 55). Bezogen auf einzelne **End-Straten** und die **Gesamtpopulation** wird die 10%- Grenze für den Standardfehler in Schwarzenegg mit 13 Proben und im Toppwald mit 15 Proben erreicht. Die Schätzwerte für die **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** und **Gesamtwald** sind in Tabelle 56 aufgeführt. Die Standardfehler bewegen sich je nach Stärkeklasse zwischen 2,5% und 4,5% (Schwarzenegg) bzw. 4,6% und 5,8% (Toppwald).

Tab. 55: Grundfläche für Gesamtwald und Gesamtpopulation.

Ort	Schwarzenegg		Toppwald	
	1994	1972	1982	1993
$\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$	39.1	36.1	34.4	36.1
Anzahl Proben	428		297	
SF in %	1.7	2.4	2.6	2.4
Variationskoeffizient	0.36	0.42	0.46	0.42

Bezogen auf die einzelnen **Endstraten** und auf **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** verhalten sich die Standardfehler sehr ähnlich den Standardfehlern bei der Zielgrösse Vorrat. Die Aussage gilt sinngemäss auch für die **Teilpopulationen nach Durchmesserstufen**.

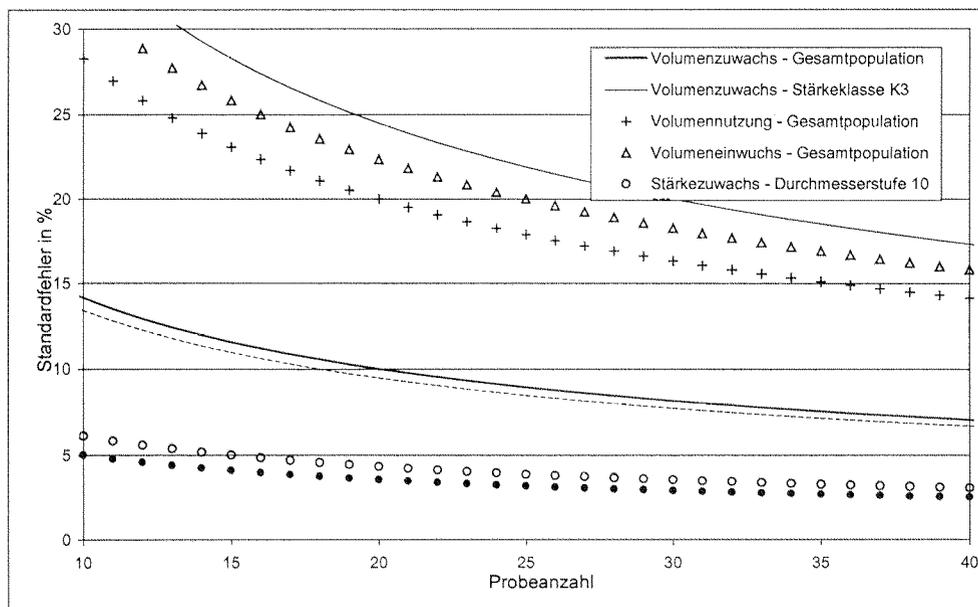
Tab. 56: Grundfläche für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen.

Gebiet	Schätzer - m <sup>2</sup> /ha					Standardfehler in %					Variationskoeffizient				
	Stärkeklasse	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3
BHD	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	16-28	28-40	40-52	>52
<b>Schwarzenegg 1994</b>	<b>2.2</b>	<b>4.2</b>	<b>4.8</b>	<b>7.1</b>	<b>20.8</b>	2.7	2.5	3.8	4.5	3.2	0.55	0.52	0.79	0.94	0.66
<b>Toppwald 1972</b>	<b>2.3</b>	<b>5.8</b>	<b>8.3</b>	<b>7.9</b>	<b>11.8</b>	4.7	5.3	5.6	6.0	6.5	0.81	0.91	0.97	1.03	1.12
<b>Toppwald 1982</b>	<b>1.9</b>	<b>4.3</b>	<b>7.5</b>	<b>8.3</b>	<b>12.5</b>	4.7	5.2	5.6	6.1	6.2	0.81	0.89	0.97	1.05	1.07
<b>Toppwald 1993</b>	<b>1.8</b>	<b>3.7</b>	<b>6.0</b>	<b>8.8</b>	<b>15.8</b>	4.6	4.7	5.8	5.4	5.3	0.79	0.81	1.00	0.94	0.91

### 4.3.2.6. Zusammenfassung der Zustandsdaten

Die vorhergehenden Kapitel beschäftigen sich hauptsächlich mit dem Verhalten der Standardfehler bei ausgewählten Zielgrößen. Bei Aussagen über die durchschnittlich zu erwartenden Standardfehler für ein End-Stratum muss beachtet werden, dass das Verhalten der Standardfehler in den einzelnen Straten, die in ihrer Homogenität sehr unterschiedlich sind, vom Durchschnitt in beide Richtungen erheblich abweichen kann. In Schwarzenegg (Probefläche: 5 Aren) sind für die Erreichung der 10%-Grenze des Standardfehlers folgende durchschnittliche Probeanzahlen notwendig: Gesamtvorrat 14 Proben, Gesamtstammzahl 12 Proben, Gesamtgrundfläche 13 Proben (Abbildung 59). Für kleinere Teilpopulationen kann der Standardfehler erheblich höher liegen. Im Toppwald (Probefläche: 4 Aren) werden zur Erreichung derselben Genauigkeit je nach Zielgrösse 2 bis 3 Proben mehr benötigt.

Abb. 59: Durchschnittliche erwartete Standardfehler für verschiedene Zustandsdaten und Populationen in Abhängigkeit von der Probeanzahl.



### 4.3.3. Entwicklungsdaten im Toppwald

#### 4.3.3.1. Stärkezuwachs

Die Schätzung des Durchmesserzuwachses in 1,3 m Höhe (BHD-Zuwachs) dient der Ermittlung der Ein- und Auswuchsraten im Modell. Der Zuwachs wird für einzelne Durchmesserstufen geschätzt. Die ermittelten Werte sind Anteilsschätzer, d.h. sie basieren auf Bäumen, die sowohl am Anfang als auch am Ende der betreffenden Inventurperiode existierten bzw. bei zwei aufeinander folgenden Inventuren gemessen werden konnten. In der Inventurperiode eingewachsene oder genutzte Bäume wurden nicht in die Berechnung einbezogen.

Die Schätzungen des Durchmesserzuwachses für die erste Periode ergibt für den **Gesamtwald** eine flache symmetrische Kurve. Sie beginnt bei der Durchmesserstufe 10 cm mit einem Zuwachs von 0,2 cm pro Jahr und steigt allmählich bis zu einer sehr flachen Kulmination bei Durchmesserstufe 58 cm mit 0,4 cm pro Jahr. Danach sinkt die Kurve wieder allmählich, um bei der Stufe 102 cm unter 0,2 cm pro Jahr zu fallen.

Die Zuwächse in der zweiten Periode sind signifikant höher und der Verlauf unterscheidet sich von der Kurve der ersten Periode: Die Kurve beginnt bei der Durchmesserstufe 10 cm mit einem Zuwachs von 0,3 cm pro Jahr. Danach steigt sie steil bis zur Durchmesserstufe 30 cm, die einen Zuwachs von rund 0,55 cm pro Jahr aufweist. Ab hier bis zur Durchmesserstufe 90 cm bleibt der Zuwachs mehr oder weniger konstant hoch. Die Zuwachskurve erreicht zwar bei der Stufe 58 cm ihren höchsten Betrag, sie zeigt jedoch nur eine extrem flache Kulmination. Ab der Durchmesserstufe 90 cm sinkt die Kurve, aber nicht so stark wie bei der ersten Periode und nie unter den Betrag der Durchmesserstufe 10 cm (0,3 cm pro Jahr) (Abbildung 60).

Abb. 60: Stärkezuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.

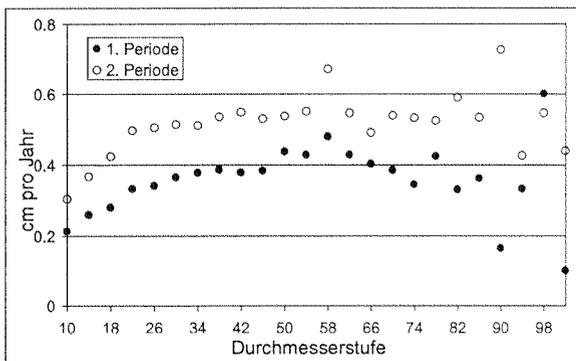
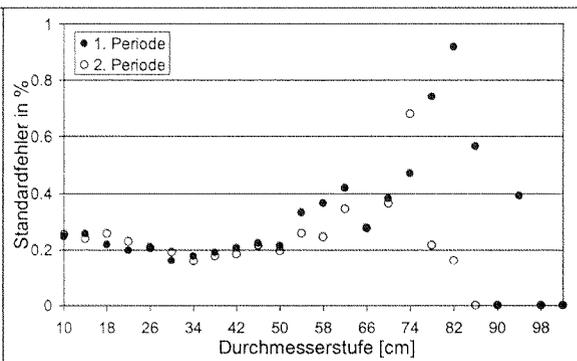


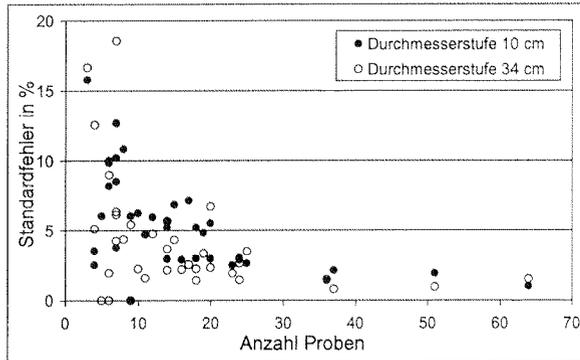
Abb. 61: Standardfehler des Stärkezuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.



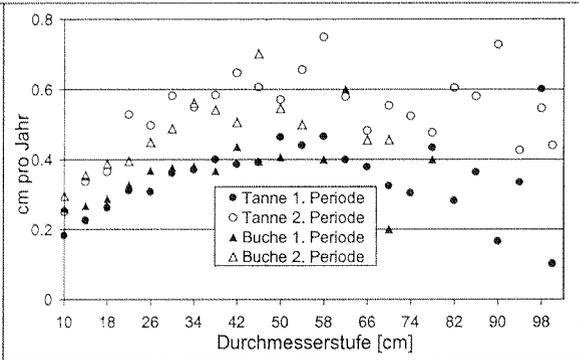
Die Schätzungen des Durchmesserzuwachses gehören zu den genauesten Daten, die aus der Kontrollstichprobe gewonnen werden. Der Standardfehler (297 Proben) übersteigt nur ausnahmsweise 1% und zeigt, bezogen auf die einzelnen Durchmesserstufen, ein anderes Verhalten als bei den Zustandsdaten (Abschnitt 4.3.2.). In der Durchmesserstufe 10 cm liegt der Fehler um 0,3% der Schätzung. Mit steigendem Durchmesser sinkt er zunächst unter 0,2%. Ab der Durchmesserstufe 34 cm verhält sich der Standardfehler ähnlich wie bei den Zustandsdaten und steigt mit dem Durchmesser fast exponentiell. Die Ursache für diesen Anstieg ist die immer geringer werdende Zahl an Bäumen. Der relativ grosse Standardfehler in den kleinen, stammzahlreichen Durchmesserstufen unterhalb der Stufe 34 cm ist darauf zurückzuführen, dass der Zuwachs einzelbaumweise sehr unterschiedlich ist (Abbildung 61). Zwischen der ersten und der zweiten Periode konnten keine Unterschiede im Verhalten des Standardfehlers nach Durchmesserstufe gefunden werden.

Ist ein einzelnes **End-Stratum** die Auswerteeinheit, steigt der Standardfehler erheblich. Die Schätzung des Durchmesserzuwachses bleibt trotzdem aus allen erhobenen Daten die sicherste. Beispielsweise könnte bei den Durchmesserstufen 10 cm (34 cm) mit 10 (15) Proben mehr ein Standardfehler von 5% erreicht werden (Abbildung 62).

**Abb. 62:** Standardfehler des Stärkezuwachses nach Durchmesserstufen und Endstraten.



**Abb. 63:** Stärkezuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten.



Frühere Inventuren im Raum Schwarzenegg haben festgestellt, dass **Tanne** und **Buche** sich im Durchmesserzuwachs unterschiedlich verhalten (Abschnitt 3.1.4.5., Abbildung 2). Im Toppwald dagegen haben sich die beiden Baumarten ähnlich verhalten (Abbildung 63). Lediglich bei Durchmessern über 50 cm ist bei der Buche eine Tendenz zu kleineren Zuwächsen als bei der Tanne festzustellen. Die geringe Zahl an Bäumen in diesen Dimensionen erlaubt aber keine gesicherten Aussagen. Im Hinblick auf Unterschiede zwischen den Perioden verhalten sich die beiden Baumarten wie alle anderen Baumarten auch. Der Standardfehler (bei 297 Proben) überschreitet nur in einigen hohen Durchmesserstufen die 1%-Grenze. Bei der Tanne wird der kleinste Standardfehler (0,2%) bei der Durchmesserstufe 30 cm erreicht. Bei der Buche liegen die Standardfehler etwa 0,5% höher als bei der Tanne. Mit Ausnahme dieser Besonderheiten ist der Verlauf der Standardfehler identisch mit demjenigen für alle Baumarten (Abbildung 64).

Bezogen auf einzelne **End-Straten** wurde die 5%-Grenze für den Standardfehler bei Tanne um 15 Proben, bei Buche um 20 Proben unterschritten.

#### 4.3.3.2. Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes

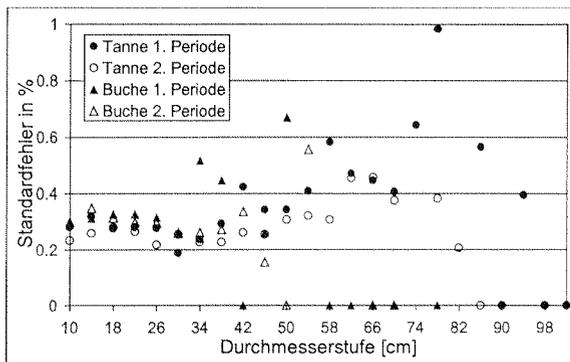
Ausgehend von Bäumen, die bei beiden Inventuren gemessen wurden, liegen die Schätzwerte für den Volumenzuwachs des **Gesamtwaldes** und der **Gesamtpopulation** in der ersten Periode bei  $9,4 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, in der zweiten Periode bei  $12,3 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Der Standardfehler beträgt in beiden Perioden 2,4% (Tabelle 57).

**Tab. 57:** Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Anfangsbestandes für Gesamtwald und Gesamtpopulation. Beispiel Toppwald.

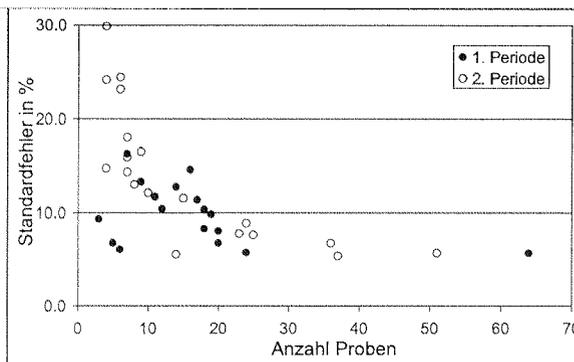
	Schätzung ( $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$ pro Jahr)	Standardfehler in %	Variationskoeffizient
1. Periode (1972 – 1982)	9.4	2.4	0.42
2. Periode (1982 – 1993)	12.3	2.4	0.41

Die Schätzwerte für einzelne **End-Straten** der **Gesamtpopulation** schwanken in der ersten Periode von  $7,6$  bis  $13,1 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, in der zweiten Periode von  $5,4$  bis  $14,8 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Die Grenze von 10% Standardfehler wird in beiden Perioden mit ungefähr 20 Proben erreicht (Abbildung 65).

**Abb. 64:** Standardfehler des Stärkezuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten.



**Abb. 65:** Standardfehler des Volumenzuwachses der Gesamtpopulation nach Endstraten.



Die Schätzwerte für **Teilpopulationen nach Stärkeklassen im Gesamtwald** sind in Tabelle 58 aufgeführt. Die Standardfehler für einzelne Perioden unterscheiden sich mit 6,1% bis 8,1% je nach Stärkeklasse nur wenig. Der grösste Standardfehler scheint in der untersten Stärkeklasse K0 zu sein, die den kleinsten Volumenzuwachs leistet. Der Variationskoeffizient ist in beiden Perioden ungefähr gleich hoch. Anders als bei den Zustandsdaten zeichnet sich hier keine Verringerung des Variationskoeffizienten ab, was auf eine höhere Bestandeshomogenität schliessen liesse. Die Stärkeklasse K2 weist den kleinsten Variationskoeffizienten auf. Ab dieser Klasse steigt der Variationskoeffizient langsam, und zwar sowohl in Richtung niedrigerer als auch höherer Stärkeklassen.

**Tab. 58:** Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen. Beispiel Toppwald.

Stärkeklasse	Schätzung (sv·ha <sup>-1</sup> pro Jahr)					Standardfehler in %					Variationskoeffizient				
	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4
BHD	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	16-28	28-40	40-52	>52
1.Periode (1972-1982)	0.8	2.0	2.6	2.0	1.9	7.2	6.5	5.8	6.5	7.1	1.25	1.12	1.01	1.11	1.22
2.Periode (1982-1993)	1.2	2.4	3.1	2.8	2.8	8.1	6.7	6.1	6.9	6.9	1.40	1.16	1.06	1.18	1.19

In den einzelnen **End-Straten** schwanken die Schätzwerte für **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** erheblich. In Tabelle 59 sind maximale und minimale Schätzungen mit ihren Fehlern dargestellt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Straten sind in der zweiten Periode grösser als in der ersten Periode. Auch der Zuwachs ist in der zweiten Periode in der Mehrheit der Straten ein höherer. Bei dieser Aussage muss jedoch beachtet werden, dass die Straten nicht direkt vergleichbar sind, denn die Proben gehören infolge von Änderungen bei der Stratenzugehörigkeit teilweise anderen Straten an als zuvor bzw. die Straten enthalten bei jeder Inventur teilweise unterschiedliche Proben. Die bei den Zustandsdaten beobachtete Abhängigkeit zwischen der Höhe der Standardfehler und der Stärkeklasse konnte hier nicht festgestellt werden. Unabhängig von der Stärkeklasse werden für einen Standardfehler von 20% ungefähr 25 Proben benötigt und damit wesentlich mehr als im Fall der Zustandsdaten. Abbildung 66 zeigt am Beispiel der Stärkeklassen K0 und K3, dass das Niveau der Standardfehler in beiden Perioden ungefähr gleich ist.

**Tab. 59:** Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes für einzelne Endstraten und einzelne Stärkeklassen. Nur maximale und minimale Werte aus Endstraten sind dargestellt. Beispiel Toppwald.

Stärkeklasse	Schätzung (sv·ha <sup>-1</sup> pro Jahr)					Standardfehler in %					Variationskoeffizient					
	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4	
	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	16-28	28-40	40-52	>52	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1.Periode	0.2	0.8	0.6	0.5	0.4	16.5	13.2	13.6	15.4	16.5	0.65	0.70	0.42	0.60	0.81	
	1.6	4.7	7.9	2.9	3.5	50.2	63.7	68.6	53.7	100.0	1.49	1.69	1.71	1.43	2.45	
2.Periode	0.3	0.4	0.9	.	.	13.1	14.0	11.1	10.1	15.4	0.52	0.41	0.32	0.61	0.49	
	4.2	6.2	6.1	5.7	5.7	72.1	81.6	86.6	91.3	86.6	1.91	2.00	1.73	2.24	1.91	

Abb. 66: Standardfehler des Volumenzuwachses nach Stärkeklassen und Endstraten.

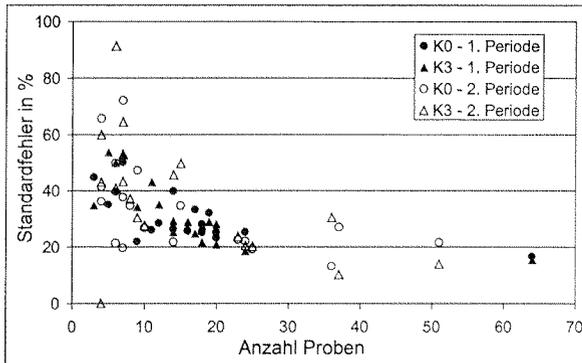
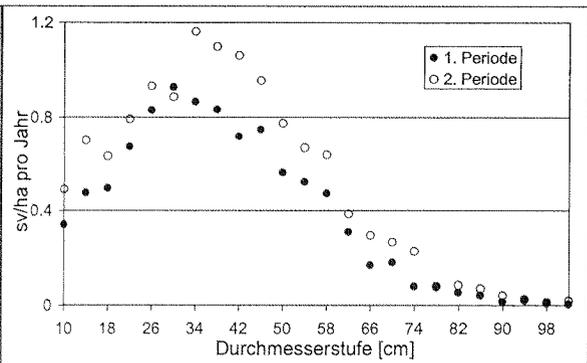


Abb. 67: Volumenzuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.



Die Schätzwerte für den Volumenzuwachs der Teilpopulationen nach Durchmesserstufen ergeben für den Gesamtwald eine Kurve, die der Kurve des laufenden Zuwachses ähnelt (Abbildung 67). Nach dieser Schätzung wurde der Kulminationspunkt der ersten Periode in der Durchmesserstufe 30 cm mit  $0,93 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr erreicht, in der zweiten Periode in der Durchmesserstufe 34 cm mit  $1,16 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Perioden sind zwar deutlich sichtbar, bezogen auf einzelne Durchmesserstufen aber nicht signifikant. Erstaunlich ist, dass sich der Kulminationspunkt der weiter oben verlaufenden Kurve nicht nach links, sondern nach rechts, in höhere Durchmesserstufen, zu verlagern scheint. Im schlagweisen Wald dagegen verlagert sich bei höherem Zuwachs der Kulminationspunkt nach links, in Richtung jüngerer Altersstufen. In den einzelnen Durchmesserstufen sind die Standardfehler mit 10% relativ konstant. Erst ab der Stufe 50 cm steigen sie fast exponentiell an (Abbildung 68). Hinsichtlich der Standardfehler in den einzelnen Durchmesserstufen wurden zwischen der ersten und der zweiten Periode keine Unterschiede festgestellt.

Abb. 68: Standardfehler des Volumenzuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.

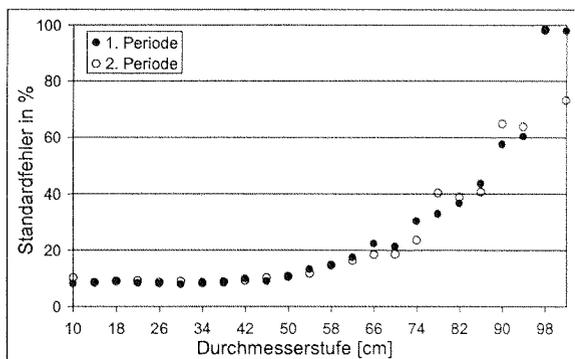
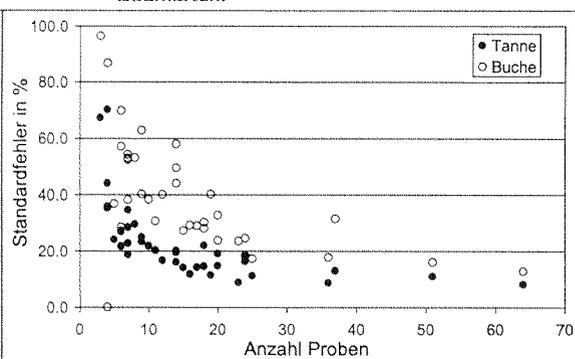


Abb. 69: Standardfehler des Volumenzuwachses der Gesamtpopulation nach Endstraten und Baumarten.



#### 4.3.3.3. Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes nach Baumarten

Die Schätzwerte für den baumartenweisen Volumenzuwachs und ihre Fehler werden am Beispiel von Tanne und Buche vorgestellt. Bei der Tanne ist der Volumenzuwachs für die Gesamtpopulation im Gesamtwald von  $4,3 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr in der ersten Periode auf  $6,0 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr in der zweiten Periode gestiegen, bei der Buche von  $0,9 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr auf  $1,1 \text{ sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr (Tabelle 60). Der Standardfehler dagegen hat sich nicht stark verändert. Bei der Tanne

liegt er im Bereich um 4%, bei der Buche um 7,9%. Der Variationskoeffizient ist bei beiden Baumarten in der zweiten Periode unwesentlich gesunken.

**Tab. 60:** Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes für Gesamtwald und Gesamtpopulation nach Baumart. Beispiel Toppwald, Tanne und Buche.

	Tanne			Buche		
	sv·ha <sup>-1</sup> pro Jahr	SF in %	VK	sv·ha <sup>-1</sup> pro Jahr	SF in %	VK
1. Periode	4.3	4.2	0.72	0.9	7.9	1.36
2. Periode	6.0	4.0	0.69	1.1	7.9	1.34

Bezogen auf einzelne **End-Straten** der **Gesamtpopulation** wird die Grenze von 20% Standardfehler in beiden Perioden bei der Tanne mit 13 Proben erreicht, bei der Buche mit rund 35 Proben (Abbildung 69).

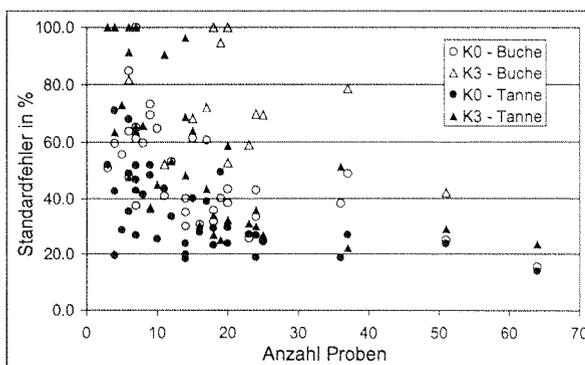
Der Volumenzuwachs der **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** im **Gesamtwald** ist bei Tanne und Buche in der zweiten Periode in allen Stärkeklassen gestiegen (Tabelle 61). Bei der Buche nimmt der Standardfehler mit der Stärkeklasse fast exponentiell zu. Grund ist die mit dem Durchmesser stark abnehmende Zahl von Bäumen. Bei der Tanne ist der Standardfehler der ersten drei Stärkeklassen (K0, K1, K2) mit Werten zwischen 8,0 und 8,9% praktisch gleich geblieben, die Stärkeklassen K3 und K4 dagegen haben leicht höhere Standardfehler. Diese Aussage gilt auch für den Variationskoeffizienten.

**Tab. 61:** Volumenzuwachs an den verbleibenden Bäumen des Ausgangsbestandes für Gesamtwald und einzelne Stärkeklassen nach Baumart. Beispiel Toppwald.

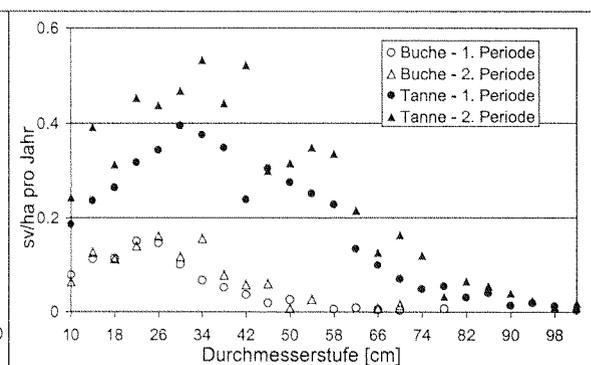
Baumart	Stärkeklasse	Schätzung (sv·ha <sup>-1</sup> pro Jahr)					Standardfehler in %					Variationskoeffizient				
		BHD	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3	K4	K0	K1	K2	K3
		8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	-28	-40	-52	>52	8-16	16-28	28-40	40-52	>52
Tanne	1.Periode	0.4	0.9	1.1	0.8	1.0	8.1	8.0	8.0	9.9	9.5	1.39	1.37	1.38	1.70	1.64
	2.Periode	0.6	1.2	1.4	1.1	1.5	8.9	8.1	8.8	10.6	9.3	1.53	1.39	1.52	1.82	1.59
Buche	1.Periode	0.2	0.4	0.2	0.1	0.0	9.7	10.3	16.8	26.7	45.8	1.67	1.77	2.89	4.60	7.89
	2.Periode	0.2	0.4	0.3	0.1	0.0	11.3	9.9	15.6	28.2	38.0	1.95	1.71	2.69	4.86	6.55

Das Beispiel von Tannen und Buchen der Stärkeklassen K0 und K3 erläutert die Standardfehler der Schätzwerte für **Teilpopulationen nach Stärkeklassen** und für einzelne **End-Straten**. Bei der Stärkeklasse K0 der Tanne wird die Grenze von 20% Standardfehler mit rund 50 Proben erreicht. Bei der Buche wird diese Grenze erst mit rund 70 Proben erreicht. In der Stärkeklasse K3 ist eine noch höhere Zahl an Proben notwendig. Bei der Tanne sind es 70 Proben und bei der Buche wird diese Grenze auch mit hoher Probezahl nicht erreicht (Abbildung 70).

**Abb. 70:** Standardfehler des Volumenzuwachses nach Stärkeklassen, Endstraten und Baumarten.



**Abb. 71:** Volumenzuwachs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten.



Der geschätzte Volumenzuwachs für einzelne **Teilpopulationen nach Durchmesserstufen** im **Gesamtwald** ergibt bei Tanne und Buche jeweils eine Kurve, die der Kurve des laufenden Zuwachses ähnlich sieht. Die Kurve der Tanne erreicht ihren Kulminationspunkt in den Durchmesserstufen 30 und 34 cm mit einem Wert von 0,4–0,5  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, die Kurve der Buche in der Stufe 26 cm mit einem Wert von 0,15  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Der Volumenzuwachs ist in der zweiten Periode deutlich grösser als in der ersten Periode (Abbildung 71). Allerdings sind die Unterschiede wegen der grossen Varianz nicht signifikant. Unter die Grenze von 10% Fehler sinkt der Standardfehler nur bei Tanne und nur in der niedrigsten Durchmesserstufe (297 Proben, Abbildung 72). Bei der Tanne wird die 20%-Grenze in der Durchmesserstufe 58 cm überschritten, bei der Buche schon ab der Durchmesserstufe 30 cm. Die Standardfehler sind in beiden Perioden etwa gleich gross.

Die Standardfehler für **Teilpopulationen nach Durchmesserstufen** überschreiten in einzelnen **Endstraten** oftmals 40%. Erst mit mehr als 60 Proben und nur bei niedrigen Durchmesserstufen der Tanne sinkt der Standardfehler unter 20%.

#### 4.3.3.4. Einwuchs

Der auf die **Gesamtpopulation** und den **Gesamtwald** bezogene Stammzahleinwuchs beträgt für die erste Periode 10,3  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr und für die zweite Periode 11,4  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Der Standardfehler liegt bei 6,5% bzw. bei 5,3% der Schätzung.

Für die einzelnen **End-Straten** der **Gesamtpopulation** liegen die Schätzwerte für die erste Periode zwischen 3,4 und 20,3  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr und für die zweite Periode zwischen 5,8 und 24,5  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Die Standardfehler sind in beiden Perioden ungefähr gleich hoch. Sie erreichen die Grenze von 20% mit rund 20 Proben (Abbildung 73).

Abb. 72: Standardfehler des Volumenzuwachses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen und Baumarten.

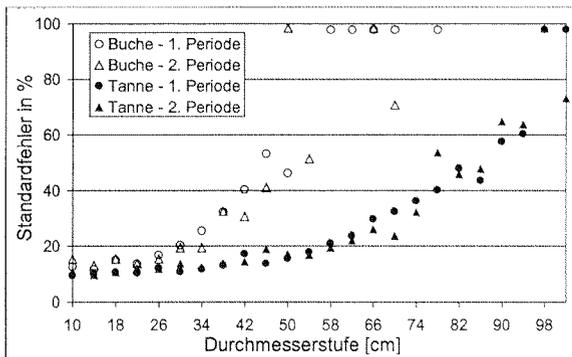
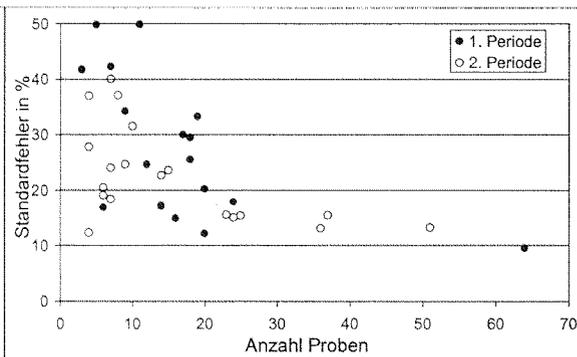
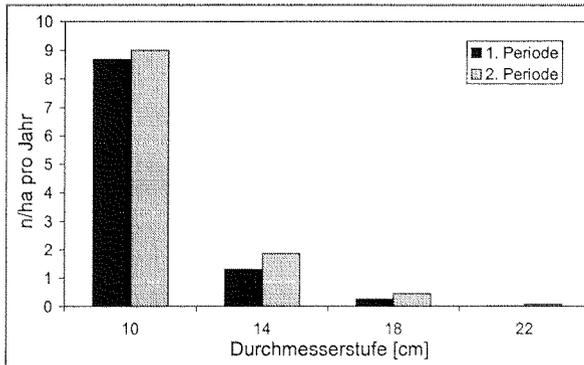
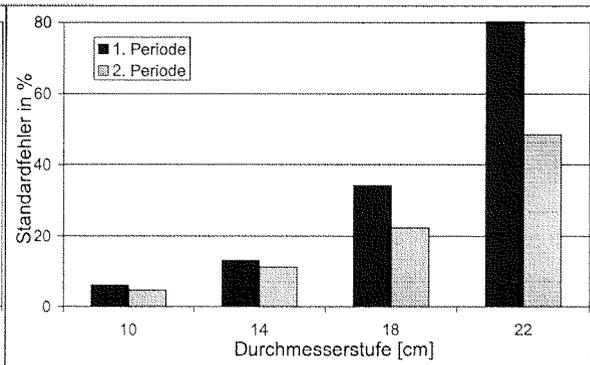


Abb. 73: Standardfehler des Stammzahleinwachses der Gesamtpopulation nach Endstraten.



In den **Teilpopulationen nach Durchmesserstufen** im **Gesamtwald** sinkt der Stammzahleinwuchs mit steigender Durchmesserstufe schnell. Der zahlenmässig grösste Einwuchs entfällt verständlicherweise auf die Durchmesserstufe 10 cm. Er beträgt in der ersten Periode 8,7  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, in der zweiten Periode 9,0  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. In der Durchmesserstufe 14 cm ist er mit 1,3 bzw. 1,9  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr wesentlich kleiner (Abbildung 74). Der Einwuchs in noch höhere Durchmesserstufen ist sehr gering. Ausserdem besteht in hohen Durchmesserstufen eine gewisse Unsicherheit, ob der Einwuchs tatsächlich durch eingewachsene Bäume oder durch ehemals „vergessene“ Bäume gebildet wird. Infolge einer kleineren Zahl eingewachsener Bäume ist der Standardfehler in der ersten Periode grösser als in der zweiten Periode. In der Durchmesserstufe 10 cm erreicht der Standardfehler Werte von ungefähr 5%, in der Durchmesserstufe 14 cm übertrifft er bereits die 10%-Grenze (Abbildung 75).

**Abb. 74:** Stammzahleinwuchs im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.**Abb. 75:** Standardfehler des Stammzahleinwuchses im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.

Bei der Tanne ist der auf die **Gesamtpopulation** im **Gesamtwald** bezogene Stammzahleinwuchs in beiden Perioden mit 5,6 bzw. 5,7  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr ungefähr gleich geblieben. Bei der Buche dagegen ist der Einwuchs von 1,6 auf 1,2  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr gesunken. Von der ersten zur zweiten Periode ist der Standardfehler bei der Tanne von 8,3 % auf 6,1 % gesunken, bei der Buche von 11,4 % auf 12,9 % gestiegen.

Der Volumeneinwuchs der **Gesamtpopulation** im **Gesamtwald** beträgt in der ersten Periode 0,62  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, in der zweiten Periode 0,58  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Der Standardfehler (297 Proben) liegt bei 14,8% bzw. 9,3%. Für die einzelnen **End-Straten** der **Gesamtpopulation** liegen die Schätzwerte für die erste Periode zwischen 0,06 und 1,90  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, für die zweite Periode zwischen 0,18 und 2,70  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Die Standardfehler waren in beiden Perioden ungefähr gleich hoch. Die Grenze von 20% Fehler wird mit rund 25 Proben erreicht.

#### 4.3.3.5. Nutzung nach Stammzahl

Die dargestellte Nutzung basiert nur auf Bäumen, die am Anfang der Periode Teil der Stichprobe waren. Bäume, die innerhalb einer Inventurperiode die Kluppschwelle überschritten und genutzt wurden, sind nicht berücksichtigt.

Die Nutzung für die **Gesamtpopulation** im **Gesamtwald** wird in der ersten Periode auf 17,3  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, in der zweiten Periode auf 12,1  $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr geschätzt. Der Standardfehler (297 Proben) liegt bei 3,9% bzw. 4,2% der Schätzung.

In einzelnen **End-Straten** der **Gesamtpopulation** wird die 20%-Grenze für den Standardfehler mit rund 20 Proben erreicht. Die Standardfehler waren in beiden Perioden ungefähr gleich hoch.

Die geschätzten Nutzungen nach **Durchmesserstufen** im **Gesamtwald** stellen in halblogarithmischer Form annähernd eine Gerade dar. Die stammzahlmäßig grösste Nutzung findet in der kleinsten Durchmesserstufe statt. Mit steigender Durchmesserstufe nimmt die Nutzung exponentiell ab (Abbildung 76). In der zweiten Periode verlagern sich die Nutzungen tendenziell in höhere Durchmesserstufen, die Kurve wird flacher. Der Standardfehler (297 Proben) nimmt mit steigender Durchmesserstufe kontinuierlich zu. In beiden Perioden überschreitet er die 10%-Grenze des Standardfehlers etwa bei der Durchmesserstufe 22 cm bzw. die 20%-Grenze bei der Durchmesserstufe 50.

Abb. 76: Stammzahlnutzung im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.

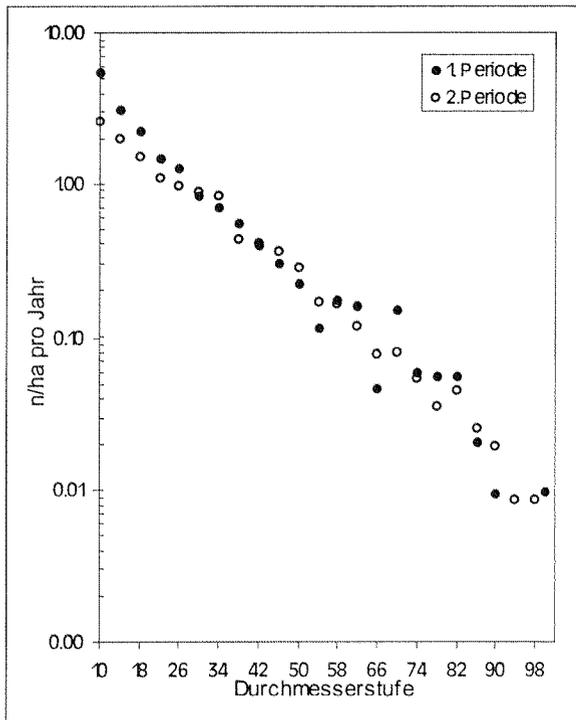
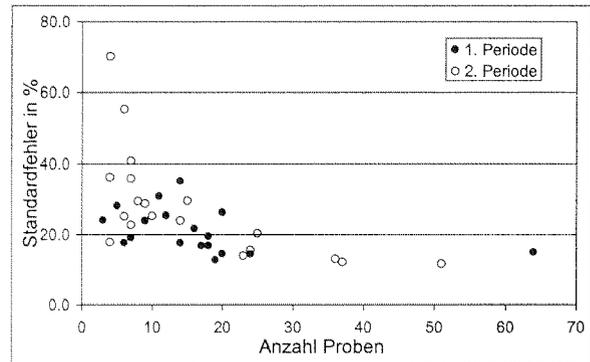


Abb. 77: Standardfehler der Volumennutzung der Gesamtpopulation nach Endstraten.



#### 4.3.3.6. Nutzung nach Volumen

Die hier beschriebene Nutzung nach Volumen rechnet mit dem Volumen am Beginn der Periode. Der Zuwachs zwischen Beginn der Periode und dem Zeitpunkt der Nutzung bleibt, da nicht gemessen, unberücksichtigt. Auch das genutzte Volumen von Bäumen, die erst im Laufe der betreffenden Periode eingewachsen sind, ist in den Zahlen nicht enthalten.

Die Nutzung für die **Gesamtpopulation** im **Gesamtwald** beträgt in der ersten Periode 11,3  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, in der zweiten Periode 10,6  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Der Standardfehler (297 Proben) liegt bei 5,6% und 5,0% der Schätzung.

Die Schätzwerte für die einzelnen **Endstraten** der **Gesamtpopulation** liegen in der ersten Periode zwischen 7,0 und 18,9  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr, in der zweiten Periode zwischen 2,3 und 11,9  $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$  pro Jahr. Die Standardfehler sind in beiden Perioden ungefähr gleich hoch, und die Grenze von 20% Standardfehler wird mit ungefähr 20 Proben erreicht (Abbildung 77).

Die grösste Volumennutzung im **Gesamtwald** erfolgte erwartungsgemäss in der **Stärkeklasse** K4, die niedrigste in der Stärkeklasse K0. Die Nutzungen in den Klassen K1-K3 liegen zwischen den beiden Extremwerten, wobei die Klassen K2 und K3 etwa gleich hohe Nutzungen aufweisen. Während die Nutzungen in den Klassen K0, K1 und K4 in der zweiten Periode tiefer liegen als in der ersten, weisen die Klassen K2 und K3 eine in der zweiten Periode höhere bzw. gleich hohe Nutzung aus (Abbildung 78). Die prozentuale Verteilung der Nutzungen auf einzelne Stärkeklassen zeigt, dass die Nutzungen vermehrt in den Stärkeklassen K2 und K3 stattfanden. Von der Stärkeklasse K4 wurde in beiden Perioden relativ gleich viel genutzt. Die Stärkeklassen K0 und K1 wurden in der zweiten Periode relativ weniger genutzt als in der ersten Periode (Abbildung 79). Infolge einer geringer werdenden Zahl an Bäumen steigt der Standardfehler (297 Proben) mit der Stärkeklasse: Während er in der Stärkeklasse K0 7% beträgt, überschreitet er in den Stärkeklassen K3 und K4 die 10%-Grenze (Abbildung 80).

Abb. 78: Volumennutzung im Gesamtwald nach Stärkeklassen.

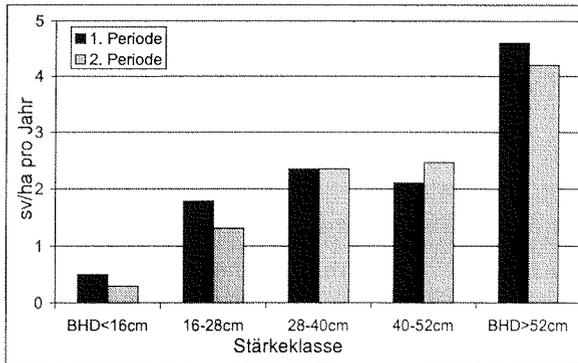


Abb. 79: Verteilung der Volumennutzungen nach Stärkeklassen.

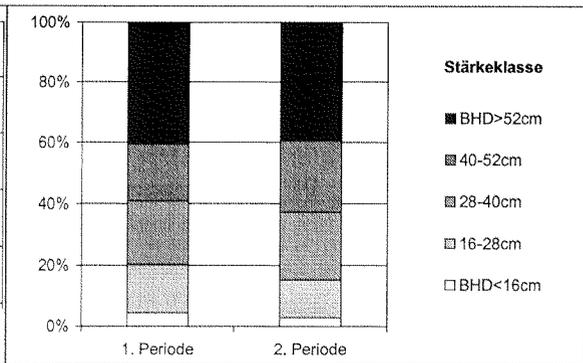


Abb. 80: Standardfehler der Volumennutzung im Gesamtwald nach Stärkeklassen.

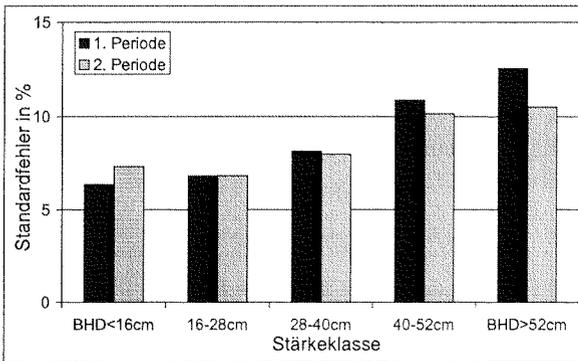


Abb. 81: Standardfehler der Volumennutzung nach Stärkeklassen und Endstraten.

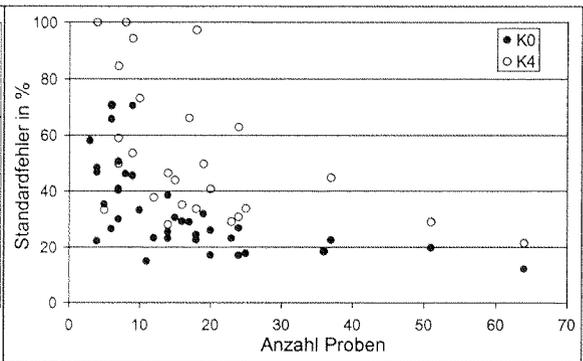


Abb. 82: Volumennutzung im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.

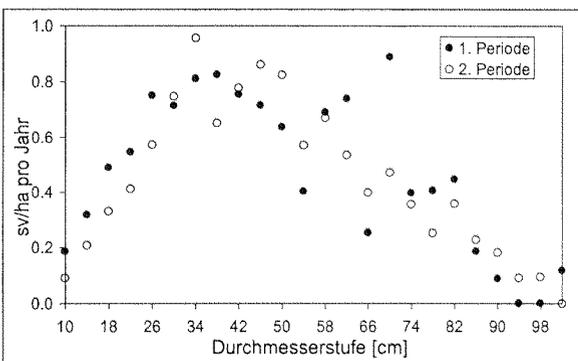
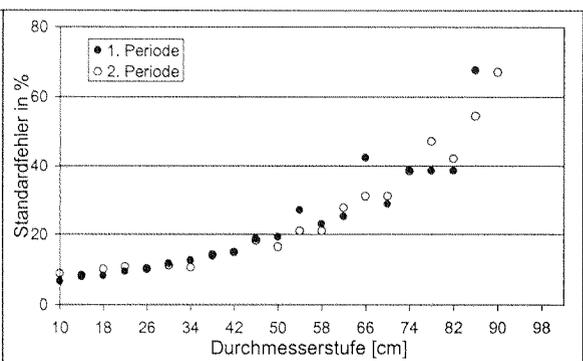


Abb. 83: Standardfehler der Volumennutzung im Gesamtwald nach Durchmesserstufen.



Die Schätzwerte für **einzelne Stärkeklassen** schwanken in den einzelnen **End-Straten** im vergleichbaren Ausmass wie bei der Gesamtpopulation. Für beide Perioden gilt, dass der Standardfehler von 20% in der Stärkeklasse K0 mit ungefähr 30 Proben erreicht wird, in der Stärkeklasse K4 mit rund 60 Proben (Abbildung 81).

Die geschätzten Nutzungen pro **Durchmesserstufe** des **Gesamtwaldes** bilden eine links asymmetrische Kurve (Abbildung 82). Ihr Kulminationspunkt liegt bei der Durchmesserstufe 38 cm mit 0,85 sv·ha<sup>-1</sup> pro Jahr. Für die zweite Periode ist die Kurve der Nutzungen tendenziell nach rechts verschoben, d.h. die Nutzungen erfolgten in höheren Durchmesserstufen. Der

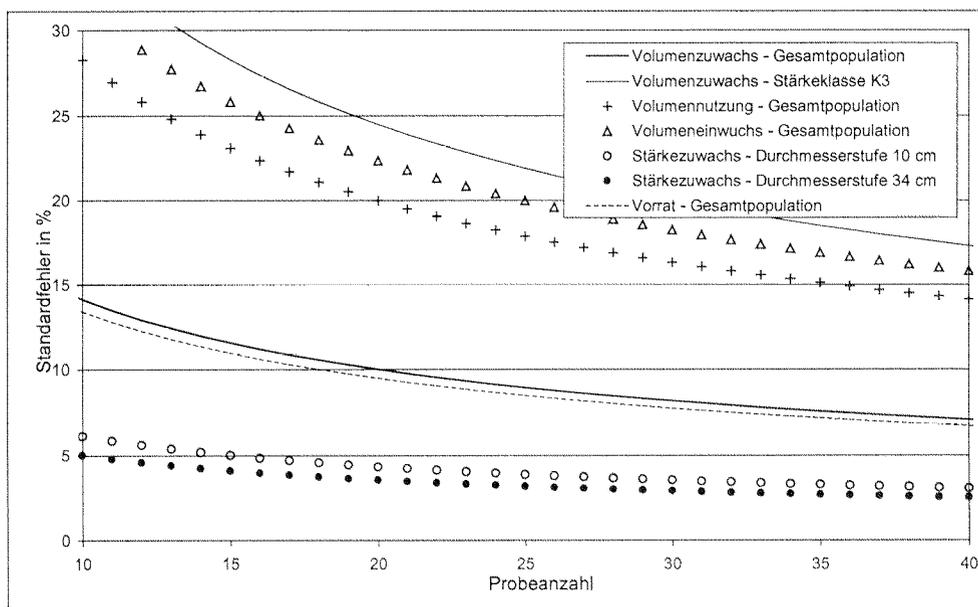
Vergleich der Kurven zeigt auch, dass die Nutzungen in der zweiten Periode insgesamt niedriger waren. Der Standardfehler (297 Proben) nimmt mit steigender Durchmesserstufe exponential zu. Die Grenze von 10% des Standardfehlers wird bei der Durchmesserstufe 26 cm überschritten. Oberhalb der Durchmesserstufe 50 cm beträgt der Standardfehler mehr als 20% (Abbildung 83).

#### 4.3.3.7. Entwicklungsdaten - Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Daten zur Bestandesentwicklung sind nicht identisch mit den gleichnamigen Angaben aus der herkömmlichen Kontrollmethode (Abschnitt 2.1.2.). Der Zuwachs der vorliegenden Arbeit meint nur den Zuwachs an den verbleibenden Bäumen des Anfangsbestandes. Ähnliche Einschränkungen, die aus der Methodik der Kontrollstichprobe hervorgehen, gelten auch für den Einwuchs und die Nutzung.

Aus den obenstehenden Resultaten kann der durchschnittliche erwartete Standardfehler eines End-Stratums ermittelt werden. Er ist in jedem Fall nur eine grobe Annäherung an den tatsächlichen Standardfehler, der in den einzelnen Straten sehr unterschiedliche Werte annehmen kann. Für das Untersuchungsgebiet Toppwald mit seinen 4 Aren grossen Probestflächen sind in Tabelle 62 und in Abbildung 84 einige Beispiele aufgeführt. Die Zahlen zeigen, dass die Standardfehler für Entwicklungsdaten in der Regel höher sind als die Fehler für Zustandsdaten. Besonders die Werte für den Einwuchs und die Nutzung weisen hohe Standardfehler auf. Beim Zuwachs dagegen liegt der Fehler nur wenig höher als bei vergleichbaren Zustandsdaten. Eine Ausnahme unter den Entwicklungsdaten bildet der Stärkezuwachs, der unter vergleichbaren Bedingungen sehr niedrige Standardfehler aufweist.

Abb. 84: Durchschnittliche erwartete Standardfehler für verschiedene Entwicklungsdaten in Abhängigkeit von der Probenanzahl



**Tab. 62:** Durchschnittliche erwartete Probenanzahl in einem Endstratum für die Erreichung eines bestimmten Standardfehlers bei unterschiedlichen Entwicklungsdaten und Populationen. Beispiel: Probenflächengröße 4 Aren im Gebiet Toppwald. Als Vergleich ist der Vorrat als ein Vertreter für die Zustandsdaten beigefügt.

	Population	Standardfehler in %	durchschnittliche Probenanzahl für die Erreichung angegebenen Standardfehlers
<b>Volumenzuwachs</b>	Gesamtpopulation	10	20
<b>Stammzahleinwuchs</b>		20	20
<b>Volumeneinwuchs</b>			25
<b>Stammzahlnutzung</b>			20
<b>Volumennutzung</b>			20
<b>Volumenzuwachs</b>	Stärkeklassen – alle		30
<b>Volumennutzung</b>	Stärkeklasse K0	30	
	Stärkeklasse K4	60	
<b>Stärkezuwachs</b>	Durchmesserstufe 10 cm	5	15
	Durchmesserstufe 34 cm		10
<b>Vorrat</b>	Gesamtpopulation	10	18

## 5. Diskussion

### 5.1. Optimales Stichprobendesign

#### 5.1.1. Zufällige und systematische Stichproben, Probenetz

Die Resultate (Abschnitt 4.1.1.) zeigen, dass die zufälligen Stichproben den wahren Wert sowohl bei verschiedenen Probeflächengrößen als auch bei verschiedenen Probedichten richtig schätzen. Bei systematischen Stichproben dagegen bestehen Unterschiede zwischen den Schätzungen des Mittelwertes und dem wahren Wert, die vom Seitenverhältnis im Probenetz abhängen. Beim quadratischen Netz mit einem Seitenverhältnis 1:1 tritt noch keine Verzerrung auf. Mit steigendem Seitenverhältnis wird aber eine immer grösser werdende Überschätzung festgestellt, die sich beim Seitenverhältnis 1:10 im Bereich von 1% des wahren Wertes bewegt. Während eine steigende Probedichte diese Verzerrung verringert, hat die Probeflächengröße keinen Einfluss auf die Verzerrung der Mittelwerte.

Aus der Varianzanalyse geht hervor, dass bei systematischen Stichproben die Schätzung der Varianz nach der Zufallsformel die wahre Varianz überschätzt, wenn das Seitenverhältnis im Probenetz kleiner als 1:4 ist. Im Gegenzug wird die Varianz unterschätzt, wenn das Verhältnis grösser als 1:4 ist. Während die Probeflächengröße keinen Einfluss auf die Verzerrung hat, wird sie durch eine steigende Probedichte geringer.

Die Berechnungen lassen den Schluss zu, dass die Zufallsformel bei systematischen Proben zulässig ist, sofern die Seiten im Probenetz das Verhältnis von 1:4 nicht übersteigen. Bei einem niedrigeren Seitenverhältnis ist, zumindest in plenterartigen Beständen, mit einer Überschätzung der wahren Varianz zu rechnen. Die gewonnene Daten können aber als „sichere Daten“ bezeichnet werden. Da die gesamte Marschdistanz zwischen den Proben zur Senkung der Kosten auf ein Minimum verkürzt werden sollte, ist in plenterartigen Beständen ein Seitenverhältnis bis 1:4 zu empfehlen.

Die aus den Simulationen im Programm FIESTA gewonnenen empirischen Resultate decken sich mit den theoretischen Berechnungen von MATERN (1960), der bei schwacher räumlicher Korrelation ein Seitenverhältnis von 1:3 als für Forstinventuren optimal empfiehlt. Dieser Vorschlag ist eine Lösung des Optimierungsproblems zwischen Aufwand (v.a. Marschzeit) und Stichprobenfehler.

Wie die Zeitmessung zeigt (Abschnitt 4.2.2.1.), ist der Zeitaufwand für den Marsch bei Folgeinventuren bedeutend kleiner als bei Erstinventuren. Sein Anteil am gesamten Zeitaufwand fällt von ungefähr 50% bei der Erstinventur auf zirka 15% bei Folgeinventuren. Damit verliert die Verringerung des Marschaufwandes ihre hohe Bedeutung. Es scheint deshalb vernünftiger zu sein, sich für ein kleines Seitenverhältnis und damit für eine sichere Schätzung der Varianz zu entscheiden als für ein grosses Seitenverhältnis und eine geringfügige Verkleinerung des Gesamtaufwandes. Auf der anderen Seite sollte das Seitenverhältnis nicht weniger als 1:2 betragen. Der Grund ist, dass die Wahl eines Verhältnisses von 1:2 gegenüber einem Verhältnis von 1:1 eine so bedeutende Reduzierung der Marschzeit bedeutet, dass auch bei Folgeinventuren mit erheblichen finanziellen Auswirkungen zu rechnen ist. Vor diesem Hintergrund stellt ein Seitenverhältnis im Bereich von 1:3 eine vernünftige Kompromisslösung dar. Bei Inventuren, bei denen das Seitenverhältnis im Probenetz keine bedeutende Rolle bei der Reduktion der Marschkosten spielt (z.B. Nationalwaldinventuren, zerstückelte Waldfläche), sollte ein quadratisches oder dreieckiges Probenetz verwendet werden. Es erlaubt vermutlich eine gleichmässigeren Verteilung über die betreffende Grundgesamtheit und damit eine bessere Erfassung der gesamten Variabilität.

### 5.1.2. Auswahl der Bäume und Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit

Die vorliegende Arbeit vergleicht drei Varianten (Abschnitte 3.1.5. und 4.1.2.): Bei der Variante 1 werden nur Bäume aufgenommen, die im Probekreis und im gleichen Stratum wie das Zentrum liegen. Bei Variante 2 werden alle Bäume aufgenommen, die im Probekreis liegen. Variante 3 ist die Spiegelung.

Für plenterartige Bestände sind eine ausgeprägte Inhomogenität auf kleinster Fläche sowie relativ kleine Unterschiede zwischen den Beständen oder Straten typisch. Aus diesem Grund ergibt eine Poststratifizierung nur eine kleine oder keine Verringerung der Varianz bzw. der Standardfehler (Abschnitt 4.2.4.2.). Beispiele sind einerseits die Zielgrösse Vorrat, bei der die Varianz um 17% und der Standardfehler um 10% verringert werden konnten, andererseits die Zielgrösse Stammzahl, bei der keine Verringerung der Varianz eintrat.

Gemäss einem einfachen Vergleich der Varianzen nach Poststratifizierung sind im Stratum **Gesamtwald** die Varianten 2 und 3 etwa ebenbürtig und der Variante 1 überlegen. Ihre Überlegenheit beruht auf der grösseren Anzahl aufgenommener Bäume. Dieser Vergleich ist aber nicht ganz korrekt, weil die poststratifizierten Schätzer der Varianten 2 und 3 keine biasfreien Schätzungen liefern. Die Verzerrung wird durch die Auswahl der Bäume und durch die Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit verursacht, die beide theoretisch nicht korrekt sind (Abschnitt 3.1.5.). Ein theoretisch richtiger Vergleich der Varianten ist nur über den mittleren quadratischen Fehler möglich. Nach diesem Vergleich sind die Varianten 2 und 3 der Variante 1 unterlegen.

Die Entscheidung, welches Verfahren vorzuziehen ist, hängt auch von praktischen Überlegungen ab. Die **Variante 1** ist sehr arbeitsaufwendig, erfordert eine genaue digitale Bestandeskarte und die Verwendung von GIS-Programmen. Neben dem Einwuchs und der Nutzung ist es auch die Veränderung von Stratengrenzen, welche einen Einfluss auf die aufzunehmende Baumpopulation hat. Komplikationen entstehen dadurch, dass auf einer Probe neue Bäume aufgenommen werden, die bei der vorangehenden Inventur nicht dem gleichen Stratum wie das Probenzentrum angehörten und deshalb nicht aufgenommen wurden. Im Gegenzug können Bäume aus der früher inventarisierten Population ausfallen, weil sie bei der aktuellen Inventur nicht im gleichen Stratum wie das Probenzentrum stehen. Die beschriebenen Änderungen komplizieren die Auswertung von Entwicklungsdaten und führen zum teilweisen Verlust von Informationen bezüglich Zuwachs, Nutzung und Einwuchs.

Die digitale Bestandeskarte und die Benutzung von GIS-Programmen sind auch bei **Variante 2** erforderlich. Allerdings benötigt die Bestandeskarte keine so hohe Genauigkeit wie bei Variante 1. Stammzahlmässige Änderungen der inventarisierten Population sind nur durch Einwuchs oder Nutzung verursacht.

**Variante 3**, die Spiegelung, erfordert keine digitalen Karten und GIS-Programme. Die eigentliche Messung im Wald entspricht ungefähr Variante 2. Da die Auswertung der Inventurdaten die Aufnahmewahrscheinlichkeit des Baumes berücksichtigt nicht, sind die Resultate nicht so genau wie bei Variante 2.

Infolge der komplizierten und technisch anspruchsvollen Auswertung und dem Verlust von Informationen durch nicht gemessene Bäume im Probekreis verursacht Variante 1 einen grösseren Arbeitsaufwand und damit auch höhere Kosten als die Varianten 2 und 3. Im Hinblick auf Poststratifizierung liefert Variante 1 zwar als einzige Variante biasfreie Schätzungen, die Poststratifizierung verspricht aber bei plenterartigen Beständen nur eine kleine oder gar keine Verringerung der Varianz; ein Verzicht auf Poststratifizierung kann erwogen werden.

Für die praktische Durchführung von Inventuren in plenterartigen Beständen sind daher die Varianten 2 und 3 zu empfehlen. Die Entscheidung zwischen den beiden Varianten hängt davon ab, ob eine digitale Bestandeskarte zur Verfügung steht. Wenn ja, sollte die Variante 2 vorgezogen werden. Wird bei der Auswertung auf die Poststratifizierung verzichtet, was zu empfehlen

ist, liefern die Varianten 2 und 3 biasfreie Schätzungen für den **Gesamtwald** (bei Variante 3 nur bei einfachem Verlauf des Waldrandes in den Proben). Für einzelne **Straten** sind die Schätzungen der Varianten 2 und 3 mehr oder weniger verzerrt. In plenterartigen Beständen spielt diese Verzerrung eine kleinere Rolle als im Schlagwald und kann daher leichter in Kauf genommen werden (Abschnitt 4.2.4.2.). Im Schlagwald dagegen, und besonders im Altersklassenwald, in dem die Unterschiede zwischen den einzelnen Straten gross und die Stratengrenzen meist sehr scharf und leicht bestimmbar sind, kann das optimale Inventurverfahren aus Variante 1 mit Poststratifizierung bestehen.

### 5.1.3. Konzentrische Proben - Kluppschwellen, Kreisverhältnisse

Bei der Schweizerischen Landesforstinventur (LFI) werden konzentrische Proben mit zwei Kreisen benutzt. Der kleinere Kreis beträgt 2 Aren, der grössere 5 Aren. Die Kluppschwelle liegt im kleineren Kreis bei 12 cm BHD, im grösseren bei 36 cm (STIERLIN et al. 1994). Dieses Verfahren wurde nach der Untersuchung von MAHRER und VOLLENWEIDER (1983) gewählt. Die Angaben zu Flächen und Kluppschwellen werden auch in der Aufnahmeinstruktion für Kontrollstichproben für die Praxis empfohlen (SCHMID-HAAS et al. 1993) und können heute in der Schweiz als Standard für konzentrische Proben betrachtet werden.

In Abschnitt 4.1.3. werden optimale Kreisverhältnisse und Kluppschwellen für genau bestimmte Populationen und Zielgrössen angegeben, die beide durch Funktionen charakterisiert sind: die Population z.B. durch die Stammzahlverteilung, die Zielgrösse, z.B. Vorrat, durch eine Volumenfunktion. Aus diesem Grund können die optimalen Kreisverhältnisse von den in der Praxis benutzten Verhältnissen, die häufig zwischen 1:2 und 1:4 liegen, sehr stark abweichen. Ein extremes Beispiel ist die Zielgrösse Vorrat, deren Volumenfunktion sehr steil ist und bei der ein optimales Kreisverhältnis bis zu 1:22 ermittelt wurde. Da eine Inventur in der Regel Schätzungen für mehrere Zielgrössen liefern soll, wird das optimale Kreisverhältnis der Inventur ein Optimum von optimalen Kreisverhältnissen für einzelne Zielgrössen sein. Eine exakte Ermittlung dieses optimalen Verhältnisses ist theoretisch einfach zu handhaben, stösst aber bei der praktischen Umsetzung auf Schwierigkeiten. Der Hauptgrund ist die unterschiedliche Gewichtung von einzelnen Zielgrössen. Es kommt hinzu, dass die Wichtigkeit sich mit der gestellten Aufgabe, mit der Zeit und mit der Person ändern kann.

In den folgenden Absätzen wird versucht, am Beispiel einer konzentrischen Probe mit zwei Kreisen ein ungefähres Optimum zu finden. Für plenterartige Bestände wurden mit der vorliegenden Arbeit folgende optimale Kreisverhältnisse ermittelt: für die Stammzahl 1:1, für den Vorrat zirka 1:16, für die Grundfläche zirka 1:9. Das optimale Kreisverhältnis für die vereinfachte, stetig steigende Volumenzuwachsfunktion, die für die Berechnungen in Abschnitt 4.1.3. benutzt wurde, liegt zwischen 1:1 und 1:3. Im Toppwald (Abschnitt 4.3.3.) dagegen ist der Volumenzuwachs keine stetig steigende Funktion, sondern die Funktion steigt, kulminiert und sinkt mit steigendem BHD. Ein ähnlicher Verlauf wurde auch beim Grundflächenzuwachs, beim Stärkezuwachs und auch bei der Volumennutzung festgestellt. Für solche Funktionen ergibt die Optimierung Ergebnisse, die unvernünftig aussehen: Bäume mit kleinem Durchmesser sollten nur im kleinen Kreis aufgenommen werden, Bäume mit mittlerem Durchmesser in der ganzen Probe und Bäume mit hohem Durchmesser wiederum nur im kleinen Kreis. Als Ausweg aus dieser Lage kann ein „Kreisverhältnis“ von 1:1 dienen, also eine einfache Kreisprobe. Wenn man die besondere Bedeutung des Zuwachses und der Stammzahl berücksichtigt und allen Teilpopulationen gleiches Gewicht zumisst, ist ein Kreisverhältnis zwischen 1:2 und 1:4 ein vernünftiger Kompromiss zwischen den Anforderungen der verschiedenen Zielgrössen.

Für plenterartige Bestände besteht der Wunsch, den Einwuchs schon in einem frühen Stadium zu ermitteln und damit die Nachhaltigkeit umfassend kontrollieren zu können. Zu diesem Zweck sollte als Kluppschwelle bzw. als kleinste Durchmesserstufe die Stufe 8cm gewählt werden. Sie ist der in der Schweiz häufig gebrauchten und empfohlenen Kluppschwelle von 12 cm

(SCHMID-HAAS et al. 1993) vorzuziehen. Bei konzentrischen Proben mit zwei Kreisen hängt die Kluppschwelle im grösseren Kreis hauptsächlich von der untersuchten Zielgrösse und weniger von der Verteilungsfunktion ab. Je steiler die Funktion der Zielgrösse mit dem Durchmesser steigt, desto höher ist die Kluppschwelle. Für den Vorrat, dessen Funktion relativ steil ansteigt, liegt die Kluppschwelle im grösseren Kreis zwischen 31 und 34 cm. Beim Stärkezuwachs dagegen, dessen Funktion relativ gering steigt, beträgt sie nur 21 bis 23 cm. Für plenterartige Bestände stellt eine Kluppschwelle um 30 cm einen Kompromiss dar, der alle Zielgrössen berücksichtigt. Diese Empfehlung liegt deutlich unter der in der Schweiz häufig benutzten Kluppschwelle von 36 cm.

Am Beispiel des Faktors  $\gamma$  konnte gezeigt werden, wie sich die Effizienz mit einem zusätzlichen konzentrischen Kreis verbessern lässt. Als Massstab fungieren sogenannte PPS-Stichproben, die beim Faktor  $\gamma$  den kleinstmöglichen Wert 1,0 erreichen und deren Effizienz damit nicht mehr gesteigert werden kann. Ein bekanntes Beispiel für PPS-Stichproben ist die Winkelzählprobe für die Zielgrösse Grundfläche. Je grösser der Faktor  $\gamma$  ist, desto grösser ist das Potential für die Steigerung der Effizienz einer Stichprobe. Die absolut bedeutendste Verkleinerung des Faktors  $\gamma$  kann bei der Zielgrösse Vorrat beobachtet werden, und zwar beim Übergang von der einfachen Kreisprobe zur konzentrischen Kreisprobe mit zwei Kreisen. Bei anderen Zielgrössen war diese Verkleinerung geringer, beim Stärkezuwachs fast unbedeutend. Der Übergang von der konzentrischen Probe mit zwei Kreisen zur Probe mit drei Kreisen hatte bei allen Zielgrössen nur noch eine unbedeutende Verkleinerung des Faktors  $\gamma$  zur Folge. Aus diesem Grund wird im Fall von plenterartigen Beständen und einer Kluppschwelle von 8 cm ein Verzicht auf die konzentrische Kreisprobe mit mehr als zwei Kreisen empfohlen. Zu einem ähnlichen Schluss kommen auch SCHMID-HAAS et al. (1993). Ihre Gründe sind die vermehrten Fehlermöglichkeiten bei der Aufnahme und die Verteuerung der Arbeit im Wald.

Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich, dass für plenterartige Bestände konzentrische Proben mit zwei Kreisen im Flächenverhältnis von 1:2 bis 1:4 mit Kluppschwellen von 8 und 30 cm geeignet sind. Diese Empfehlung setzt allerdings voraus, dass alle Teilpopulation das gleiche Gewicht haben und dass die Schwierigkeiten bei der praktischen Messung und Auswertung der konzentrischen Proben unberücksichtigt bleiben. Für waldbauliche Entscheidungen in plenterartigen Beständen sind aber einige Teilpopulation wichtiger als andere. Dazu gehören z.B. die Bäume der unteren Durchmesserstufen, denen bei der Kontrolle des Einwuchses und damit auch der Nachhaltigkeit besondere Bedeutung beigemessen wird. Es kommt hinzu, dass die Messung der konzentrischen Proben in der Praxis einige Schwierigkeiten bereitet und deren Auswertung infolge unterschiedlicher Aufnahmewahrscheinlichkeiten kompliziert ist. Beide Faktoren können sich in einem zeitlichen Mehraufwand und in Messfehlern niederschlagen. Auch die Auswertung von Entwicklungsdaten ist wegen der Verwendung mehrerer Kluppschwellen erschwert. Diese praktischen Schwierigkeiten und die hohe Bedeutung der unteren Durchmesserstufen lässt als ratsam erscheinen, bei plenterartigen Beständen auf konzentrische Proben zu verzichten und das optimale Stichprobendesign auf die einfache Kreisprobe aufzubauen.

## 5.1.4. Optimales Stichprobendesign für plenterartige Bestände

### 5.1.4.1. Simulationswald FIESTA

Das in dieser Arbeit vorgeschlagene optimale Stichprobendesign für plenterartige Bestände basiert auf Simulationen im Programm FIESTA und auf Zeitmessungen in Emmentaler Plenterwäldern. Dies setzt voraus, dass die Simulationen und Zeitmessungen für plenterartige Bestände tatsächlich repräsentativ sind.

Der benutzte halbkünstliche Wald (Abschnitt 3.1.2.) im Programm FIESTA ist aus Plenterwald-Versuchsflächen (PWVF) der WSL zusammengesetzt. Die PWVF repräsentieren typische plenterartige Bestände des Emmentals, die in der Regel über einen hohen Vorrat verfügen. In

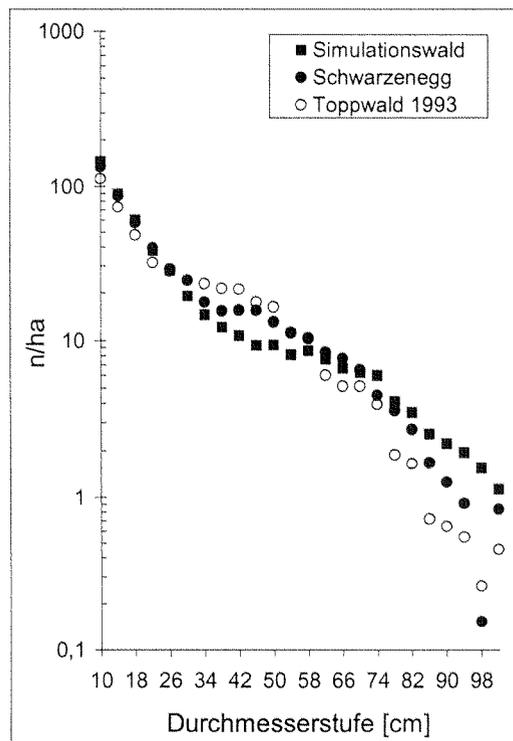
anderen Gebieten, z.B. im Neuenburger Jura, werden die Plenterwälder mit niedrigeren Vorräten bewirtschaftet. Deshalb gelten die Resultate und Empfehlungen streng genommen nur für die starkholzreichen plenterartigen Bestände im Emmental. Das optimale Stichprobendesign anderer Gebiete kann von diesen Resultaten mehr oder weniger stark abweichen.

Die Frage, ob der Simulationswald tatsächlich für einen typischen Plenterwald steht, kann durch eine Analyse der Stammzahlverteilungskurven beantwortet werden. Abbildung 85 zeigt die Kurve des Simulationswaldes und diejenigen der gesamten Wälder von Schwarzenegg und Toppwald. Die Wälder Schwarzenegg und Toppwald repräsentieren eine Mischung aus Plenterwäldern, Überführungswäldern und gleichförmigen Wäldern. In Schwarzenegg ist der Anteil der Plenterwälder höher und der Anteil der gleichförmigen und Überführungswälder kleiner als im Toppwald (Abschnitt 4.3.1.). Die Kurve des Simulationswaldes entspricht in ihrer Form einem ausgeglichenen Plenterwald (vgl. z.B. SCHÜTZ 1989, BACHOFEN 1999). Auch die Anfangsstammzahl mit  $145 \text{ nha}^{-1}$  erfüllt die Gleichgewichtsbedingungen. Um in Emmentäler Plenterwäldern eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten, sind in der Regel, je nach Standort, zwischen  $130$  und  $150 \text{ nha}^{-1}$  in der Durchmesserstufe  $10 \text{ cm}$  notwendig. Die im Vergleich zu Schwarzenegg und Toppwald übermässig hohe Ausstattung der starken Durchmesserstufen und die im Gegenzug relativ niedrige Stammzahl bei den mittleren Durchmesserstufen weisen darauf hin, dass es sich beim Simulationswald um einen Waldtyp mit extrem viel Starkholz handelt. Der plenterartige Charakter des Simulationswaldes wird auch dadurch bestätigt, dass seine Stammzahlkurve näher an der Kurve von Schwarzenegg als an der Kurve vom Toppwald liegt. Insgesamt ist der Simulationswald deutlich vorrats- und starkholzreicher als die inventarisierten Gebiete (Tabelle 63). Er kann als Repräsentant der starkholzreichen Plenterwälder des Emmentals bezeichnet werden.

**Tab. 63:** Stammzahl und Vorrat für den Simulationswald FIESTA und inventarisierte Gebiete.

	Simulationswald	Schwarzenegg	Toppwald 1993
Stammzahl ( $\text{n}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	515	506	462
Vorrat ( $\text{sv}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	595	554	502

**Abb. 85:** Stammzahlverteilungskurven Schwarzenegg, Toppwald und Simulationswald.



### 5.1.4.2. Varianz als Funktion der Probeflächengrösse

Für die Bestimmung der optimalen Probeflächengrösse spielt die Varianzfunktion der Probeflächengrösse eine wichtige Rolle (Abschnitte 3.1.4.8., 4.1.6.):

$$\ln \sigma^2 = a - b \cdot \ln PF$$

Besonders die Konstante  $b$ , welche Werte von 0 bis 1 annimmt, hat eine bedeutende Stellung. Sie ermöglicht einfache Aussagen über die Verteilung der Baumpopulation. Bei  $b = 1$  ist die Baumpopulation wie im Poisson-Wald zufällig verteilt. Kleinere Konstanten  $b$  deuten auf aggregierte Teile in der Grundgesamtheit hin. Ein Beispiel für extreme Aggregation ist die Rottenstruktur im Gebirgswald in einem frühen Stadium: Zonen mit extrem dicht stehenden Bäumen wechseln sich mit baumlosen Zonen ab. Für die optimale Probeflächengrösse hat die Konstante  $b$  eine entscheidende Bedeutung. Je näher die Konstante bei 1 ist, desto grösser ist die optimale Probefläche und desto schwächer ausgeprägt ist das Optimum. Je näher die Konstante bei 0 ist, desto kleiner ist die optimale Probefläche und desto stärker ausgeprägt ist das Optimum.

Für die Zielgrösse **Vorrat** ergaben die Simulationen eine Konstante  $b$  von 0,97 (Abschnitt 4.1.5.). Dies bedeutet, dass im Simulationswald der Vorrat zufällig verteilt ist und in diesem Sinne der Wald dem Poisson-Wald ähnelt. Während für Schwarzenegg ein ähnliches Ergebnis vorliegt (Konstante  $b = 0,99$ ), beträgt der entsprechende Wert für den Toppwald, in welchem viele gleichförmige Bestände vorhanden sind, 0,65. Zur Einordnung dieses Wertes dient ein Beispiel aus dem Elsass, bei dem DE TURCKHEIM (1986) für einen Betrieb mit gleichförmigen Beständen eine Konstante  $b = 0,40$  berechnet hat.

Für die **Stammzahl** wurde aus Simulationen eine Konstante  $b$  von 0,53 ermittelt (Schwarzenegg: 0,66). Dies zeigt, dass die einzelnen Bäume im Plenterwald auch nicht ganz zufällig verteilt sind und der Einfluss von Aggregation deutlich bemerkbar wird. Dies deckt sich mit der Beobachtung, dass im Plenterwald - besonders bei der Betrachtung von Unterschicht und Jungwuchs - eine mosaikartige Verteilung besteht. Dicht bewachsene Stellen wechseln mit stark beschatteten Stellen ohne Verjüngung. Dagegen scheint die Oberschicht, die für den Vorrat entscheidend ist, zufällig verteilt zu sein. Im Toppwald beträgt die Konstante  $b$  0,35, im Beispiel für gleichförmige Wälder von DE TURCKHEIM nur 0,18.

Die **Grundfläche** nimmt eine Zwischenstellung zwischen dem Vorrat und der Stammzahl ein: Im Simulationswald beträgt die Konstante  $b$  0,91, in Schwarzenegg 0,94 und im Toppwald 0,61. Im Toppwald konnten auch Varianzfunktionen für die Probeflächengrösse und für den Zuwachs ermittelt werden. Die Konstanten  $b$  erreichen beim **Volumenzuwachs** 0,59 und beim **Grundflächenzuwachs** 0,56. Sie liegen damit nur wenig unter dem Wert für die Grundfläche.

Die Resultate zeigen deutlich, dass der Vorrat in plenterartigen Beständen zufällig verteilt ist. Bei der Stammzahl dagegen weist die deutlich kleinere Konstante  $b$  darauf hin, dass die einzelnen Bäume nicht zufällig verteilt, sondern in gewisser Weise aggregiert sind. Die Konstante  $b$  macht Unterschiede zwischen plenterartigen und gleichförmigen Beständen gut sichtbar.

### 5.1.4.3. Zeitaufwand

Hinsichtlich der Stammzahl ist der Simulationswald dem Wald aus Schwarzenegg ebenbürtig (Tabelle 63). Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass eine Inventur im Simulationswald den gleichen Zeitaufwand wie die Inventur in Schwarzenegg erfordert. Der Toppwald hat eine kleinere Stammzahl als der Simulationswald. Dieser Umstand stellt den im Toppwald ermittelten Zeitaufwand für Folgeinventuren in Frage. Eine Folgeinventur in einem Wald mit der Stammdichte des Simulationswaldes würde eine längere Zeit beanspruchen, als aus dem gemessenen Zeitaufwand im Toppwald ersichtlich ist.

SCHMID-HAAS (1989) unterteilt den gesamten Zeitaufwand in 4 Phasen: Marsch zwischen den Proben und Einmessen der Proben, Vorbereitung (Aus- und Einpacken, sonstige Zeiten), Messung von BHD, Azimut und Distanz, Messung der Höhen und der Durchmesser in 7m Höhe (d7-Messung). WOLF (1988) benutzte für ihre Arbeit fast die gleiche Einteilung. In der vorliegenden Arbeit wurde eine ähnliche Einteilung verwendet, die zwischen Marsch, Vorbereitung und Messung unterscheidet; Höhen- und d7-Messungen wurden nicht durchgeführt.

Die Einteilung diente der nachfolgenden Ableitung des Zeitaufwandes für andere Probetypen und wurde notwendig, weil eine Änderung des Probetyps oder des Probenetzes sich auf die einzelnen Phasen unterschiedlich auswirkt. So ist der Marsch vom Probenetz, die Messung jedoch vom Probetyp abhängig; die Vorbereitung dagegen ist von beiden Faktoren unabhängig. Der tatsächliche Zeitaufwand wurde für zwei Probetypen gemessen. Für die andere Probetypen wurde der Zeitaufwand theoretisch abgeleitet.

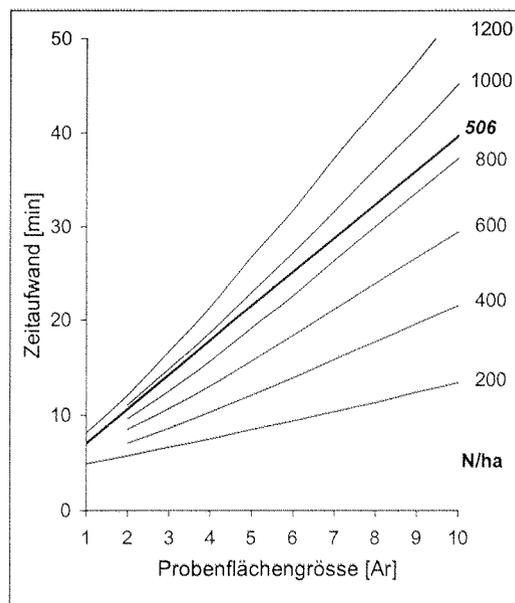
Den Zeitaufwand für die Messung der Bäume unterteilt SCHMID (1970) in die Messung am einzelnen Baum und in das Gehen von Baum zu Baum. Dank der baumweisen Polarkoordinaten einer 10 Aren grossen Probefläche ist es ihm möglich, den Zeitaufwand für jede beliebig kleinere Probefläche zu berechnen. Er unterscheidet allerdings nicht zwischen Grenzbäumen und Nicht-Grenzbäumen. WOLF 1988 misst den Aufwand für die Messungen in der Probe ohne weitere Unterteilung. Den Zeitaufwand für andere Probeflächengrössen, darunter auch konzentrische Kreisproben, ermittelt sie über eine Funktion der Baumzahl. Auch sie unterscheidet nicht zwischen Grenzbäumen und Nicht-Grenzbäumen. Auch für die vorliegende Arbeit wurde der Zeitaufwand für die Messung in der Probe nicht weiter unterteilt. Für nicht gemessene Probetypen und Probeflächengrössen wurde der Aufwand abgeleitet, und zwar getrennt nach dem Gehen von Baum zu Baum und nach der Messung am Baum. Dies geschah unter der Annahme, dass der Aufwand für das Gehen von Baum zu Baum gleich viel Zeit wie das Messen am Baum beansprucht. Diese Annahme ist nur bei bestimmten Geländebedingungen und bei bestimmten Bestandesdichten zulässig. Nach den praktischen Messerfahrungen sind die Bedingungen in Schwarzenegg und im Toppwald erfüllt. Dagegen wird in schwierigem Gelände (Steilhang, Karst usw.) das Gehen mehr Zeit in Anspruch nehmen als das Messen der Bäume. Der umgekehrte Fall tritt ein bei einer höheren Stammzahldichte, bei der die Messung mehr Zeit benötigt und die Distanzen zwischen den Bäumen relativ kürzer sind.

Ein neuer Aspekt der vorliegenden Arbeit ist die Unterteilung der gemessenen Bäume in Grenzbäume und Nicht-Grenzbäume. Die gesonderte Erfassung von Grenzbäumen, die mehr Messzeit beanspruchen, bewirkt, dass die optimale Probefläche grösser ist als ohne deren Berücksichtigung.

Bei konzentrischen Proben wird angenommen, dass die Messung pro Baum in jedem Probekreis gleich viel Zeit in Anspruch nimmt. Diese Annahme entspricht nicht in jedem Fall der Wirklichkeit. Die Aufnahme konzentrischer Kreisproben wird dadurch erschwert und am Einzelbaum zeitaufwendiger, dass immer darauf geachtet werden muss, in welchem Probekreis der Baum steht und welche Kluppschwelle in diesem Kreis gilt. Der Zeitaufwand für die konzentrischen Proben dürfte daher unterschätzt sein. Folglich fällt die Überlegenheit der konzentrischen Probe gegenüber der einfachen Kreisprobe weniger hoch aus bzw. ist sie noch deutlicher als bisher angenommen unterlegen.

Der berechnete Zeitaufwand für verschiedene Probeflächengrössen kann vor allem mit der Untersuchung von SCHMID (1970) verglichen werden: Seine Zeitmessungen stammen aus plenterartigen Beständen des Lindenwaldes und Buechschachenwaldes, welche im Untersuchungsgebiet Schwarzenegg liegen (Abschnitt 3.2.2.). SCHMID berechnet den Zeitaufwand nicht nur für unterschiedliche Probeflächengrössen, sondern auch für unterschiedliche Stammzahldichten (Abb. 86). In Abweichung zu den linear verlaufenden Funktionen der vorliegenden Arbeit steigt die Kurve seiner Funktion leicht exponential mit der Probeflächengrösse. Der Unterschied kann teilweise mit den Grenzbäumen erklärt werden, die SCHMID nicht berücksichtigt und die dafür sorgen, dass bei grossen Probeflächen der Zeitaufwand etwas verringert wird. Abgesehen von dieser Ausnahme sind die beiden Funktionen für den Zeitaufwand hinsichtlich der Kurvenstei-

Abb. 86: Zeitaufwand für die Messung und Vorbereitung in der Probe nach SCHMID 1970.



gung fast identisch. Der grösste Unterschied zwischen den beiden Funktionen liegt in ihren nominalen Werten. Das heisst, dass die Kurven nur dann nahezu deckungsgleich sind, wenn sie unterschiedliche Stammzahldichten zu Grunde legen. Die Kurve von SCHMID, die für eine Stammzahldichte von  $900 \text{ nha}^{-1}$  steht (Kluppschwelle 8 cm), ist vergleichbar mit einer Kurve der vorliegenden Arbeit für die Stammzahldichte von  $506 \text{ nha}^{-1}$ . Oder anders ausgedrückt: Bei gleicher Stammzahldichte beträgt der von SCHMID ermittelte Zeitaufwand nur  $\frac{2}{3}$  des Aufwandes, welcher sich aus den Zeitmessungen der vorliegenden Arbeit ergeben hat. Die Differenz kann nicht mit unterschiedlichen Geländebedingungen erklärt werden. Das Gelände im Untersuchungsgebiet von SCHMID (Lindenwald und Buechschachewald) ist eher schwieriger als das Gelände im Toppwald oder in Schwarzenegg. Einen Hinweis auf eine mögliche Ursache geben die technischen Inventurberichte zu den Wirtschaftsplänen des Untersuchungsgebietes und seiner Umgebung. Sie sprechen von einer durchschnittlichen Tagesleistung von rund 8 Proben pro Tag, in der Regel bezogen auf 5 Aren grosse Proben. Eine ähnliche Tagesleistung ergibt sich, wenn die Zeitaufwandfunktion der vorliegenden Arbeit verwendet wird und eine Netto-Arbeitszeit von 6 Stunden für den Marsch zwischen den Proben und die Aufnahmen auf der Probefläche angenommen wird. Mit der Funktion von SCHMID dagegen erhält man eine Tagesleistung von rund 11 Proben. Dies deutet darauf hin, dass die Zeitaufwandfunktion der vorliegenden Arbeit die Wirklichkeit besser wiedergibt als die Funktion von SCHMID.

Gemäss der vorliegenden Arbeit beträgt der Zeitbedarf für die Messung in einer 4 Aren grossen Probe (ohne Höhen- und d7-Messung) knapp 15 Minuten. SCHMID-HAAS (1989) gibt für die Erstinventur im Femelschlagwald sehr viel höhere Erfahrungswerte an: Nach ihm werden für eine vergleichbare Messung 36 Minuten benötigt. Die grosse Differenz könnte dadurch entstehen, dass die Messung im Femelschlagwald zeitaufwendiger als im Plenterwald ist. Allerdings konnte diese Hypothese mit der Zeitmessung im Toppwald, der einen relativ hohen Anteil an Femelschlagwald hat (Abschnitt 4.1.4.1.), nicht bestätigt werden. Auch WOLF (1988) gibt für einen gleichförmigen Wald einen Zeitbedarf von 54 Sekunden für die Messung eines Baumes an (Azimut, Distanz, BHD). Bei einer Stammzahldichte von etwa  $500 \text{ n/ha}$  ergeben sich für eine 4 Aren grosse Probe ungefähr 17 Minuten und damit nur 2 Minuten mehr als das Ergebnis der vorliegenden Arbeit. Für Folgeinventuren dagegen sind die Angaben von SCHMID-HAAS (1989) und dieser Arbeit fast identisch: Der Zeitbedarf für 4 Aren grosse Proben beträgt rund 14 Minuten.

Nach SCHMID-HAAS (1989) beträgt der Zeitaufwand für die Messung in der Probe bei Folgeinventuren nur rund 40% des Aufwandes bei der Erstinventur. Die vorliegende Arbeit, die zum Ergebnis kommt, dass der Zeitaufwand nur auf 92% fällt, kann die Aussage von SCHMID-HAAS (1989) nicht bestätigen. Eine Ursache für die geringe Differenz zwischen Erst- und Folgeinventuren könnten der laufende Einwuchs und die zahlreichen Nutzungen im Plenterwald sein, die bei jeder Inventur eine sorgfältige Kontrolle der vorhandenen Bäume und neue Einmessungen notwendig machen.

Der ermittelte Zeitaufwand für den **Marsch zwischen den Proben** liegt bei 25 Minuten pro 100 m. SCHMID-HAAS (1989) gibt für diese Distanz einen Wert von 45 Minuten an, WOLF (1988) einen Wert von 15 Minuten. Für Folgeinventuren wurde ein Wert von 4 Minuten ermittelt, also rund 15 % des Zeitbedarfs von Erstinventuren. SCHMID-HAAS gibt für Folgeinventuren 20 Minuten oder rund 45% der Zeit von Erstinventuren an. Der bei SCHMID-HAAS sehr viel kleinere Unterschied zwischen der Erst- und der Folgeinventur könnte durch unterschiedliche Geländebeziehungen der Untersuchungsgebiete bedingt sein. Obwohl die Verhältnisse in Schwarzenegg und im Toppwald etwa ähnlich sind, zeichnet sich Schwarzenegg durch mehr tiefe Gräben aus. Dieser Umstand könnte zu einer Verzerrung des Verhältnisses zwischen dem Zeitaufwand für die Erst- und für die Folgeinventur führen.

Eine weitere mögliche Ursache könnten markante Einzelbäume sein, die in plenterartigen Beständen vorhanden sind. Diese Bäume erlauben es, eine Probefläche allein mit Schrittmass und ungefährem Azimut rasch aufzusuchen. Wenn der Trupp die Probefläche in etwa erreicht hat, kann er sich mit Hilfe von markanten Bäumen schnell orientieren und das Probezentrum finden. In gleichförmigen Wäldern dagegen erfordert die Suche des Probezentrums ein sehr viel sorgfältigeres Vorgehen: Die Benutzung von Messband sowie die strikte Einhaltung des Azimuts sind oft unerlässlich, besonders in jungen Entwicklungsstufen.

#### 5.1.4.4. Optimale Probeflächengrösse

Gemäss den Ergebnissen dieser Arbeit liegen die optimalen Probeflächen in plenterartigen Beständen (Abschnitt 4.1.6.), insbesondere für die Zielgrösse Vorrat, in einem Grössenbereich, welcher für die Praxis nicht zu empfehlen ist. Auch SCHMID-HAAS (1993) rät von Probeflächen über 6 Aren ab. Seine Gründe sind die schlechte Übersichtlichkeit und die damit erhöhte Gefahr, Bäume zu übersehen. Oberste Grenze für eine praktikable Probefläche ist, je nach Gelände, eine Fläche von 7 bis 10 Aren. Ab dieser Grenze gilt die lineare Beziehung zwischen dem Zeitaufwand und der Probeflächengrösse (Zeitaufwandfunktion  $f_T(\text{PF})$ ) nicht mehr, der Zeitaufwand wird eher exponential als linear steigen. Die optimale Probeflächengrösse dürfte dann kleiner und das Optimum ausgeprägter sein, als sie mit Hilfe der linearen Funktion berechnet wurde. Für die folgenden Ausführungen gilt, dass sich die Resultate nur auf einfache Kreisproben beziehen. Konzentrische Proben werden sich wahrscheinlich gleich wie die einfache Kreisprobe verhalten, allein die Grössen der optimalen Probeflächen dürften deutlich höher sein.

Die Varianzfunktionen der Probeflächen sind das Ergebnis von simulierten Inventuren im Programm FIESTA. Für jede Probeflächengrösse und für jeden Probetyp wurden mindestens 500 Inventuren simuliert. Die aus den Varianzfunktionen berechneten optimalen Probeflächen sind daher sehr sicher und hoch repräsentativ für plenterartige Bestände. Dagegen basieren die Angaben aus Schwarzenegg, aus dem Toppwald oder aus der Literatur immer nur auf einer Inventur.

Für die Zielgrösse **Vorrat** ergab die Simulation, dass die optimale Fläche in keinem Fall weniger als 30 Aren beträgt (Abschnitt 4.2.3.). Die Berechnungen anhand der Inventur für das Gebiet Schwarzenegg erbrachten noch grössere optimale Probeflächen. Dagegen liegen die optimalen Probeflächengrössen im Toppwald, der mehr gleichförmige Bestockungen als das Gebiet Schwarzenegg aufweist, bei 14 Aren (Erstinventur) bzw. bei 4 Aren (Folgeinventur). Für gleichförmige Wälder errechnet DE TURCKHEIM (1986) eine optimale Probefläche von 4 Aren.

SCHMID (1970) kommt in der in Abschnitt 5.1.3.4. beschriebenen Untersuchung für eine Stammzahldichte von  $500 \text{ nha}^{-1}$  zu einer optimalen Fläche von ungefähr 9 Aren. Werden die Parameter und Bedingungen auf die vorliegende Arbeit übertragen, so ergeben sich optimale Probeflächen von mehr als 250 Aren! Der bei SCHMID deutlich kleinere Zeitaufwand für die Messung in der Probe trägt, da er sogar eine Vergrößerung der optimalen Probefläche bewirkt, nicht zur Klärung der Ursache bei. Der Unterschied dürfte allein auf die unterschiedliche Varianz der Probeflächen zurückzuführen sein. Da sowohl SCHMID als auch die vorliegende Arbeit dasselbe Gebiet untersuchten, kann die unterschiedliche Varianz nur dadurch erklärt werden, dass vor 25 Jahren eine wesentlich gleichförmigere Bestockung vorhanden war.

Für die Zielgrösse **Stammzahl** und eine Marschdistanz zwischen den Proben von rund 100 m erbrachte die Simulation optimale Probeflächengrößen von rund 10 Aren (Erstinventur) bzw. rund 3 Aren (Folgeinventur). Für das Gebiet Schwarzenegg liegen die entsprechenden Werte mit 14 Aren bzw. mit 4 Aren etwas höher, für den Toppwald mit 4 Aren bzw. 1 Are etwas tiefer. Für gleichförmige Wälder kommt DE TURCKHEIM (1986) zu einer optimalen Probefläche von 1 Are.

Im Toppwald konnten optimale Probeflächengrößen für den Zuwachs berechnet werden. Für den **Volumenzuwachs** beträgt die optimale Probefläche rund 10 Aren (Erstinventur) bzw. rund 3 Aren (Folgeinventur), für den **Grundflächenzuwachs** sind die entsprechenden Werte 9 Aren bzw. 3 Aren. Es ist zu erwarten, dass die optimalen Probeflächen für diese Zielgrößen im „Simulationswald“ oder in Schwarzenegg deutlich grösser sind.

Je gleichförmiger die Bestände sind und je weiter von der Plenterstruktur entfernt, desto kleiner ist die optimale Probefläche. Auch umgekehrt gilt: Je ungleichförmiger die Bestände sind und je näher an der Plenterstruktur, desto grösser ist die optimale Probefläche. Abgesehen von der Zielgrösse Stammzahl betragen die optimalen Probeflächen für Zustandsdaten mehr als 10 Aren. Beim Zuwachs im Toppwald liegt die optimale Fläche im Bereich von 3 bis 10 Aren. Diese Angaben gelten immer nur für die Gesamtpopulation. Für einzelne Teilpopulationen sind die optimalen Probeflächen grösser. Eine Empfehlung für die Praxis könnte daher lauten, die Probeflächen in plenterartigen Beständen so gross wie nur möglich zu machen. Für durchschnittliche Geländebeziehungen, wie in den Untersuchungsgebieten Schwarzenegg und Toppwald, könnte diese Fläche zwischen 6 und 7 Aren betragen, für schwierige Verhältnisse (Gebirge) zwischen 5 und 6 Aren und für leichte Verhältnisse mehr als 7 Aren.

#### 5.1.4.5. Optimaler Probetyp

Hinsichtlich des gesamten Zeitaufwandes ist die konzentrische Kreisprobe mit 3 Kreisen der konzentrischen Probe mit 2 Kreisen unterlegen. Diese Aussage gilt für alle Zielgrößen und für alle Waldflächen (Abschnitt 4.1.7.). Die Entscheidung, welcher Probetyp für Inventuren in plenterartigen Beständen optimal ist, fällt somit nur noch zwischen der einfachen Kreisprobe und der konzentrischen Kreisprobe mit 2 Kreisen.

Bei der Zielgrösse **Vorrat** und Erstinventur sind die Unterschiede sehr klein. Beide Probetypen sind nahezu ebenbürtig. Gleichwohl verursacht die einfache Kreisprobe, insbesondere bei ausgedehnten Waldflächen, meist einen grösseren Zeitaufwand als die konzentrische Probe. Auch bei der Folgeinventur schneidet die einfache Kreisprobe etwas schlechter ab: der Zeitaufwand ist um ein Drittel bis ein Viertel grösser als bei der konzentrischen Probe.

Bei jeder Waldfläche und bei jeder Probeflächengrösse hat die einfache Kreisprobe für die Zielgrösse **Stammzahl** einen kleineren Zeitaufwand, der bei der Erstinventur mehr als zweimal kleiner bzw. bei der Folgeinventur 2,5 bis 3 mal kleiner ist als bei der konzentrischen Kreisprobe.

Bei einer einfachen Kreisprobe von 7 Aren ist der Zeitaufwand, der für die Erreichung einer bestimmten Genauigkeit erforderlich ist, für die beiden Zielgrößen Vorrat und Stammzahl fast identisch. Dagegen benötigt eine konzentrische Kreisprobe gleicher Fläche und Genauigkeit für

die Zielgrösse Stammzahl mindesten die doppelte Zeit wie für die Zielgrösse Vorrat. Im Plenterwald, in dem die Stammzahl eine grössere Rolle spielt als im gleichförmigen Wald und insbesondere die Stammzahlverteilung für die Beurteilung der Plenterstruktur und der Nachhaltigkeit von grosser Bedeutung ist, sollte der Zielgrösse Stammzahl mindestens dasselbe Gewicht wie dem Vorrat zugemessen werden. Wird zusätzlich für beide Zielgrössen dieselbe Genauigkeit verlangt, ist die einfache Kreisprobe der konzentrischen Kreisprobe klar überlegen.

Gegen die konzentrische Kreisprobe sprechen auch Schwierigkeiten bei der Berechnung des Zuwachses, der Nutzung und des Einwuchses, die bei der einfachen Kreisprobe nicht auftreten (siehe Abschnitt 5.1.3.). Für die Kontrolle der Nachhaltigkeit ist der Einwuchs und die Stammzahl der ersten Durchmesserstufe, die durch den Einwuchs vermehrt wird, von besonderer Wichtigkeit. Für diese Teilpopulation, die nicht Gegenstand der Optimierung war, bedeutete die einfache Kreisprobe einen kleineren Zeitaufwand als die konzentrische Probe. Die Überlegenheit der einfachen Kreisprobe wird dadurch ausgebaut, dass der Zeitaufwand für konzentrische Proben infolge messtechnischer Schwierigkeiten höchstwahrscheinlich höher ist als in dieser Arbeit angegeben (siehe Abschnitt 5.1.4.3.). Unter Berücksichtigung aller Aspekte ist daher die einfache Kreisprobe der optimale Probetyp für plenterartige Bestände.

## 5.2. Stratenbildung und Poststratifizierung

### 5.2.1. Bestandeskarte

#### 5.2.1.1. Vorstellungen über den ideal aufgebauten Plenterwald

Die Plenterstruktur-Kartierung basiert auf dem Vergleich eines realen Bestandes mit einer Vorstellung von einem ideal aufgebauten Plenterwald. Der Kartierer hat seine Vorstellung teilweise vom Bewirtschafter übernommen, teilweise wurde sie in gemeinsamen Begehungen und Diskussionen entwickelt. Sie entspringt nicht der Analyse von Inventurzahlen, sondern der visuellen Beurteilung der Waldstruktur sowie der Wachstumssituation von Einzelbäumen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Vorstellung sich mit der Zeit und der Person ändert. Die Plenterziffer als Mittel für die Beschreibung der Plenterstruktur allein vermag diese Änderungen nicht zu dokumentieren. Erst die Verknüpfung mit Inventurdaten trägt dazu bei, die Änderung zu objektivieren und zu dokumentieren. Trotz aller Schwierigkeiten ist es daher möglich, dass die visuelle Vorstellung und die „Modellvorstellung“, die aus Inventurdaten entsteht und in Form einer Stammzahlkurve sichtbar wird, identisch sind.

Die Vorstellung über die ideale Plenterstruktur hat sich auf sogenannten „plenterfreundlichen“ Standorten herausgebildet. Zu ihnen gehören in Schwarzenegg vor allem die Standorte 46a, 46e, 19ps, 18a, 18s (Abschnitt 3.6.1.), auf denen gut ausgebildete Plenterstrukturen besonders oft vorkommen. Diese Standorte werden als für die Plenterung geeignet bezeichnet (SCHÜTZ 1989). Obwohl sich die Vorstellung streng genommen nur auf diese Standorte bezieht, wurde sie auch für die Bestandeskartierung der übrigen Standorte herangezogen, was zu einer falschen Interpretation der Plenterziffer dieser Standorte führen könnte. Unter den übrigen Standorten sind im Raum Schwarzenegg besonders nasse und nährstoffreiche Standorte wie 49, 27<sup>ho</sup>, 20, 56, 46s zu verstehen. Auf diesen Standorten wird die ideale Plenterstruktur nach der oben beschriebenen Vorstellung nie oder nur für kurze Zeit erreicht. Die dauernde Erhaltung einer idealen Plenterstruktur ist, wenn überhaupt, nur mit einem enormen Aufwand (Pfleagemassnahme) möglich oder aus Gründen der Bestandesstabilität sogar unerwünscht.

Die Bestandesentwicklung auf diesen Standorten kann als zyklisches Oszillieren zwischen vorratsreichen und vorratsarmen Strukturen beschrieben werden. Vorratsreiche Strukturen zeichnen sich durch eine überproportional vertretene Mittelschicht, eine unterproportional vertretene Unterschicht und durch fehlenden Jungwuchs aus. Typisch für vorratsarme Strukturen

sind vereinzelte grosse Bäume in der Oberschicht. Daneben wird meist eine relativ schwach vertretene, lückige Mittelschicht angetroffen, die durch eine ausgesprochen zahlreiche Unterschicht und einen ebensolchen Jungwuchs ergänzt wird. Das Oszillieren ist der Phasenentwicklung in einem Urwald nicht unähnlich. Obwohl einzelne Phasen mit den gleichen Namen wie im Urwald bezeichnet werden könnten, sind die Strukturen nicht identisch. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Phasen sind hinsichtlich des Vorrates und der Stammzahl kleiner als im Urwald. Verglichen mit dem ontogenetischen Entwicklungszyklus eines Urwaldes ist der Zyklus eines Plenterwaldes viel schmäler und ähnelt der Plenterphase im Urwald. Um die Nähe zur Plenterphase zu erhalten, sind ständig Pflegeeingriffe in Form von einzelstammweiser Nutzung notwendig.

Das zyklische Oszillieren des Vorrates auf diesen Standorten muss bei der Interpretation der im Rahmen der Bestandeskartierung vergebenen Plenterziffern beachtet werden. Eine Plenterziffer, die von der idealen Ziffernfolge 222 (ideale Vorratsverteilung im Plenterwald) abweicht, muss nicht bedeuten, dass der Bestand nicht der idealen Struktur entspricht. Trotz dieser eingeschränkten Aussagekraft der Plenterziffern erscheint es zweckmässig, auch auf diesen Standorten, die für die Plenterung weniger geeignet sind, die realen Bestände mit einer Vorstellung zu vergleichen, die den „plenterfreundlichen“ Standorten entstammt. Dieses Vorgehen ermöglicht, den optimalen Oszillationszyklus zu beschreiben und zu kontrollieren.

#### 5.2.1.2. Schichtzugehörigkeit und Schichtenbewertung

Das **Einordnen von Bäumen in einzelne Schichten** bei der Kartierung bereitet gewisse Probleme. Ein Problem stellt die Bestimmung der Plenter-Oberhöhe dar. Da die Oberhöhe je nach Standort beträchtlich schwankt, ist die genaue Kenntnis des jeweiligen Standortes von hoher Bedeutung. Eine falsch bestimmte Oberhöhe kann, insbesondere im Übergangsbereich zwischen Mittel- und Oberschicht, zu einer fehlerhaften Schichtzuordnung der Bäume führen. Die Grenze zwischen der Unter- und der Mittelschicht wurde, unabhängig vom Standort, bei 12 m Höhe festgesetzt, was in Schwarzenegg einem BHD von etwa 16 cm entspricht. Die Analyse der Plenterziffern (Abschnitt 4.2.2.) zeigte, dass in vielen Fällen Bäume mit einem BHD von weniger als 16 cm der Mittelschicht zugeordnet wurden. Bei der Kartierung wurde die Grenze offensichtlich unbewusst etwas tiefer gezogen (bei rund 12 cm BHD). Es scheint, dass bei der Zuordnung die soziologische Stellung eines Baumes eine deutlich grössere Rolle gespielt hat als seine Dimension. Eine Folge war, dass mit steigender Plenterzahl der Mittelschicht der Schätzwert für die Stammzahl der Unterschicht gestiegen ist, obwohl er, bedingt durch den höheren Überwuchsdruck der Mittelschicht, hätte sinken müssen. Dies zeigt, dass die bei 12 m festgesetzte Grenze zwischen der Mittelschicht und der Unterschicht im Rahmen weiterer Forschungen kritisch überprüft werden muss.

Die **Bewertung der Schichten** basiert auf einem visuellen Vergleich des Bestandes mit der Vorstellung von einer idealen Plenterstruktur. Bei der Bewertung spielen die Lichtverhältnisse erfahrungsgemäss eine wichtige Rolle. Die folgenden Beobachtungen weisen auf bestehende Probleme hin und können Anlass für weiterführende Untersuchungen sein: Bei sonnigem Wetter, wenn das direkte Sonnenlicht eine grössere Lichtwirkung als das diffuse Licht hat, ist mit einer Tendenz zur Überbewertung der Oberschicht und Unterbewertung der Mittelschicht zu rechnen. Dagegen besteht bei bewölktem Himmel und besonders bei Nebel, wenn nur diffuses Licht vorhanden ist, eine Tendenz zur Unterbewertung der Oberschicht und zur Überbewertung der Mittelschicht. Die Tendenzen scheinen im ersten Fall, bei sonnigem Wetter, viel stärker ausgeprägt zu sein als bei bewölktem Wetter.

Bei der Bewertung der Unterschicht spielen die Lichtverhältnisse keine so starke Rolle. Bei sonnigem Wetter wird die Unterschicht in Lücken oder an ähnlich hellen Stellen tendenziell leicht überbewertet, unter einem dunklen Schirm leicht unterbewertet. Bei bewölktem Himmel dagegen ist unter einem dunklen Schirm eine schwache Tendenz zur Überbewertung der Unterschicht zu erwarten. Die Schneedecke verursacht bei der Unterschicht, sofern sie aus immer-

grünen Bäumen zusammengesetzt ist, eine Überbewertung. Bei der Bewertung des Jungwuchses spielen die Lichtverhältnisse eine unbedeutende Rolle. Eine Unterbewertung ist möglich, wenn eine Schneedecke oder Herbstlaub auf dem Jungwuchs liegen. Komplizierter ist die Bewertung des Jungwuchses bei vorhandener Staudenvegetation, besonders auf nährstoffreichen Standorten: In der Vegetationsperiode kann mit einer starken Tendenz zur Unterbewertung gerechnet werden. Wie stark diese Tendenz ist, hängt nicht nur von der Staudenvegetation selbst, sondern auch von den Zukunftsaussichten des Jungwuchses ab. Bei Laubbäumen (z.B. Buche) muss zusätzlich der Zustand der Belaubung beachtet werden. So ist entgegen der für den Sommer beschriebenen Tendenz zur Unterbewertung im Frühling (hellgrüne Blätter) und im Frühherbst (gelbbraune Blätter) eine Tendenz zur Überbewertung feststellbar. Sind die Buchen ohne Laub, besteht in allen Schichten, besonders aber in der Unterschicht, eine deutliche Tendenz zur Unterbewertung.

Aus dem Vergleich der Plenterzahlen mit den Inventurdaten ergibt sich, dass die Bewertung der Oberschicht die wenigsten Probleme bereitet. Die geschätzten Plenterzahlen der Oberschicht unterscheiden sich oft signifikant, und dies sowohl für Teilpopulationen nach Schichten als auch für Teilpopulationen nach Stärkeklassen. Auch bei der Auswertung nach Durchmesserstufen ist es die Oberschicht, bei der die Unterschiede zwischen den Plenterzahlen am grössten und zwischen den BHD-Werten 60 und 80 cm sogar signifikant sind. Die kleinsten Unterschiede zwischen den einzelnen Schätzwerten für Plenterzahlen wurden bei der Mittelschicht gefunden. Eine mögliche Ursache deckt die Auswertung nach Stärkeklassen auf. Sie zeigt, dass Bäume der 3. Stärkeklasse (BHD 40–52 cm) oft der Mittelschicht statt der Oberschicht zugeordnet wurden. Es kommt hinzu, dass auch Bäume der untersten Stärkeklasse (8–16 cm BHD) fälschlicherweise der Mittelschicht zugeordnet wurden. Die Auswertung nach Stärkeklassen lässt erkennen, dass der bedeutendste hemmende Einfluss auf die Unterschicht und den Jungwuchs von der 2. und 3. Stärkeklasse (28–40 cm bzw. 40–52 cm) ausgeht. Diese Stärkeklassen sind aus der Mittel- und Oberschicht zusammengesetzt. Die Auswertung der Plenterzahlen der Unterschicht ergibt nahezu reziproke Werte der Auswertung der Plenterzahlen der Oberschicht. Im Gegensatz zur Oberschicht sind die Unterschiede nicht so eindeutig und nicht signifikant. Bei der Auswertung der Plenterzahlen des Jungwuchses wurden Unterschiede nur bezüglich der bereits erwähnten Stärkeklassen 2 und 3 gefunden. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei der Auswertung nach Durchmesserstufen, wo Unterschiede nur im BHD-Bereich zwischen 30 und 50 cm sichtbar und bei einigen Durchmesserstufen auch signifikant sind. Sonst konnten beim Jungwuchs keine klare Unterschiede gefunden werden.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Plenterzahlen der Ober- und Mittelschicht am besten geeignet sind, die zahlreichen Bestände in sogenannte Bestandestypen zu gruppieren, die anschliessend die Grundlage für die Bildung von Straten (Auswerteeinheiten) sind. Für den Fall, dass die Plenterstruktur-Kartierung nur der Bildung von Straten für die Auswertung der Inventurdaten diene, könnte auf die Kartierung der Unterschicht und des Jungwuchses verzichtet werden. Der Aufwand für eine Plenterstruktur-Kartierung ist aber nur zu rechtfertigen, wenn die Kartierung mehrere Aufgaben übernimmt, z.B. Nachhaltigkeitskontrolle, waldbauliche Planung und Dokumentation der Plenterstrukturen. In diesen Fällen ist die Kartierung der Unterschicht und des Jungwuchses vorteilhaft oder sogar notwendig.

### 5.2.1.3. Beziehungen zwischen den einzelnen Schichten

Die Plenterstruktur-Kartierung erlaubt, die Beziehungen zwischen den einzelnen Schichten näher zu untersuchen. Die Ergebnisse (Abschnitt 4.2.2.) zeigen, wie sich eine bestimmte Ausstattung der Ober- und Mittelschicht auf die Unterschicht und auf den Jungwuchs auswirkt. Die Ober- und die Mittelschicht sind in ihrer hemmenden Wirkung auf die Unterschicht ähnlich. Auf den Jungwuchs dagegen wirkt die Mittelschicht stärker hemmend als die Oberschicht. Eingriffe, die einen akuten Mangel an Jungwuchs beheben und eine vermehrte Verjüngung einleiten sollen, müssen deshalb in der Mittelschicht geführt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass sowohl die

Mittel- als auch die Oberschicht übervertreten sind. Dass die Plenterzahl des Jungwuchses mit der Plenterzahl der Unterschicht steigt, darf nicht mit einem positiven Einfluss der Unterschicht auf den Jungwuchs interpretiert werden. Der Effekt entsteht durch allgemein bessere Lichtverhältnisse, die gleichzeitig in beiden Schichten für steigende Plenterzahlen sorgen. Wenn zu einem späteren Zeitpunkt beide Schichten relativ hohe Plenterzahlen aufweisen, ist zu erwarten, dass die Unterschicht den Jungwuchs hemmt. Dieser Einfluss dürfte sich auch in der Beziehung der beiden Plenterzahlen ausdrücken.

Die Plenterzahlen aus der Plenterstruktur-Kartierung und die Daten aus der Kontrollstichprobe liefern nicht in jedem Fall identische Ergebnisse. So ergibt die einfache Auswertung der Plenterzahlen, dass die Oberschicht einen deutlich grösseren Einfluss auf die Unterschicht und auf den Jungwuchs hat als die Mittelschicht. Dieses unerwartete Ergebnis kann auf die Schwierigkeiten bei der Bewertung einzelner Schichten, besonders der Mittelschicht, zurückgeführt werden. Ein weiteres Beispiel ist der hemmende Einfluss der Unterschicht auf den Jungwuchs, der zwar durch die Inventurdaten belegt wird, nicht jedoch durch die Auswertung der Plenterzahlen.

#### 5.2.1.4. Plenterziffer

Bei der klassischen Kontrollmethode wird keine Bestandeskarte benutzt (Abschnitt 2.3.1.). Erst mit der Anwendung der Kontrollstichprobe wurde die Bestandeskartierung auch in plenterartigen Beständen üblich. Die heute angewandte Kartierung (z.B. Forsteinrichtung Kanton Bern) unterscheidet zwar zwischen nahezu ideal aufgebauten Plenterwäldern und Überführungsbeständen, vermag aber nicht klar zu definieren, in welcher Schicht ein Übergewicht oder ein Manko besteht. Dieser Mangel muss durch einen zusätzlichen Buchstaben oder durch eine Bestandesbeschreibung behoben werden. Bei der Bestandeskartierung nach Gefügeziffern im Rahmen der baden-württembergischen Forsteinrichtung in „Dauerwäldern“ wird der Bestandesbeschreibung ein hoher Stellenwert zugeschrieben (VON TEUFFEL UND KREBS 1999). Mit der hier vorgeschlagenen Plenterstruktur-Kartierung nach Plenterziffern könnte auf diese Zusätze weitgehend verzichtet werden. Die Plenterziffer ermöglicht, ein Übergewicht oder ein Manko in einzelnen Schichten zu dokumentieren. Ein weiterer Vorteil der Plenterziffer liegt darin, dass sie einfache quantitative Aussagen über die Bestände macht. Aus den Plenterziffern für einzelne Bestände kann die durchschnittliche Plenterziffer für den Gesamtbetrieb berechnet werden. Sie enthält die Information, ob der Betrieb über- oder unterbevorratet ist und in welcher Schicht der Handlungsbedarf am grössten ist. Die Plenterstruktur-Kartierung erfasst und bewertet auch die unteren Schichten (Unterschicht und Jungwuchs), über welche die Kontrollstichprobe keine Aussagen macht. Über die zeitliche und örtliche Dokumentation des Zustandes und der Entwicklung dieser Teilpopulationen leistet sie einen wichtigen Beitrag zu einer besseren Nachhaltigkeitskontrolle.

#### 5.2.2. Standortskarte

Die Standortskartierungen in Schwarzenegg und im Toppwald unterscheiden sich nur in ihrer Feinheit (Abschnitt 4.2.1.2.). Die Kartierung in Schwarzenegg arbeitete mit einer Mindestbreite der Standorte von 10 m. Die Kartierung im Toppwald kann als typisch für die Schweiz bezeichnet werden und verwendete eine Mindestbreite zwischen 20 und 30 m.

Die in Bezug auf Vorrat und Stammzahl relativ kleinen Unterschiede zwischen den einzelnen Standortgruppen sind die Folge sehr kleinflächiger standörtlicher Unterschiede, was sich auch im hohen Anteil der Standortmosaike widerspiegelt (Kap. 3.2., Abschnitt 4.2.3.). Die kleinflächigen Unterschiede erklären, warum zwischen den einzelnen Standorten kaum Unterschiede im Baumwachstum sichtbar sind: Bäume, die auf einem nährstoffarmen Standort stehen, holen sich mit ihren Wurzeln die fehlenden Nährstoffe von einem benachbarten, nährstoffreicheren Stand-

ort. In Bezug auf diesen Kompensationseffekt können beide Untersuchungsgebiete als extrem bezeichnet werden.

Ein eindeutiger Einfluss der Feinheit der Standortkartierung auf die Inventurresultate konnte nicht festgestellt werden. In Schwarzenegg wurden zwar deutlich mehr signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Standortgruppen gefunden als im Toppwald (Abschnitt 4.3.2.), diese Unterschiede können aber eher auf die grössere Probeanzahl und die grösseren Probeflächen in Schwarzenegg zurückgeführt werden. KELLER ET AL. (1986) halten eine Mindestbreite der Standorte von 25 bis 30 m als eine den Erfordernissen der Stichprobeninventur gut angepasste Lösung. Nach ihrer Auffassung bewirken stärker detaillierte Kartierungen bei der Auswertung etwas grössere Standardfehler. Diese Aussage konnte mit den Untersuchungen in Schwarzenegg und im Toppwald weder bestätigt noch widerlegt werden. Es scheint, dass mit einer erhöhten Feinheit der Kartierung keine Verbesserung der Genauigkeit der Inventur erzielt werden kann. Ob die erhöhte Feinheit die Genauigkeit der Inventur in plenterartigen Beständen verschlechtert, muss noch weiter untersucht werden.

Die Berechnungen im Abschnitt 4.2.4. zeigen, dass in plenterartigen Beständen die Poststratifizierung den Standardfehler nur wenig verringert. Aus diesem Grund und wegen der komplizierten Verfahren der Baumauswahl wird schon im Abschnitt 5.1.2. empfohlen, auf die Poststratifizierung zu verzichten. Trotzdem sollte die Standortkartierung für die Bildung von Straten als Auswerteeinheiten herangezogen werden. Standortstraten sind vor allem für die Bildung permanenter Straten geeignet, welche die Rolle der Abteilungen bei der klassischen Kontrollmethode übernehmen. Standortstraten sind hinsichtlich der Wachstumsbedingungen relativ einheitlich, was die Analyse der Inventurdaten wesentlich erleichtert. Für einzelne Standortstraten können Modellvorstellungen ausgearbeitet werden, die den tatsächlichen Zustand besser als bisher wiedergeben.

### 5.2.3. Endstraten

End-Straten sind ein Produkt der Kombination der Standortkarte mit der Bestandeskarte. Dies bedeutet, dass sowohl die Standortverhältnisse als auch die Bestandesstrukturen berücksichtigt werden. Die Arbeit zeigt, dass die besten Ergebnisse durch die Zusammenfassung ähnlicher Bestände erzielt werden. Die Poststratifizierung nach Endstraten verringert die Varianz wesentlich deutlicher als die Poststratifizierung nach Standortstypen oder nach Bestandestypen (Abschnitt 4.2.4.2.). Eine Gruppierung nach Endstraten ist immer dann zu empfehlen, wenn Informationen über Zustandsdaten wie Vorrat gewünscht sind. Der Vorteil von Endstraten ist, dass sie ausgesprochen homogene Gebilde sind. Für Entwicklungsdaten wie Zuwachs oder Nutzung ist die Verwendung von Endstraten problematisch. Bei der Auswertung und bei der Interpretation von Entwicklungsdaten muss beachtet werden, dass Endstraten keine permanente Straten sind und ihre Fläche, ihre Lage und ihre Anteile an der Gesamtfläche sich mit der Zeit ändern. Diese Einflüsse können von anderen Ursachen für Veränderungen nur schwer getrennt werden und es ist nicht möglich, den Einfluss von Flächen- und Lageveränderungen eines Endstratums auf die Entwicklungsdaten zu quantifizieren. Für Informationen über Entwicklungsdaten sind permanente und in ihrer Fläche konstante Standortstraten vorzuziehen.

### 5.2.4. Berücksichtigung der dauernd unbestockten Waldfläche

Der Ausschluss von Waldstrassen und anderen dauernd unbestockten Flächen im Wald aus der inventarisierten Waldfläche bewirkt eine Verringerung der Zahl an Proben und eine kleine Verringerung der Varianz (Abschnitt 4.2.5.). Dies beweist, dass der Ausschluss der dauernd unbestockten Waldfläche die Homogenität innerhalb der Straten erhöht. Auf Proben, deren Zentrum auf der Strasse liegt, kann ohne einen Verlust an Genauigkeit verzichtet werden. Der Verzicht

ist auch wirtschaftlich interessant, weil die harte Oberfläche der Strasse die Markierung des Probezentrums und das Aufstellen der Bussole deutlich erschwert und verzögert.

Die Schätzungen für die lokalen Dichten liegen immer höher, wenn die dauernd unbestockte Waldfläche ausgeschlossen ist. Zudem liefern die Schätzungen echte lokale Dichten, die nicht durch unterschiedliche Strassendichten oder Dichten sonstiger dauernd unbestockter Flächen beeinflusst sind. Dies ermöglicht, die Bestockungen von Betrieben mit unterschiedlicher Strassendichte einwandfrei zu vergleichen. Den möglichen Einfluss von Strassen und anderer unbestockter Flächen auf Inventurergebnisse zeigt eine Berechnung aus der vorliegenden Arbeit: In der untersten Durchmesserstufe beträgt der Unterschied zwischen den Stammzahldichten mit und ohne Einbezug der dauernd unbestockten Flächen bis zu 15 Bäume pro ha. Auch wenn dieses Ergebnis nur in einigen Straten mit hoher Strassendichte vorliegt, wird deutlich, dass der relativ grosse Unterschied (bei einer idealen Stammzahl in dieser Stufe von 140 Bäume je ha) den waldbaulichen Entscheid zur Nachwuchsförderung beeinflussen kann.

Die Untersuchungen von SCHMID (1969) und TIHONEN (1969) zeigen, dass Bäume bzw. Bestände am Waldrand anders wachsen als im Bestandesinnern. Während Stammzahl, Vorrat, Mitteldurchmesser und Zuwachs am Waldrand grösser sind als im Bestandesinnern, sind Oberhöhe und Mittelhöhe kleiner. Die Inventurergebnisse dieser Arbeit lassen keinen eindeutigen Schluss zu, ob das unterschiedliche Wachstumsverhalten der Bäume auch für den Rand von Waldstrassen gilt. Es ist zu erwarten, dass das Wachstumsverhalten eher den Bäumen im Bestandesinnern als denjenigen am Waldrand ähnelt. Diese Hypothese muss allerdings durch weitere Forschungen bestätigt oder widerlegt werden.

Die Schätzungen für den Gesamtwald sind theoretisch bei beiden Varianten gleich. In der Realität wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Die Variante mit Ausschluss der dauernd unbestockten Waldfläche lieferte in allen Fällen kleinere Schätzungen, wobei die Abweichungen maximal 0,58% betragen. Im Toppwald waren diese Unterschiede kleiner als in Schwarzenegg. Eine Ursache könnten die genaueren Karten im Toppwald sein (Abschnitt 3.3.4.).

Das Inventurverfahren, bei dem die dauernd unbestockte Waldfläche ausgeschlossen wird, kann wegen der Vervielfachung der Waldrandlänge nur bei der Benutzung von GIS-Programmen und nur bei vorhandenen digitalen Karten der dauernd unbestockten Waldfläche empfohlen werden. Die durch das Inventurverfahren mögliche Zeitersparnis ist zu klein und der Unterschied zwischen den Schätzungen nicht so bedeutend, als dass sich die Erstellung von digitalen Karten allein zum Zweck der Inventur finanziell lohnen würde. Wenn aber eine digitale Karte und GIS-Programme vorhanden sind, sollte das Inventurverfahren, welches die dauernd unbestockte Waldfläche ausschliesst, vorgezogen werden.

## 6. Empfehlungen für die Praxis

Damit die Vorteile der Kontrollstichprobe voll zur Geltung kommen, sollte das zu inventarisierende Waldgebiet nicht kleiner als 500 ha sein. Die Probeanzahl in diesem Gebiet hängt von der Anzahl Straten ab. Für sinnvolle Aussagen über ein Stratum werden mindestens 12-15 Proben pro Stratum benötigt.

Das Inventurverfahren, welches für plenterartige Bestände in der Schweiz am besten geeignet ist, ist die permanente einfache Kreisprobe. Für plenterartige Bestände ist eine Probeflächengrösse von 6 bis 7 Aren optimal. Wenn es die Gelände- und Bestandesverhältnisse erlauben, kann die Probefläche grösser sein; sie sollte jedoch auf keinen Fall kleiner als 5 Aren sein.

Mit der Art des Probenetzes können die Marschdistanz und damit auch der Zeitaufwand einer Inventur erheblich beeinflusst werden. Ein Probenetz mit dem Seitenverhältnis 1:3 (Abstand zwischen den Proben in der Linie zum Abstand zwischen den Probelinien) hat sich als günstig erwiesen. Das Seitenverhältnis sollte wegen des steigenden Zeitaufwandes nicht kleiner als 1:2 sein, jedoch wegen der wachsenden Gefahr verzerrter Schätzungen auch nicht grösser als 1:4. Bei Inventuren, wo die Marschzeit zwischen den Proben keine wesentliche Rolle spielt, kann mit Vorteil ein gleichseitiges dreieckiges oder quadratisches Probenetz verwendet werden. Dies betrifft besonders National- und Grossrauminventuren.

Die Kluppschwelle ist zur Kontrolle des Nachwuchses und damit auch der Nachhaltigkeit im Plenterwald möglichst tief zu halten. Bei Kontrollstichproben in plenterartigen Beständen empfiehlt sich eine Kluppschwelle von 8 cm. Sie sollte der in der Schweiz am häufigsten benutzten Kluppschwelle 12 cm vorgezogen werden.

Wenn digitale Karten und GIS-Programme vorliegen, ist es vorteilhaft, die Aufnahmewahrscheinlichkeit einzelner Bäume in die Berechnungsverfahren einzubeziehen. Bei der Auswahl der Bäume und bei der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit kann der Einfachheit halber eine Methode angewendet werden, welche die Stratengrenzen nicht berücksichtigt. Um Verzerrungen der Schätzungen für den Gesamtwald auszuschliessen, ist es bei dieser Methode notwendig, unstratifizierte Schätzer zu benutzen. Damit wird in plenterartigen Beständen auf eine Poststratifizierung verzichtet. Sofern digitale Karten und GIS-Programme vorhanden sind, lohnt es, die dauernd unbestockte Waldfläche (z.B. mit Lastwagen befahrbare Strassen) aus dem zu inventarisierenden Waldgebiet auszuschliessen. Damit werden die Inventurresultate geringfügig verbessert und der Aufwand für die Inventur geringfügig gesenkt.

Wenn digitale Karten oder GIS-Programme fehlen, sollte als Aufnahmemethode die Spiegelung benutzt werden. Als Folge muss auf die Verwendung exakt ermittelter Aufnahmewahrscheinlichkeiten sowie auf die Ausscheidung der dauernd unbestockten Waldfläche verzichtet werden.

Für plenterartige Bestände ist die Plenterstruktur-Kartierung, die in dieser Arbeit beschrieben wurde, anderen Bestandeskartierungen vorzuziehen. Als Instrument, welches mehrere Aufgaben erfüllt, dient sie hauptsächlich der Nachhaltigkeitskontrolle und der waldbaulichen Planung; die Bildung von Straten ist nur eine willkommene Nebenfunktion. Eine vorhandene Standortskarte sollte bei der Bildung von Straten unbedingt einbezogen werden. Standortstraten sind wegen der langfristigen Beständigkeit ihrer Grenzen hervorragend geeignet, als Grundlage bei der Bildung permanenter Straten zu dienen.

## Literaturverzeichnis

### Verwendete Abkürzungen

AFJZ	-	Allgemeine Forst- und Jagdzeitung
AFZ	-	Allgemeine Forstzeitschrift
FCBL	-	Forstwissenschaftliches Centralblatt
SZF	-	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

- Abetz, K., 1950: Zur Kennzeichnung des Vorratsgefüges in Plenterwaldungen. AFZ 5, 28/29: 313.
- Ammon, W., 1927: Das Plenterwaldgebiet von Schwarzenegg. SZF 78, 10: 311-316.
- Ammon, W., 1951: Das Plenterprinzip in der Waldwirtschaft. 3. Aufl. Verlag Paul Haupt, Bern - Stuttgart, 160 S.
- Bachofen, H., 1999: Gleichgewicht, Struktur und Wachstum in Plenterbeständen. SZF 150, 5: 157-170.
- Balsiger, R., 1925: Der Plenterwald und seine Bedeutung für die Forstwirtschaft der Gegenwart. 2. Auflage. Beiheft Nr.1 zur SZF, 107 S.
- Bernasconi, A., Bachmann, P., 1990: Stand und Entwicklung der Forsteinrichtung in den Kantonen. SZF 141, 12: 973-987.
- Biolley, H., 1922: Die Forsteinrichtung auf der Grundlage der Erfahrung und insbesondere das Kontrollverfahren. Ins Deutsche übersetzt von Eberbach, Gebrüder Uttinger, Paris - Neuchâtel - Karlsruhe, 72 S.
- Böhmer, G., I., 1929: Untersuchungen im Plenterwalde. Verhandlungen des internationalen Kongresses forstlicher Versuchsanstalten, Stockholm.
- Boncina, A., 1994: Prebiralni dinarski gozd jelke in bukve. Ljubljana, 94 S.
- Burnand, J., Züst, S., Dickenmann, R., 1986: Einige Aspekte der praktischen Vegetationskartierung. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, S. 216 - 227.
- Bühler, 1922: Waldbau. Band II. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 679 S.
- Burger, T., Stocker, R., Danner, E., Kaufmann, G., Lüscher, P., 1996: Standortkundlicher Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg. Teil 1: Anwenderschlüssel. Teil 2: Anwenderschlüssel : Anhang. Teil 3: Kommentare zu den Waldgesellschaften. Solothurn, Lenzburg : ARGE Kaufmann + Partner / Burger + Stocker. Birmensdorf : WSL [P. Lüscher: Bodenkunde].
- Cotta, H., 1804: Systematische Anleitung zur Taxation der Waldungen. Johan Daniel Sander, Berlin.
- Cotta, H., 1820: Anweisung zur Forsteinrichtung und Abschätzung, 1. Teil. Arnold, Dresden.
- Cochran, W., G., 1977: Sampling Techniques. New York, J. Wiley & Sons. 428 S.
- Dole al, B., 1948: Základní pojmy v učení o kontrolních methodách. Brno, 200 S.
- Eiberle, K., Lanz, A. 1989: Zur Erhebung des Wildverbisses mittels Stichproben. SZF 140, 3: 171-187.
- Ellenberg, H., Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen 48, 4: 589-930.
- Favre, E., 1931: Nouvel exemple d'aménagement par la Méthode du contrôle. Forêt de Boveresse. Mitteilungen der schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, Band XVII.
- Feghhi, J., 1998: Informations- und Metainformationsbedarf für die forstliche Planung im Hinblick auf ein Wald-Informationssystem. Beiheft zur SZF, Nr. 85, 191 S.
- Finney, D., J., 1948: Random and systematic sampling in timber surveys. Forestry, XXII, 1: 64-99.
- Fischer, U., 1993: Auswertung der Betriebsinventur auf Stichprobenbasis im Hinblick auf die Möglichkeit zur Plenterüberführung. Referendararbeit im Ausbildungsabschnitt „Forstamtzeit“, Pfalzgrafenweiler, 62 S.
- Flury, Ph., 1929: Ueber den Aufbau des Plenterwaldes. Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen, XV, 2: 305-357.
- François, 1938: De l' aménagement des sapinières. Bulletin de la Société forestière de Savoie. Revue des Eaux et Forêts.
- von Gadow, K., Stüber, V., 1994: Die Inventuren der Forsteinrichtung. Forst und Holz 5: 129-131.
- Gayer, K., 1880: Der Waldbau. Wiegandt, Hempel, Parey, Berlin. 700 S.
- Graves, H., S., 1906: Forest Mensuration. New York, John Wiley & Sons. 458 S.
- Gurnaud, A., 1878: Cahier d' aménagement pour l' application de la méthode par contenance. Exposé sur la forêt des Eperons (Admis à l' Exposition universelle de 1878). Tremblay & Jaquin, Paris & Besancon, 91 S.
- Halaj, J., 1960: Matematicko-štatistická metóda určovania hmoty porastov. In Biskupsky (Red.): Matematicko-štatistické metódy v hospodárskej úprave a pestovaní lesa. Hrsg. Slovenská akademie vied, Bratislava, S.9 - 75.

- Hanewinkel, M., 1997: Plenterwald und Plenterwaldüberführung. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg. Band 9, 256 S.
- Hartig, G. L., 1795: Anweisung zur Taxation der Forste, oder zur Bestimmung des Holzertrags der Wälder. Heyer, Giessen (weitere Auflagen 1804, 1813, 1819).
- Hartig, G. L., 1808: Anweisung zur Holzzucht für Förster. 6. Auflage, Marburg, 235 S.
- Heyer, C., 1841: Die Waldertrags-Regelung. Giessen.
- Hinrichs, A., Oesten, G., Steinbrenner, M., 1993: Die Betriebsinventur der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg als betriebliches Führungsinstrument. Arbeitspapier 14 – 93, Institut für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft, Alberts – Ludwigs – Universität Freiburg. 74 S.
- Huffel, G., 1927: Les méthodes de l'aménagement forestiers en France. Etude historique. Nancy, Beuger – Levrault, 231 S.
- Hundeshagen, J. Ch., 1826: Die Forstabschätzung auf neuen wissenschaftlichen Grundlagen. Tübingen.
- Indermühle, M., P., 1978: Struktur-, Alters- und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe. Beiheft zur SZF, Nr. 60, 98 S.
- Kätsch, Ch., 1998: Konzeption für ein forstliches Produktionsplanungs- und -steuerungssystem unter besonderer Berücksichtigung der Forsteinrichtung. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, 126; 211 S.
- Keller, W., Gadola, C., Cereghetti, E., 1986: Standortskarten als Grundlagen der Planung. Berichte EAVF, Birmensdorf, 102 S.
- Kleinn, C., Jost, A., 1994: Ueberlegungen zur Planung und Auswertung systematischer Stichproben. SZF 145, 9: 703–719.
- Klötzli, F., 1995: Gemeinsamer Nenner. Wald und Holz, 1: 35.
- Köhl, M., 1994: Statistisches Design für das zweite Schweizerische Landesforstinventar: Ein Folgeinventurkonzept unter Verwendung von Luftbildern und terrestrischen Aufnahmen. Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 69, 1: 1-141.
- Knuchel, H., 1923: Ueber die Anpassung der Betriebseinrichtung an die heutigen waldbaulichen Verhältnisse. SZF 74: 195-204; 229-238; 278-286; 324-332.
- Knuchel, H., 1927: Geschichte der Forsteinrichtung in Frankreich. SZF 78: 153–160; 204–209; 247 – 254.
- Knuchel, H., 1928a: Kritische Betrachtungen über die Méthode du Contrôle. SZF 79: 76-82, 11-115.
- Knuchel, H., 1928b: Zum Aufbau des Plenterwaldes. Eine Bestandesanalyse im Plenterwaldgebiet von Schwarzenegg. SZF 79: 233-238
- Knuchel, H., 1950: Planung und Kontrolle im Forstbetrieb. H. R. Sauerländer & Co., Aarau, 346 S.
- Kramer, H., Akça, A., 1987: Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. J. D. Sauerländer's Verlag, 287 S.
- Krutzsch, H., Lötsch, F., 1938: Holzvorratsinventur und Leistungsprüfung der naturgemässen Forstwirtschaft. Neudamm, Verlag Neuman, 164 S.
- Kurt, A., 1983: Die Nachhaltigkeit und ihre Kontrolle. SZF 134, 2: 93-107.
- Kurt, A., 1987: Die Schweizer Kontrollstichprobe. AFJZ 158: 101–105.
- Kurt, II., 1994: Forsteinrichtung - Nachhaltige Regelung des Waldes. Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Kurth, A., 1954: Die Kontrollidee in der schweizerischen Forstwirtschaft. AFJZ 125, 4.
- Kurth, A., 1965: Neue Wege zur Verwirklichung des Kontrollgedanken in der Forsteinrichtung. AFZ 76: 1-4.
- Kurth, A., 1974: Forstliches Entwicklungskonzept Oberes Emmental. Abteilung für Forstwirtschaft, ETH, Zürich, 137 S., nicht veröffentlicht.
- Lang, P., 1994: Streifzug durch die Forstgeschichte. In Hatzfeldt (Hrsg.): Ökologische Waldwirtschaft. Verlag C. F. Müller, Heidelberg, S. 15 – 36.
- Lanz, A., 1987: Erhebung der Verbissbelastung im wildkundlichen Versuchsrevier der ETH Zürich. Diplomarbeit Abt. Forstwirtschaft ETH Zürich. 49 S. (unveröffentlicht).
- Leibundgut, H., 1940: Femelschlag und Plenterung. SZF 91.
- Leibundgut, H., 1945: Waldbauliche Untersuchungen über den Aufbau von Plenterwäldern. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen XXIV, 1: 219–296.
- Leibundgut, H., 1949: Grundzüge der schweizerischen Waldbaulehre. FCBL 68, 5: 257-291.
- Leibundgut, H., 1953: Beitrag zur Anwendung und zum Ausbau der Kontrollmethode im Plenter- und Femelschlagwald. SZF 104, 1/2: 32–41.
- Leibundgut, H., 1979: Zur Beschreibung und Strukturanalyse von Waldbeständen; SZF 130, 9/10: 812-816.
- Leimbacher, W., 1968: Die Waldungen von Ober- und Unterlangenegg (Linden- und Buchschachenwald). EAFV, 24 S., nicht veröffentlicht.
- Liocourt de, F., 1898: De l'Aménagement des Sapinières. B.S.F. :396–409.
- Magin, R., 1959: Struktur und Leistung mehrschichtiger Wälder in den Bayerischen Alpen. Mitt. a. d. Staatsforstverw. Bayerns, 30. München.
- Mahrer, F., Vollenweider, Ch., 1983: Das Landesforstinventar der Schweiz. Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, Nr. 247, 26 S.

- Mandallaz, D., 1991: A unified approach to sampling theory for forest inventory based on infinite population and superpopulation models. Dissertation Nr. 9378, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum ETH Zürich, 256 S.
- Mandallaz, D., 1993: Geostatistical method for double sampling scheme. Chair of forest inventory and planning, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich.
- Mandallaz, D., 1997: The Anticipated Variance: a Tool for the Optimization of Forest Inventories. Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich, 73 S.
- Mandallaz, D., Ye, R., 1999: Forest inventory with optimal two-phase, two-stage sampling schemes based on the anticipated variance. Canadian Journal, 29 : 1691–1708.
- Mantel, W., 1959: Forsteinrichtung. J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 262 S.
- Mantel, K. (Herausgeber), 1967: Deutsche forstliche Bibliographie 1560 - 1965. Teil I. Freiburg i. Br.
- Matérn, B., 1985: Spatial variation. Berlin a.o.: Springer, 151 S.
- Meyer, H., A., 1931: Die Bestimmung des ökonomischen Vorrates und die Ertragsregelung auf der Grundlage der Kontrollmethode. SZF 82, 10: 296–305.
- Meyer, H., A., 1933: Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. SZF 84: 33–46; 88–103; 124–131.
- Meyer, H., A., 1934: Die rechnerische Grundlagen der Kontrollmethode. Beiheft zur SZF Nr. 13, 122 S.
- Meyer, H., A., 1935: A simplified increment determination on the basis of stand tables. Journal of Forestry, 33, 9: 799–806.
- Meyer, H., A., 1949a: Berechnung und Auswertung des Stärkezuwachses. SZF 100, 1: 27–38.
- Meyer, H., A., 1949b: Cruising intensity and Accuracy of Cruise. Journal of Forestry,
- Meyer, H., A., 1951: Vorratszunahme und Nutzung im ungleichaltrigen Wald. SZF 102, 2/3: 119–132.
- Mitscherlich, G., 1952: Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. Schriftenreihe der Badischen Forstlichen Versuchsanstalt, Heft 8, S. 3–42.
- Pommerening, A., Lewandowski, A., 1997: Zur Stichprobensimulation in strukturreichen Wäldern. AFJZ 168, 3: 63–66.
- Pradé, J., 1956: Inventaires forestiers et méthode statistique. Revue f. française.
- Prodan, M., 1944: Zuwachs und Ertragsuntersuchungen im Plenterwald – Ein Beitrag zur Methodik der Ertragsuntersuchungen im Plenterwald dargestellt anhand der Ergebnisse der badischen Plenterwaldversuchsflächen. Diss. Universität Freiburg, 135 S.
- Prodan, M., 1947: Der Stärkezuwachs in Plenterbeständen. SZF 98, 7: 275–288.
- Prodan, M., 1949: Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwalde. SZF 100, 2: 81–99.
- Prodan, M., 1949: Normalisierung des Plenterwaldes? Schriftenreihe der Badischen Forstlichen Versuchsanstalt, Heft 7, 21 S.
- Prodan, M., 1955: Untersuchungen über die Durchführung von Repräsentativaufnahmen. AFJZ 126, 1: 15–33.
- Prodan, M., 1965: Holzmesslehre. Frankfurt an Main: Sauerländer's Verlag. 644 S.
- Pressler, R. M., 1859: Der rationelle Waldwirt und seine Nachhaltswaldbau des höchsten Bodenreinertrags.
- Pretzsch, H., 1985: Die Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldversuche in den ostbayerischen Forstämter Freyung und Bodenmais. Forstarchiv, 1: 3–9.
- Rhody, B., 1969: Bestandestypenausscheidung im Plenterwald mit dem Luftbild. SZF 120, 10: 559–566.
- Richter, A., Grossmann, H., Thiele, H., 1953: Beiträge zur Methodik der Holzvorratsinventuren auf mathematisch – statistischer Grundlage. Archiv für Forstwesen, Zürich, 2: 31–480.
- Richter, A., 1958: Wesen und Anwendungsbereich mathematisch-statistischer Holzvorrats- und Zuwachsinventuren. In „O výberkových lesoch na Slovensku“, Verlag der Slowakischen Akad. der Wissenschaft, S.132 – 145.
- Röhrh, A., M., 1927: Geschichtliche Entwicklung und waldbauliche Bedeutung der Vorrats- und Zuwachsmethoden. Neudamm, 176 S.
- Rüsch, W., 1983: Zur Hiebsatzbestimmung in schlagweisen Hochwälder. Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, 59, 4: 439–567.
- Sabarowski, J., 1990: Schätzung von Varianzen und Konfidenzintervallen aus mehrstufigen Stichproben. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, Band 99, 135 S.
- Schädelin, W., 1931: Ueber Klasseneinteilung und Qualifikation der Waldbäume. SZF 82, 1: 1–12.
- Schaeffer, A., Gazin, A., Alverny de, A., 1930: Sapinière. Les Presses universitaires de France, Paris, 100 S.
- Schmid, P., 1963: Vergleich von Vollkluppierung und Stichprobenaufnahme. SZF 114, 7: 412–425.
- Schmid, P., 1967a: Die Weiterentwicklung der Leistungskontrolle in der Schweiz. Wissenschaftliche Zeitschrift Techn. Univ. Dresden: 545–549.
- Schmid, P., 1967b: Stichprobenerhebung Ober- und Unterlangeneegg Plenterwald. Aufnahme mit ständigen Probeflächen. Eidgenössischer Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, 11 S., nicht veröffentlicht.

- Schmid, P., 1969: Stichproben am Waldrand. Mitteilungen Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen 45, 3: 233-303.
- Schmid, P., 1970: Probleme der Waldinventur. SZF 121, 7: 506-521.
- Schmid-Haas, P., 1972: Planung im Walde. SZF 123: 223-242.
- Schmid-Haas, P., 1989: Schweizer Kontrollstichprobenverfahren in der Forsteinrichtung. SZF 140, 1: 43-56.
- Schmid-Haas, P., 1992: Temporäre oder permanente Stichproben für die Forsteinrichtung? Österreichische. Forstzeitung, 1: 13-17.
- Schmid-Haas, P., Baumann, E., Werner, J., 1993: Kontrollstichproben: Aufnahmeinstruktion. Berichte Eidgenöss. Forschungsanstalt Wald Schnee Landschaft, 186, 3. Auflage, 143 S.
- Schmid-Haas, P., Frei, Ch., Kölbl, O., 1985: Beiträge zur Bestandeskarte. 2. Auflage, Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, 81 S.
- Schmid-Haas, P., Keller, W., Gadola, C., 1984: Integrale Planung im Forstbetrieb. Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, Bericht 266, 116 Seiten.
- Schütz, J.-Ph., 1975: Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin. SZF 126, 9: 637-671.
- Schütz, J.-Ph., 1989: Der Plenterbetrieb. Unterlage zur Vorlesung Waldbau III, Fachbereich Waldbau, ETH Zürich, 54 S.
- Schütz, J.-Ph., 1994: Geschichtlicher Hergang und aktuelle Bedeutung der Plenterung in Europa. AFJZ 165, 5-6: 106-114.
- Schütz, J.-Ph., 1997: Sylviculture 2. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 178 S.
- Schwappach, A., 1925: Die Ermittlung des laufendjährigen Zuwachses auf Versuchsflächen und bei der Forsteinrichtung. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 57,6: 351-357.
- Soest, J. von, Ayrat, P., Schober, R., Hummel, R., 1959: Die Normung holzmesskundlicher Symbole. IUFRO.
- Sommer, H., G., 1961: Tannenkronen im Plenterwald. FCBL 80: 215-223.
- Sommer, H., G., 1962: Alter und Baumhöhen in Plenterbeständen. FCBL 81: 11-17.
- Sommer, H., G., 1963: Lokaltarif für einen Plenterwald im Bayerischen Wald. FCBL.
- Speidel, G., 1972: Planung im Forstbetrieb. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 267 S.
- Spiecker, H., 1986: Das Wachstum der Tannen und Fichten auf Plenterwald - Versuchsflächen des Schwarzwaldes in der Zeit von 1950 bis 1984. AFJZ 157, 8: 152-164.
- Stierlin, H.-R., Brändli, U.-B., Herold, A., Zinggeler, J., 1994: Schweizerisches Landesforstinventar. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft; Birmensdorf, 204 S.
- Stott, C., B., Semmes, G., 1962: Our Changing Inventory Methods and the CFI System in North America. In: Proceedings 5<sup>th</sup> World Forest Congress, Seattle, 1: 451-454.
- Teuffel von, K., Krebs, M., 1999: Forsteinrichtung im Wandel. AFZ/Der Wald, 16: 858-864.
- Tiihonen, P., 1969: Zuwachsverhältnisse an Waldrändern in Finnland. Mitteilung der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen 45, 3: 305-318.
- Tichý, A., 1884: Die Forsteinrichtung in Eigenregie. Verlag Paul Parey, Berlin, 37 S.
- Tichý, A., 1891: Der qualifizierte Plenterbetrieb. Verlag A. Buchholz, München, 63 S.
- Turckheim de, E., 1986: Recherche d'un inventaire optimum pour une entreprise forestière privée en Alsace. Diplomarbeit an der Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich, 76 S. (unveröffentlicht).
- Tzschupke, W., 1991: Betriebs- oder bestandesweise Waldzustandsinventurverfahren für die Forsteinrichtung? AFJZ 162, 10: 195-200.
- Vaulot, G., 1914: Détermination des accroissements en diamètre des arbres. Revue des Eaux et Forêts, 53, 5: 145-154.
- Weidenbach, P., Karius, K., 1993: Betriebsinventur auf Stichprobenbasis als Element moderner Forsteinrichtung. AFZ 48, 13: 685-688.
- Weidmann, A., 1961: Eignung verschiedener Messargumente und Berechnungsmethoden für die Erfassung von Zustand und Zustandsänderungen von Bestockungen. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen. 37, 1: 125 S.
- Wittich, 1932: Gegenwartsfragen aus dem Gebiete der Forsteinrichtung in ihrer Bedeutung für den norddeutschen Kiefernwald. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. S. 37.
- Wolf, I.-Ch., (1988): Betriebsinventuren mit permanenten Probeflächen. Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie und der Abteilung für Luftbildmessung und Fernerkundung der Universität Freiburg i. Br. 161 S.
- Ye, R., 1997: Fiesta - A Software for Forest Inventory Simulation (SAS Version). Technical Report, Chair of forest Inventory and Planning, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, 23 S.
- Zingg, A., 1994: Oberhöhen in Plenterwaldversuchsflächen. In: [Tagungsband] Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde. Jahrestagung vom 16. - 18. Mai 1994, Bamberg. Freiburg i. Br. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten: S. 236 - 246.
- Zöhner, F., 1980: Forstinventur. Verlag Paul & Parey, Hamburg und Berlin, 207 S.

## Anhang

Statistische Auswertung – Grundbegriffe und Definitionen .....	159
Bestockte Waldfläche nach Standort. Untersuchungsgebiet Schwarzenegg.....	162
Flächenverteilung nach Standort und Betriebsart. Schwarzenegg.....	163
Ökogramm der untermontanen Stufe .....	164
Ökogramm der obermontanen Stufe .....	165
Beispiel der Standortskarte .....	167
Beispiel der Bestandskarte .....	168
Beispiel der Endstraten-Karte.....	169
Beispiele für die Darstellung der Inventurresultate.....	170

## Statistische Auswertung – Grundbegriffe und Definitionen

Die Formel und die Notation in diese Kapitel stützt sich auf die Arbeiten von MANDALLAZ (1987, 1991, 1997, 1999).

$P$  Population von  $N$  definierten (z.B. durch die Kluppschwelle) Individuen (z.B. Bäumen), die quantitative Grössen (z.B. BHD, Volumen, Grundfläche, Zuwachs) oder qualitative Merkmale (z.B. Baumart, Gesundheitszustand, soziale Stellung) annehmen.

Ziel eine Stichprobe bei der Forstinventuren ist, folgende wahre Werte - **Totale, Dichte und Quotienten** - zu schätzen. Sie sind wie folgt definiert:

$$T_G^{(m)} = \sum_{i \in G} Y_i^{(m)} \quad \text{Gesamttotal}$$

$$\bar{Y}_G^{(m)} = \frac{1}{\lambda(G)} \sum_{i \in G} Y_i^{(m)} \quad \text{wahre mittlere Dichte}$$

$$R_{l,m} = \frac{T_G^{(l)}}{T_G^{(m)}} = \frac{\bar{Y}_G^{(l)}}{\bar{Y}_G^{(m)}} \quad \text{Quotient}$$

wobei  $Y_i^{(m)}$  die  $m$ -te Zielgrösse beim  $i$ -tem Baum bezeichnet.

In dieser Arbeit wurde ein Stichprobenansatz gewählt, wo die gesuchte Grössen durch die Lokalen Dichten  $Y(x)$  mit Hilfe der Aufnahmewahrscheinlichkeit  $\pi_i$  geschätzt werden.

$\lambda(F)$  Fläche eines Waldgebietes  $F$

$\lambda(F_j)$  Fläche eines Teilgebietes (Stratums)  $F_j$ ; es gilt  $F_j \subset F$

$K_i(r)$  ein Kreis um den  $i$ -ten Baum mit einem Radius  $r$

$\pi_i = \frac{\lambda(K_i(r) \cap F)}{\lambda(F)}$  Aufnahmewahrscheinlichkeit des  $i$ -ten Baumes

$\pi_i^j = \frac{\lambda(K_i(r) \cap F_j)}{\lambda(F_j)}$  Aufnahmewahrscheinlichkeit des  $i$ -ten Baumes in der Strate  $j$

$I_i(x)$  Indikator des  $i$ -ten Baumes, der bestimmt, ob der Baum vom Punkt  $x$  aus aufgenommen wird ( $= 1$ ) oder nicht ( $= 0$ ).

### Einfache Stichprobe ohne Poststratifizierung

Die durchgeführten Inventuren sowie auch Simulationen im Programm FIESTA repräsentieren eine einstufige, einphasige Stichprobeninventur. Mit Hilfe der Aufnahmewahrscheinlichkeit wurden lokale Dichten auf eine Probe ermittelt aus welchen alle gesuchte Schätzungen berechnet wurden. Es wurden folgende Berechnungen durchgeführt:

-**Lokale Dichte** im Punkt  $x$

$$Y^{(l)}(x) = \frac{1}{\lambda(F)} \sum_{i=1}^N \frac{I_i(x) Y_i^{(l)}}{\pi_i}$$

-erwartungstreue Schätzung der wahren mittleren Dichte (**geschätzter Mittelwert**)

Seien nun  $x_1, x_2, \dots, x_n$   $n$  unabhängige uniform verteilte Punkte im  $F$ .

$$\hat{Y}^{(l)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y^{(l)}(x_k)$$

-biasfrei Schätzung der **Varianz** des geschätztem Mittelwerts

$$\hat{V}(\hat{Y}^{(l)}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (Y^{(l)}(x_k) - \hat{Y}^{(l)})^2$$

-biasfrei Schätzung der **Varianz zwischen Proben**

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (Y^{(l)}(x_k) - \hat{Y}^{(l)})^2$$

-**Standardfehler** des geschätzten Mittelwerts

$$SF^{(l)} = \sqrt{\hat{V}(\hat{Y}^{(l)})}$$

-**Standardfehler in %** des geschätzten Mittelwertes

$$SF^{(l)} \% = \frac{SF^{(l)}}{\hat{Y}^{(l)}} \cdot 100$$

-**95% Vertrauensintervall** für geschätzten Mittelwert

$$\hat{Y}^{(l)} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \cdot SF^{(l)} \quad \text{wobei } t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \text{ t-Wert}$$

-erwartungstreue Schätzung des wahren **Anteils**

$$\hat{R}_{l,m} = \frac{\hat{Y}_l}{\hat{Y}_m}$$

-biasfreie Schätzung der **Varianz** vom geschätzten Anteil

$$\hat{V}(\hat{R}_{l,m}) = \frac{1}{n \cdot (n-1) \cdot (\hat{Y}^{(m)})^2} \sum_{k=1}^n (Y^{(l)}(x_k) - \hat{R}_{l,m} \cdot Y^{(m)}(x_k))^2 = \frac{\hat{\sigma}_R^2}{n}$$

wobei  $\hat{Y}^{(m)}$  geschätzter Mittelwert der Gesamtpopulation  $m$

-biasfrei Schätzung der **Varianz zwischen Proben** ist dann

$$\hat{\sigma}_R^2 = \frac{1}{(n-1) \cdot (\hat{Y}^{(m)})^2} \sum_{k=1}^n (Y^{(l)}(x_k) - \hat{R}_{l,m} \cdot Y^{(m)}(x_k))^2$$

-**Standardfehler** und **Vertrauensbereich** für geschätzten Anteil – Berechnung ist analog wie beim geschätzten Mittelwert.

### Einfache Stichprobe mit Poststratifizierung

Die Poststratifizierung basiert auf der Gewichtung von einzelnen Straten nach ihrem Flächenanteil. Die Poststratifizierung darf nur beim bestimmten Auswahlverfahren der Bäume und der Berechnung der Aufnahmewahrscheinlichkeit benutzt werden, die im Kapitel 3.1.5. als Variante 1 bezeichnet wurde. Es wurden folgende Berechnungen durchgeführt:

-**Flächenanteile**  $j$ -tes Stratums

$$P_j = \frac{\lambda(F_j)}{\lambda(F)}$$

-erwartungstreue Schätzung der wahren mittleren Dichte im  $j$ -ten Stratum (**geschätzter Mittelwert des Stratums  $j$** )

$$\hat{Y}_j^{(l)} = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} Y^{(l)}(x_k) \quad x_k \in F_j$$

-biasfrei Schätzung der **Varianz** des geschätztem Mittelwerts im j-ten Stratum

$$\hat{V}_j(\hat{Y}_j^{(l)}) = \frac{1}{n_j(n_j-1)} \sum_{k=1}^{n_j} (Y^{(l)}(x_k) - \hat{Y}_j^{(l)})^2 \quad x_k \in F_j$$

-biasfrei Schätzung der **Varianz zwischen Proben** im j-ten Stratum

$$\hat{\sigma}_j^2 = \frac{1}{(n_j-1)} \sum_{k=1}^{n_j} (Y^{(l)}(x_k) - \hat{Y}_j^{(l)})^2 \quad x_k \in F_j$$

-erwartungstreue Schätzung der wahren mittleren Dichte im Gesamtwald (**geschätzter Mittelwert für den Gesamtwald**)

$$\hat{Y}^{(l)} = \sum_{j=1}^L p_j \cdot \hat{Y}_j^{(l)}$$

-asymptotisch biasfrei Schätzung der **Varianz** des geschätzten Mittelwerts für den Gesamtwald

$$\hat{V}(\hat{Y}^{(l)}) = \sum_{j=1}^L p_j^2 \cdot \hat{V}_j(\hat{Y}_j^{(l)}) = \sum_{j=1}^L p_j^2 \cdot \frac{\hat{\sigma}_j^2}{n_j}$$

-erwartungstreue Schätzung des wahren **Anteils** im Stratum j

$$\hat{R}_{l,m,j} = \frac{\hat{Y}_j^{(l)}}{\hat{Y}_j^{(m)}}$$

-biasfreie Schätzung der **Varianz** vom geschätzten Anteil im Stratum j

$$\hat{V}_j(\hat{R}_{l,m,j}) = \frac{1}{n_j \cdot (n_j - 1) \cdot (\hat{Y}_j^{(m)})^2} \sum_{k=1}^{n_j} (Y^{(l)}(x_k) - \hat{R}_{l,m,j} \cdot Y^{(m)}(x_k))^2 \quad x_k \in F_j$$

-asymptotische erwartungstreue Schätzung des wahren **Anteils** für den Gesamtwald

$$\hat{R}_{l,m} = \frac{\sum_{j=1}^L p_j \cdot \hat{Y}_j^{(l)}}{\sum_{j=1}^L p_j \cdot \hat{Y}_j^{(m)}}$$

-asymptotische biasfreie Schätzung der **Varianz** vom geschätzten Anteil für den Gesamtwald

$$\hat{V}(\hat{R}_{l,m}) = \frac{1}{(\hat{Y}^{(m)})^2} \sum_{j=1}^L p_j^2 \cdot \hat{V}_j$$

$$\hat{V}_j = \frac{1}{n_j \cdot (n_j - 1)} \sum_{k=1}^{n_j} ((Y^{(l)}(x_k) - \hat{Y}_j^{(l)}) - \hat{R}_{l,m} \cdot (Y^{(m)}(x_k) - \hat{Y}_j^{(m)}))^2 \quad x_k \in F_j$$

-**Standardfehler** und **Vertrauensbereich** für geschätzten Mittelwert sowie auch geschätzten Anteil ist analog wie bei Stichprobe ohne Poststratifizierung

## Bestockte Waldfläche je nach Standort

### Untersuchungsgebiet Schwarzenegg

STANDORT	Fläche in ha	Anzahl Proben	STANDORT	Fläche in ha	Anzahl Proben	STANDORT	Fläche in ha	Anzahl Proben
<b>alle</b>	<b>500.25</b>	<b>428</b>	18s/46g	0.54		46a/s/27 <sup>ho</sup> /49/56	0.43	
18a	18.11	14	18s/49	1.70	2	46a/18s	0.82	1
18a(18a <sub>F</sub> )	3.14	2	18s <sub>E</sub>	3.92	4	46a/26 <sup>ho</sup>	0.32	1
18a(18pi)	0.07		18s <sub>E</sub> /19 <sup>ps</sup>	0.09		46e	111.63	96
18a(18pi)/18s	1.42		18s/49	1.72	2	46e(18a)	0.22	
18a/18a(17)	0.80		18w	1.61	2	46e(19 <sup>ps</sup> )	0.07	1
18a/18a <sub>F</sub>	2.25	2	18w/27 <sup>ho</sup>	0.13		46e/18a	0.38	
18a/18d	0.45		19	3.97	5	46e/18a/18s/20	0.66	1
18a/18s	12.21	11	19pi	0.13		46e/18a/20	0.29	
18a/18s/18d	0.91	1	19 <sup>ps</sup>	12.91	11	46e/18s	1.65	1
18a/18s/20	0.26		19 <sup>ps</sup> (46a)	1.76	2	46e/18s/20	0.27	
18a/18s/20/46e	0.47		19 <sup>ps</sup> (46e)	2.10	1	46e/27 <sup>ho</sup>	0.10	
18a/18w	0.50		19 <sup>ps</sup> (50d)	1.21	1	46e/46a/19 <sup>ps</sup>	0.98	1
18a/19 <sup>ps</sup>	0.13	1	19 <sup>ps</sup> /18s	0.31		46e/46a/20	0.33	
18a/20	5.22	5	19 <sup>ps</sup> /18s/46e	0.29		46e/46g/49	0.40	
18a/20/18a <sub>F</sub>	1.75	2	19 <sup>ps</sup> /20	4.18	5	46e/49	1.03	
18a/20/18s	0.34		19 <sup>ps</sup> /27 <sup>ho</sup> /18s	0.44		46e/49/19 <sup>ps</sup> /18s	0.73	1
18a/49	0.49	1	19 <sup>ps</sup> /49	0.46		46e/18s	1.77	1
18a <sub>F</sub>	7.56	7	19 <sup>ps</sup> /18s	0.64	1	46g	8.44	5
18a <sub>F</sub> (19 <sup>ps</sup> )	1.50	1	19 <sup>ps</sup> /20	1.26		46g(49)	0.05	
18a <sub>F</sub> (46e)	1.47	2	19 <sup>ps</sup> /49	0.45	1	46s	14.15	15
18a <sub>F</sub> /20	0.21		20	11.65	5	46s(49)	0.22	
18d	3.19	3	20(49)	0.29		46s/46a	1.10	2
18d(19 <sup>ps</sup> )	0.37	1	20/18a	4.22	5	46s/49	0.87	
18d(46e)	3.95	3	20/18a/27 <sup>ho</sup>	0.41	1	49	72.15	56
18d/18a	0.45	1	20/18s	0.98		49(18s)	0.07	
18d/20	0.18		20/18s/18a	0.98	1	49/18s	1.16	
18pi	1.13	2	20/19	0.69	1	49/18s/19 <sup>ps</sup>	0.31	1
18pi(17)	0.26		20/46e	0.07		49/18s/46a	3.80	4
18pi(18w)	0.16		20/18a	3.63	3	49/46a	1.09	
18s	21.79	18	20/19 <sup>ps</sup>	1.15	2	49/46e/18s	0.36	1
18s(18w)	0.13		20pi	0.19		49/18s	0.12	1
18s(20)	0.05		26 <sup>ho</sup>	0.23		49/19ps	0.61	1
18s(46a)	0.23		26 <sup>ho</sup> /27 <sup>ho</sup>	0.40	1	49ex	1.38	2
18s(46e)	0.79	1	26 <sup>ho</sup> /27 <sup>ho</sup>	0.19		50a	1.10	
18s(49)	1.46		27 <sup>ho</sup>	13.15	10	50a(20)	1.24	2
18s(50a)	0.94	1	27 <sup>ho</sup> (26 <sup>ho</sup> )	0.36		56	0.07	
18s/18a	5.07	6	27 <sup>ho</sup> (49)	0.16		56ex	3.45	5
18s/18a/18d	1.55	1	27 <sup>ho</sup> /18s	0.90		56ex(71ex)	2.25	2
18s/18a/49	0.58	1	27 <sup>ho</sup> /20	0.27		56ex/46s	1.02	1
18s/19ps	2.59	2	27 <sup>ho</sup> /26 <sup>ho</sup>	0.47	1	56ex/49	0.94	1
18s/20	0.93	2	27 <sup>ho</sup> /26 <sup>ho</sup>	5.03	2	56ex/71ex/49	0.18	
18s/20/18a	0.49	1	27pi	0.07	1	56ex/49	1.21	2
18s/20/27ho	0.34	1	46a	42.45	37	71ex	7.15	6
18s/26ho	0.06		46a(18a)	2.55	1	71ex/56ex	0.41	1
18s/27ho	1.78	2	46a(18s)	0.32		[17]	0.15	
18s/27ho/46e	0.71	1	46a(19 <sup>ps</sup> )	1.60		[18s]	0.20	
18s/46a	0.64		46a/18s	0.91	1	[44]	0.03	
18s/46e	0.24		46a/18s/18a/19 <sup>ps</sup>	0.32		[46e]	0.63	1
18s/46e/18a/27 <sup>ho</sup>	0.18		46a/46s	3.67	4	[46g]	0.51	1
18s/46e/49	1.49	1	46a/49	1.63	3	[49]	1.75	2

#### Erklärungen:

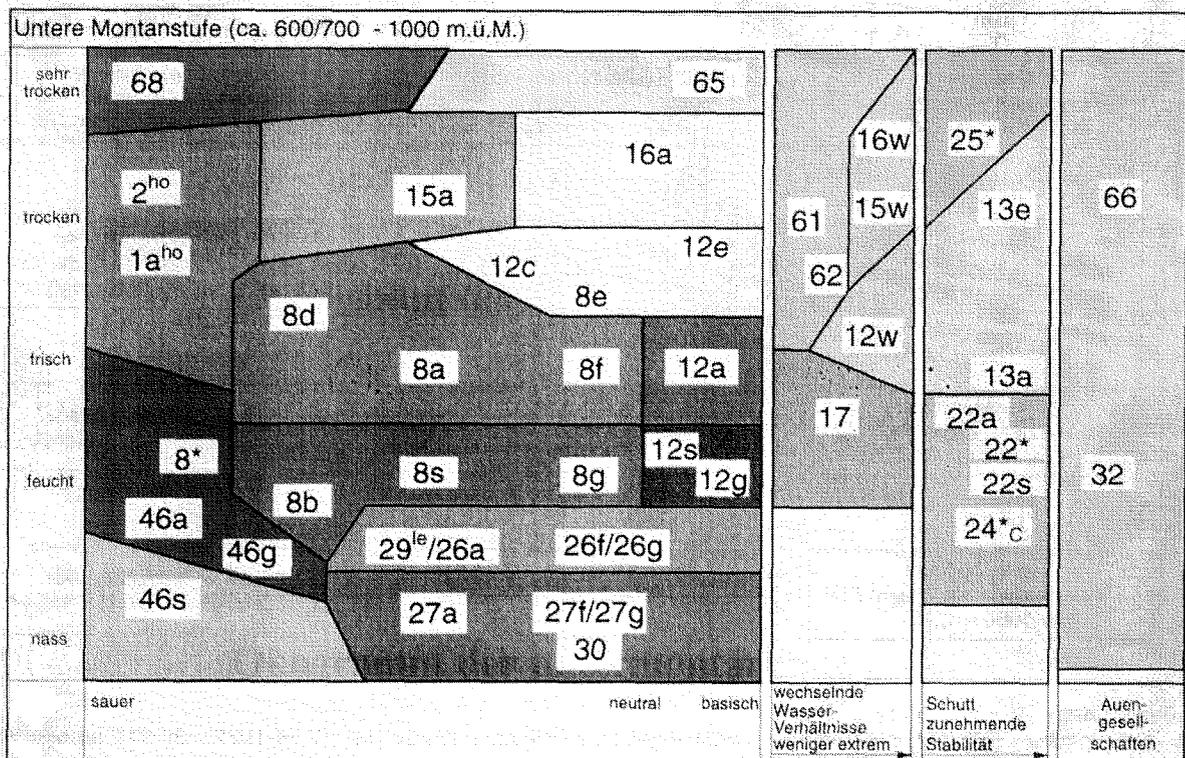
- 18s/18a Standortsmosaik – auf der Fläche kommen mehrere Standorte nebeneinander vor. Vorne stehende Standort nimmt mehr Fläche an, als der Standort hinter ihm.
- 18s/18a Standortsmosaik – der unterstrichene Standort nimmt mindestens zwei Drittel der Fläche an.
- 18s/18a Standortsmosaik – der doppelt unterstrichene Standort nimmt mindestens drei Viertel der Fläche an.
- 18d(46d) Übergang zwischen zwei Standorten (Beispiel Standort 18d mit Anklängen des Standorts 46d)
- [18s] unsichere Bestimmung des Standorts

## Flächenverteilung nach Standort und Betriebsart

### Schwarzenegg nur bestockte Flächen

Fläche (ha) Prozent	Standortstyp					
	1	2	3	4	5	Total
<b>Plenterwald</b>	<b>22.71</b>	<b>20.99</b>	<b>30.54</b>	<b>74.27</b>	<b>1.00</b>	<b>149.51</b>
	4.54	4.2	6.11	14.85	0.2	29.89
	21.83	15.19	27.33	14.04	30.25	20.43
				36.85	49.68	5.96
						0.67
<b>Ueberführung</b>	<b>64.80</b>	<b>47.67</b>	<b>64.19</b>	<b>118.44</b>	<b>12.98</b>	<b>308.08</b>
	12.95	9.53	12.83	23.67	2.6	61.58
	62.29	21.03	62.07	15.48	63.58	20.84
				58.75	38.44	77.83
						4.22
<b>Femelschlag</b>	<b>16.61</b>	<b>8.18</b>	<b>6.26</b>	<b>8.91</b>	<b>2.70</b>	<b>42.66</b>
	3.3	1.63	1.24	1.77	0.54	8.53
	15.88	38.71	10.6	19.08	6.17	14.59
				4.4	20.8	16.21
						6.34
<b>Total</b>	<b>104.12</b>	<b>76.84</b>	<b>100.99</b>	<b>201.62</b>	<b>16.68</b>	<b>500.25</b>
	20.8	15.35	20.18	40.29	3.34	100

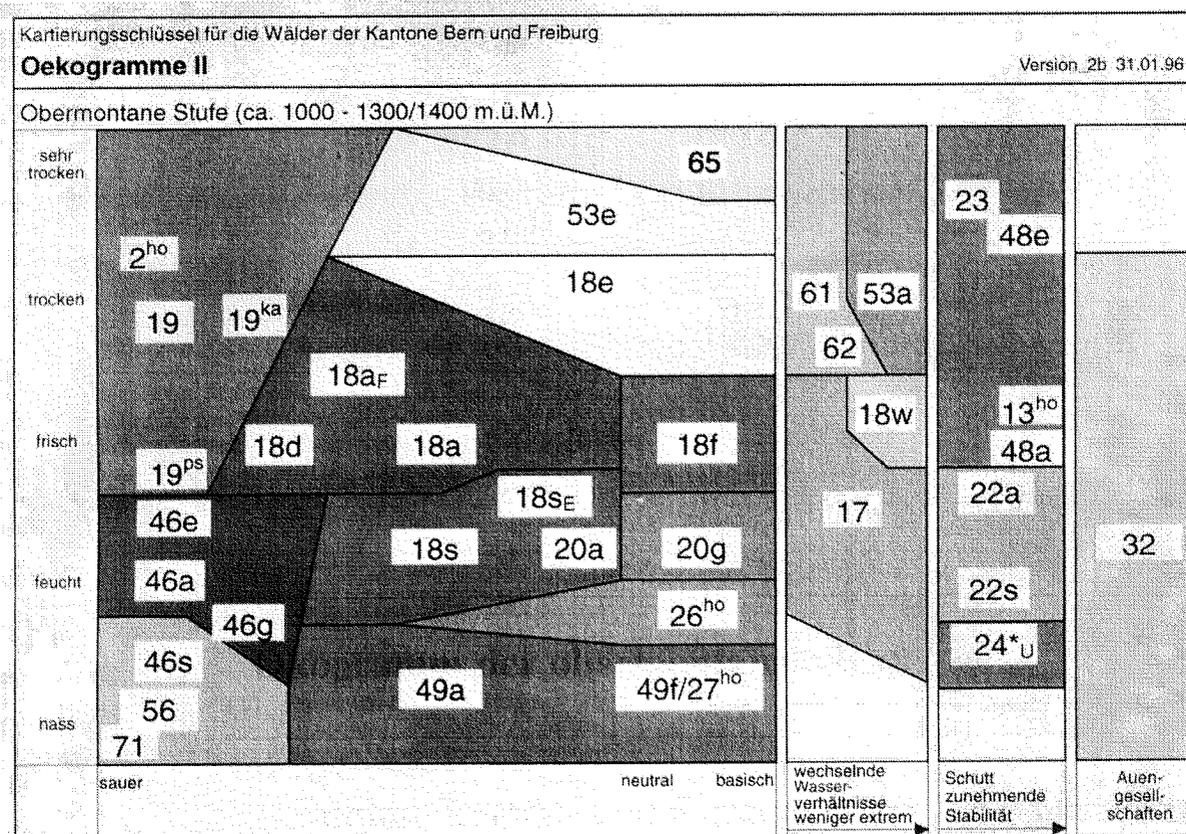
## Ökogramm der untermontanen Stufe



### Im Toppwald vorkommende Gesellschaften

- 1aho Typischer Wald-Hainsimsen-Buchenwald, Ausbildung höherer Lagen  
*Luzulo silvaticae-Fagetum typicum*, Ausbildung höherer Lagen
- 8d Waldhirsen-Buchenwald mit Hainsimse  
*Milio-Fagetum luzuletosum*
- 8s Waldhirsen-Buchenwald mit Wald-Ziest  
*Milio-Fagetum satachyetosum silvaticae*
- 8\* Waldhirsen-Buchenwald mit Rippenfarn  
*Milio-Fagetum blechnetosum*

## Ökogramm der obermontanen Stufe



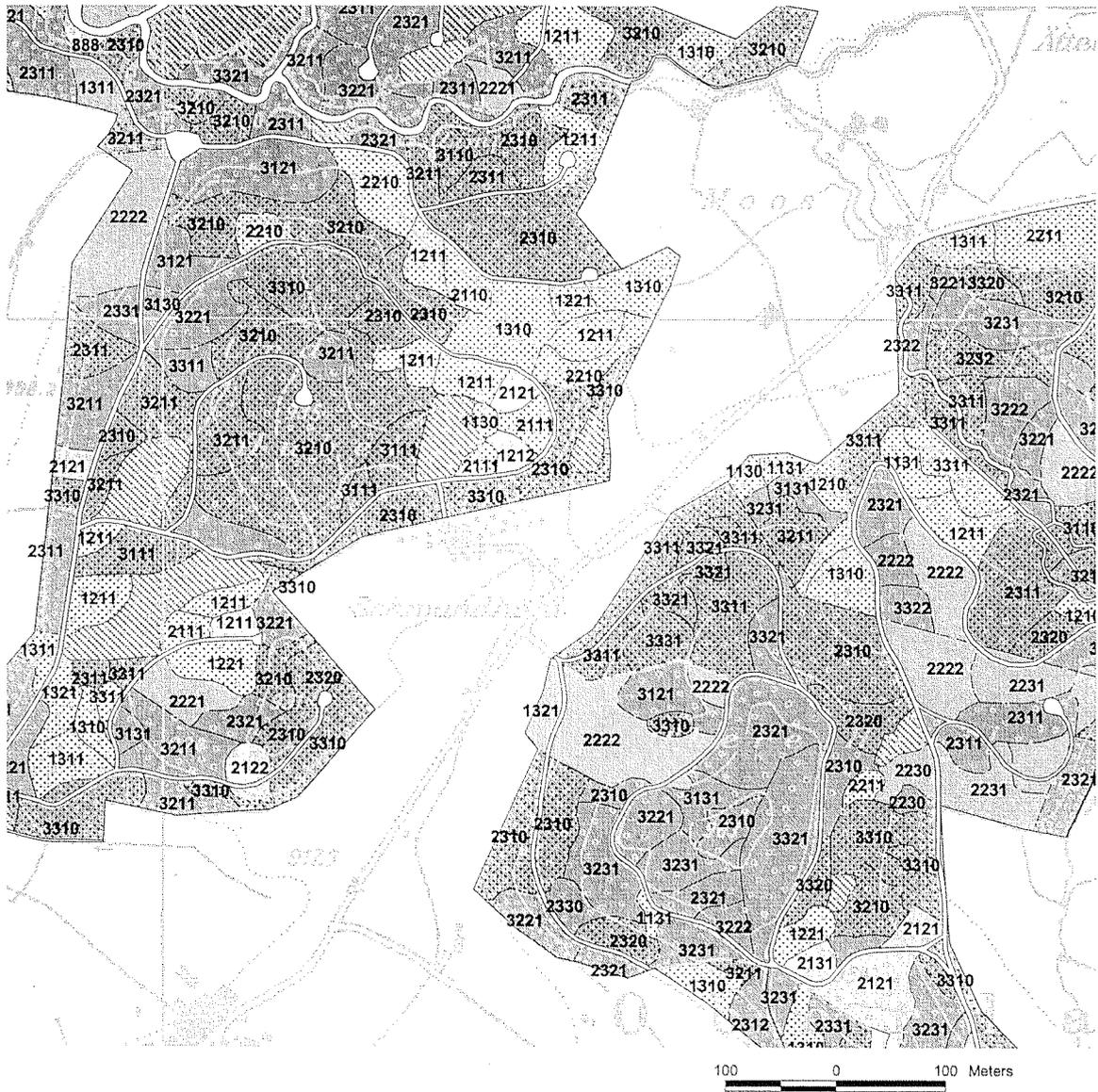
### In Schwarzenegg und Toppwald vorkommende Gesellschaften

- 17 Eiben-Buchenwald (geschlossene Bestände)  
*Taxo-Fagetum*
- 17c Eiben-Buchenwald, Ausbildung mit Buntem Reitgras (offene Ausbildung)  
*Taxo-Fagetum, Ausbildung mit Calamagrostis varia*
- 18a Typischer Tannen-Buchenwald  
*Abieti-Fagetum typicum*
- 18aF Typischer Tannen-Buchenwald, Ausbildung mit Wald-Schwingel  
*Abieti-Fagetum typicum, Ausbildung mit Festuca altissima*
- 18d Tannen-Buchenwald mit Etagenmoos  
*Abieti-Fagetum hylocomietosum*
- 18s Tannen-Buchenwald mit Wald-Ziest  
*Abieti-Fagetum stachyetosum silvaticae*
- 18sE Tanne-Buchenwald mit Wald-Ziest, Ausbildung mit Waldgerste  
*Abieti-Fagetum stachyetosum silvaticae, Ausbildung mit Hordelymus europaeus*
- 18w Tannen-Buchenwald mit Schlawer Segge  
*Abieti-Fagetum caricetosum flaccae*
- 19q Tannen-Buchenwald mit Wald-Hainsimse  
*Abieti Fagetum luzuletosum*
- 19ps Tannen-Buchenwald mit Wald-Hainsimse, pseudovergleyte Ausbildung  
*Abieti-Fagetum luzuletosum, pseudovergleyte Ausbildung*
- 20a Farnreicher Tannen-Buchenwald  
*Abieti-Fagetum polystichetosum*
- 26ho Ahorn-Eschenwald mit Alpendost  
*Aceri-Fraxinetum adenostyletosum*

- 27ho Seggen-Bacheschenwald mit Alpendost  
*Carici remotae-Fraxinetum adenostyletosum*
- 46a Typischer Heidelbeer-Fichten-Tannenwald  
*Vaccinio-Abietetum typicum*
- 46e Heidelbeer-Fichten-Tannenwald, trockene Ausbildung  
*Vaccinio-Abietetum, trockene Ausbildung*
- 46g Heidelbeer-Fichten-Tannenwald mit Hain-Gilbweiderich  
*Vaccinio-Abietetum lysimachietosum*
- 46s Heidelbeer-Fichten-Tannenwald mit Torfmoos  
*Vaccinio-Abietetum sphagnetosum*
- 49a Typischer Schachtelhalm-Tannenmischwald  
*Equiseto-Abietetum typicum*
- 49f Schachtelhalm-Tannenmischwald, Ausbildung mit Esche  
*Equiseto-Abietetum fraxinetosum*
- 56 Typischer Torfmoos-Fichtenwald  
*Sphagno-Piceetum typicum*
- 71 Torfmoos-Berg-Föhrenwald  
*Sphagno-Pinetum uncinatae*



## Beispiel der Bestandeskarte

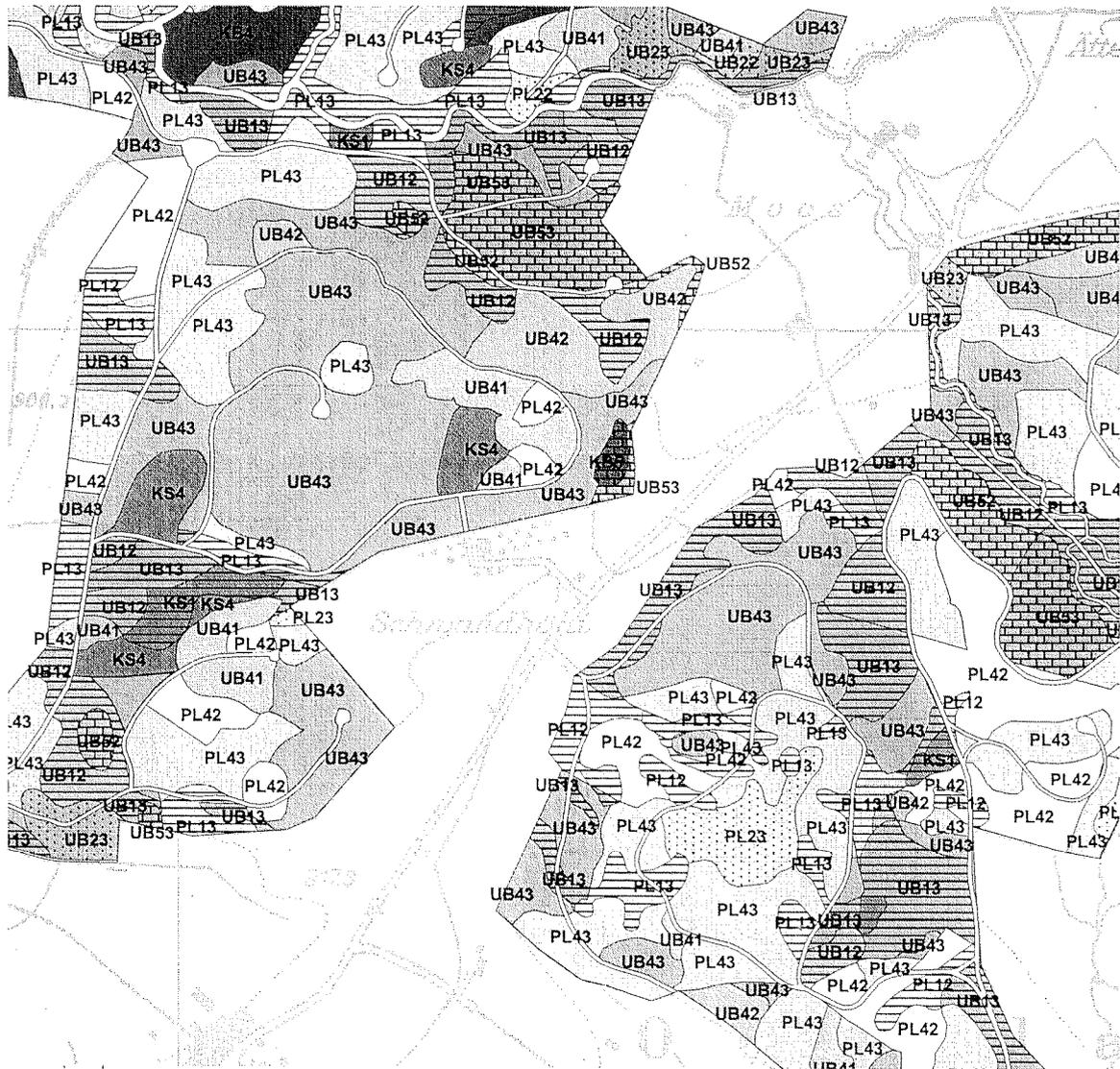


### Bestandestypen

- 11 - Plenterwald mit niedrigem Vorrat
- 12 - Plenterwald mit mittlerem Vorrat
- 13 - Plenterwald mit hohem Vorrat
- 21 - Überführung mit niedrigem Vorrat
- 22 - Überführung mit mittlerem Vorrat
- 23 - Überführung mit hohem Vorrat
- 30 - 32 - gleichförmige junge Bestände bis Stangenholz
- 33 - 35 - gleichförmige Bestände - Baumhölzer

2222 – Plenterziffer (nur bei plenterartigen Beständen)

## Beispiel der Endstraten-Karte



### Endstraten

	PL12 - Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf nassem Standort
	PL13 - Plenterwald mit hohem Vorrat auf nassem Standort
	PL22 - Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf frischem Standort
	PL23 - Plenterwald mit hohem Vorrat auf frischem Standort
	PL42 - Plenterwald mit mittlerem Vorrat auf saurem Standort
	PL43 - Plenterwald mit hohem Vorrat auf saurem Standort
	UB12 - Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf nassem Standort
	UB13 - Überführungswald mit hohem Vorrat auf nassem Standort
	UB22 - Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf frischem Standort
	UB23 - Überführungswald mit hohem Vorrat auf frischem Standort
	UB41 - Überführungswald mit tiefem Vorrat auf saurem Standort
	UB42 - Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf saurem Standort
	UB43 - Überführungswald mit hohem Vorrat auf saurem Standort
	UB52 - Überführungswald mit mittlerem Vorrat auf Hochmoor
	UB53 - Überführungswald mit hohem Vorrat auf Hochmoor
	KS1 - Gleichförmige Stangenhölzer und jüngere auf nassem Standort
	KS4 - Gleichförmige Stangenhölzer und jüngere auf saurem Standort
	KB1 - Gleichförmige Baumhölzer auf nassem Standort
	KB4 - Gleichförmige Baumhölzer auf saurem Standort
	KB5 - Gleichförmige Bestände auf Hochmoor

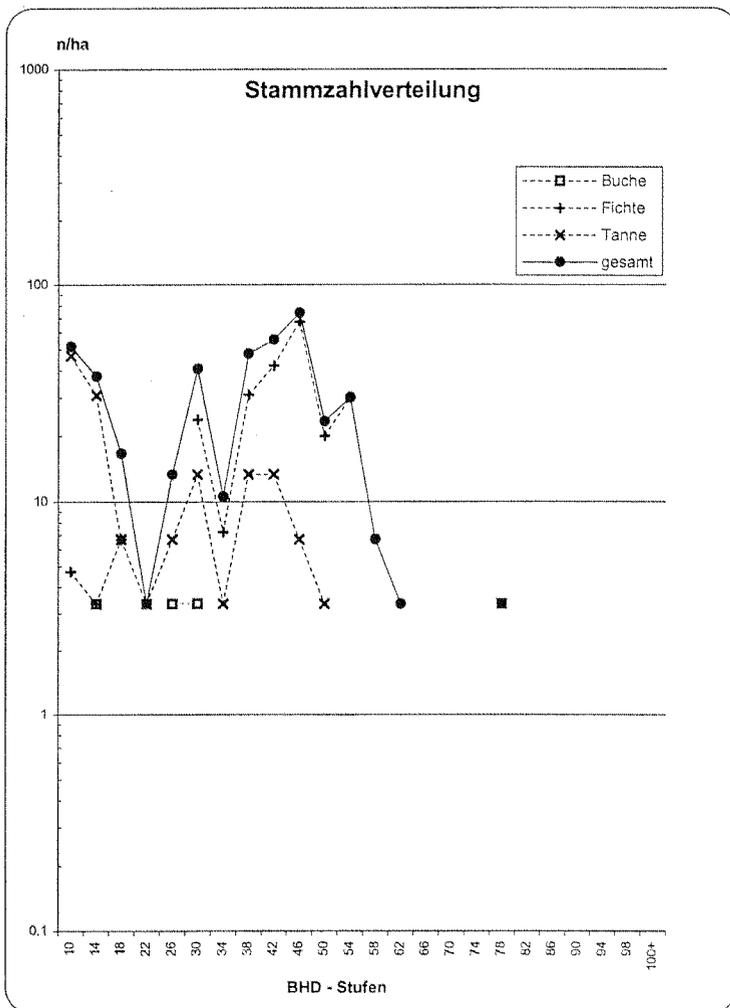
100 0 100 Meters

**KB2**

Zustandsaufnahme - Schwarzenegg - 1994

**Gleichförmige Bestände auf frischen reichen Standorten**

Fläche	<b>8.13 ha</b>	Standorte	49a, 27 <sup>ho</sup> , 26 <sup>ho</sup> inkl. Mosaik+L97 und Uebergänge
Anzahl Proben	6	Entwicklungsstufen	alle, hauptsächlich Baumholz II

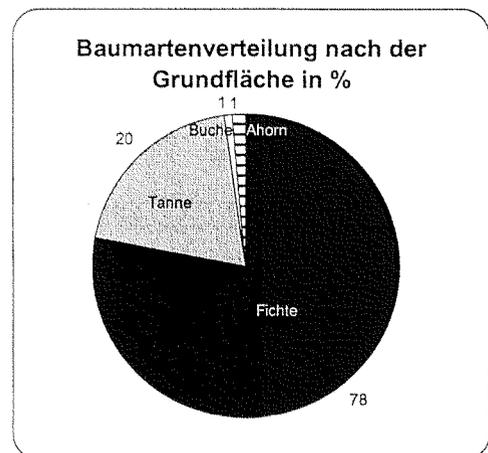
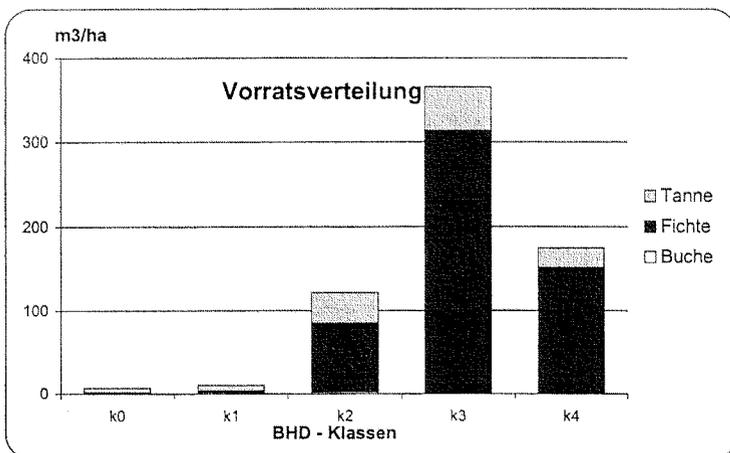


Vorrat **686 sv/ha**

Stammzahl **417 n/ha**

Grundfläche **46.1 m<sup>2</sup>/ha**

Mittelstamm **1.64 sv**



# KB2

Popu- lation	Vorrat								Stammzahl								Grundfläche							
	gesamt		Tanne		Fichte		Buche		gesamt		Tanne		Fichte		Buche		gesamt		Tanne		Fichte		Buche	
	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%
gesamt	686	40	127	195	548	59	4	142	417	47	151	175	246	53	10	115	46	39	9	193	36	58	0	135

BHD - Klassen

k0 = 8-15.9cm; k1 = 16-27.9cm; k2 = 28-39.9cm; k3 = 40-51.9cm; k4 = 52cm +

k0	7	158	6	171	1	163	0	257	89	163	77	179	8	166	3	257	1	160	1	174	0	163	0	257
k1	13	136	7	187	1	163	2	257	33	124	17	202	7	163	3	257	1	132	1	191	0	163	0	257
k2	126	77	37	163	82	91	2	257	99	72	30	164	62	89	3	257	9	75	3	163	6	90	0	257
k3	366	38	53	222	313	65			152	36	23	216	129	63			24	38	3	222	20	65		
k4	175	61	24	257	151	70			43	64	3	257	40	74			11	61	2	257	10	70		

BHD - Stufen

10 = 8-11.9cm; 14 = 12-15.9cm; .....

10	3	172	3	196	0	257			51	172	47	194	5	257			0	176	0	205	0	257		
14	4	150	3	152	0	257	0	257	37	156	31	159	3	257	3	257	1	151	0	154	0	257	0	257
18	4	149	2	257	1	163			17	147	7	257	7	163			0	149	0	257	0	163		
22	2	257	2	257					3	257	3	257					0	257	0	257				
26	7	183	4	163			2	257	13	191	7	163			3	257	1	189	0	163			0	257
30	35	87	11	186	21	131	2	257	40	86	13	191	24	130	3	257	3	85	1	187	2	130	0	257
34	13	117	4	257	9	165			11	116	3	257	7	163			1	117	0	257	1	165		
38	78	95	22	163	52	108			48	98	13	163	31	111			5	96	1	163	4	108		
42	111	37	27	194	84	71			55	37	13	191	42	72			7	37	2	193	6	71		
46	186	77	17	257	169	96			74	79	7	257	67	97			12	78	1	257	11	96		
50	69	71	9	257	60	96			23	68	3	257	20	94			4	71	1	257	4	96		
54	109	96			109	96			30	96			30	96			7	96			7	96		
58	26	163			26	163			7	163			7	163			2	163			2	163		
62	16	257			16	257			3	257			3	257			1	257			1	257		
66																								
70																								
74																								
78	24	257	24	257					3	257	3	257					2	257	2	257				
82																								
86																								
90																								
94																								
98																								
100+																								

	Mittelstamm		Anteile					
			nach Stammzahl		nach Grundfläche		nach Vorrat	
	sv	VB %	%	VB	%	VB	%	VB
gesamt	1.64	42 %						
Nadelholz	1.70	41 %	95.2 %	6 %	97.8 %	4 %	98.5 %	3 %
Laubholz	0.53	86 %	4.8 %	118 %	2.2 %	158 %	1.6 %	168 %
Fichte	2.23	14 %	59.0 %	83 %	77.9 %	46 %	79.9 %	43 %
Tanne	0.84	36 %	36.2 %	136 %	19.8 %	185 %	18.5 %	190 %
Buche	0.43	83 %	2.4 %	103 %	1.0 %	135 %	0.6 %	143 %
Ahorn	0.63	90 %	2.4 %	161 %	1.3 %	210 %	0.9 %	222 %
Esche								
Vogelbeere								
uebrige Lbh								

VB bzw. VB% sind prozentuelle Vertrauensbereiche des Schätzers für t (n-1,0.95)

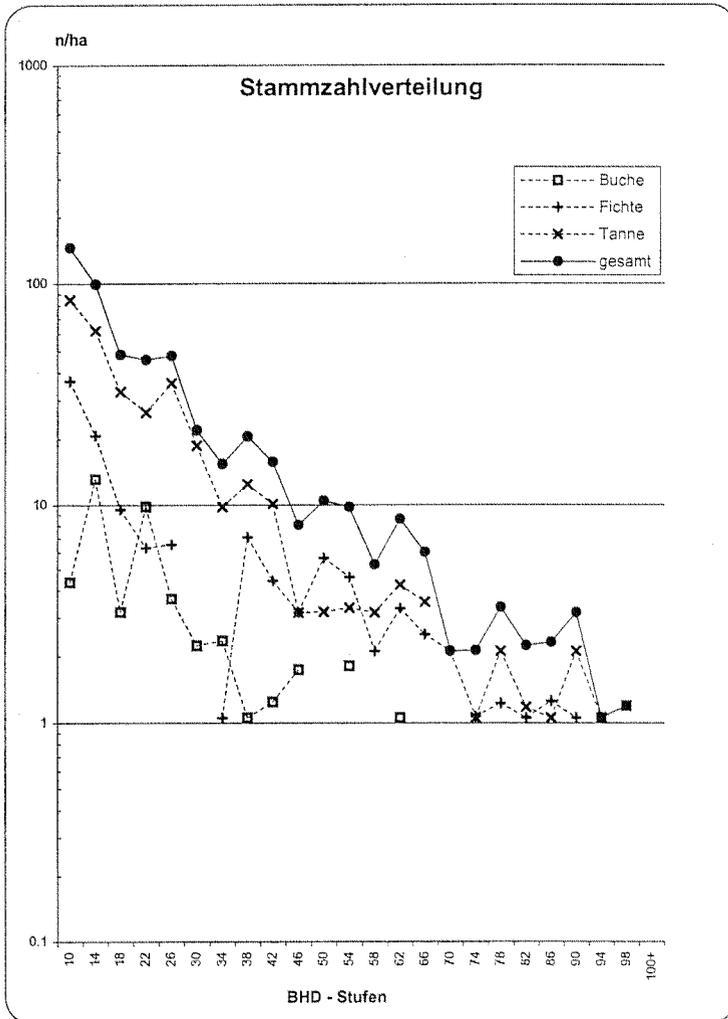
Wert 0 beim Schätzer bedeutet, dass der Wert > 0 und < 0.5 ist

**UB22**

Zustandsaufnahme - Schwarzenegg 1994

**Ueberföhrungsbestände auf frischen und reichen Standorten mit mittlerem Vorrat**

Fläche	18 ha	Standorte	18s, 18s <sub>E</sub> , 20a, 20a <sub>P</sub>	inkl. Mosaikc und Uebergänge
Anzahl Proben	19	Bestandestypen	01xx, 11xx, 12xx, 13xx, 21xx, 22xx, 23xx	



**Vorrat** 485 sv/ha

**Stammzahl** 526 n/ha

**Grundfläche** 35.5 m<sup>2</sup>/ha

**Mittelstamm** 0.92 sv

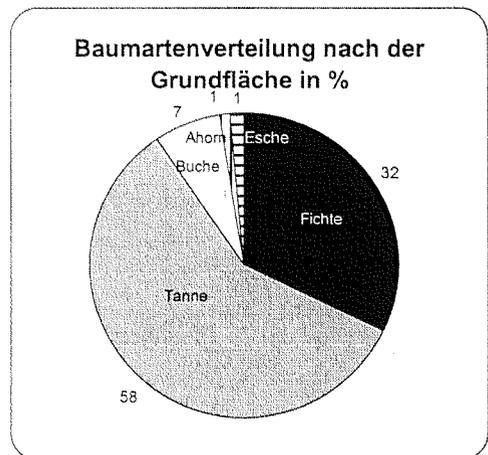
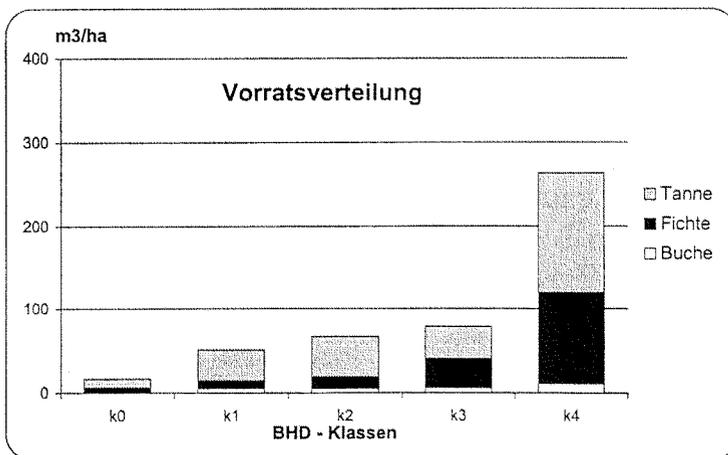
**Gefügestriffer**

*Oberschicht* 1.7

*Mittelschicht* 2.7

*Unterschicht* 1.2

*Jungwuchs* 0.5



# UB22

Popu- lation	Vorrat								Stammzahl								Grundfläche							
	gesamt		Tanne		Fichte		Buche		gesamt		Tanne		Fichte		Buche		gesamt		Tanne		Fichte		Buche	
	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%

gesamt

gesamt	485	18	280	28	166	54	29	95	526	13	323	25	121	32	46	49	35	16	21	27	11	52	3	83
--------	-----	----	-----	----	-----	----	----	----	-----	----	-----	----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----

BHD - Klassen

k0 = 8-15.9cm; k1 = 16-27.9cm; k2 = 28-39.9cm; k3 = 40-51.9cm; k4 = 52cm +

k0	18	20	10	25	4	43	2	66	245	21	146	26	57	44	17	62	2	20	1	26	1	42	0	66
k1	53	30	37	47	8	53	5	65	142	28	95	45	22	52	17	66	5	28	4	46	1	51	1	65
k2	69	31	48	40	12	123	5	108	58	30	41	38	8	118	6	105	5	31	3	39	1	122	0	107
k3	82	49	39	54	34	90	6	210	34	47	16	51	13	90	3	210	5	48	3	53	2	90	0	210
k4	264	32	145	47	108	67	11	146	47	33	24	44	20	77	3	150	17	32	10	47	7	67	1	146

BHD - Stufen

10 = 8-11.9cm; 14 = 12-15.9cm; .....

10	9	28	5	33	2	54	0	125	146	28	85	33	37	55	4	121	1	27	1	33	0	53	0	129
14	9	23	5	31	2	52	1	70	100	24	62	32	21	52	13	67	1	23	1	32	0	52	0	70
18	9	41	6	56	2	70	1	115	48	40	33	55	10	71	3	114	1	40	1	56	0	70	0	115
22	16	30	10	46	2	88	3	91	46	32	26	48	6	89	10	91	2	31	1	47	0	88	0	91
26	28	46	21	63	4	87	2	116	48	43	36	60	7	88	4	116	2	45	2	62	0	87	0	116
30	19	42	16	50			2	147	22	42	19	51			2	145	1	41	1	51			0	146
34	18	65	12	86	1	210	2	210	15	65	10	85	1	210	2	210	1	65	1	85	0	210	0	210
38	32	47	20	56	11	137	1	210	21	47	12	57	7	135	1	210	2	47	1	56	1	137	0	210
42	33	48	21	53	9	125	2	210	16	47	10	52	4	124	1	210	2	47	1	53	1	124	0	210
46	19	96	8	114	8	153	4	210	8	96	3	114	3	153	2	210	1	96	1	114	0	153	0	210
50	30	80	10	115	17	102			10	82	3	114	6	101			2	81	1	115	1	102		
54	33	84	12	115	16	159	6	210	10	86	3	115	5	162	2	210	2	84	1	115	1	160	0	210
58	22	103	13	114	9	144			5	103	3	114	2	144			1	103	1	114	1	144		
62	40	80	20	96	15	154	5	210	9	80	4	96	3	155	1	210	3	80	1	96	1	154	0	210
66	32	83	19	114	13	146			6	84	4	114	3	146			2	83	1	114	1	146		
70	12	145			12	145			2	144			2	144			1	145			1	145		
74	14	144	7	210	7	210			2	144	1	210	1	210			1	144	0	210	0	210		
78	24	115	15	144	9	210			3	115	2	144	1	210			2	115	1	144	1	210		
82	18	145	9	210	8	210			2	145	1	210	1	210			1	145	1	210	1	210		
86	19	145	9	210	10	210			2	145	1	210	1	210			1	145	1	210	1	210		
90	28	114	19	144	9	210			3	114	2	144	1	210			2	114	1	144	1	210		
94	10	210	10	210					1	210	1	210					1	210	1	210				
98	12	210	12	210					1	210	1	210					1	210	1	210				
100+																								

	Mittelstamm		Anteile					
			nach Stammzahl		nach Grundfläche		nach Vorrat	
	sv	VB %	%	VB	%	VB	%	VB
gesamt	0.92 sv	16 %						
Nadelholz	1.00 sv	20 %	84.5 %	10 %	90.1 %	7 %	91.9 %	7 %
Laubholz	0.48 sv	63 %	15.5 %	53 %	9.9 %	67 %	8.1 %	76 %
Fichte	1.37 sv	34 %	23.1 %	29 %	32.0 %	42 %	34.2 %	43 %
Tanne	0.87 sv	22 %	61.4 %	20 %	58.1 %	26 %	57.6 %	27 %
Buche	0.63 sv	77 %	8.7 %	55 %	7.1 %	91 %	5.9 %	103 %
Ahorn	0.44 sv	41 %	1.9 %	162 %	1.2 %	148 %	0.9 %	147 %
Esche	0.28 sv	0 %	3.4 %	208 %	1.3 %	204 %	1.0 %	203 %
Vogelbeere								
uebrige Lbh	0.15 sv	132 %	1.6 %	134 %	0.4 %	136 %	2.7 %	104 %

VB bzw. VB% sind prozentuale Vertrauensbereiche des Schätzers für t (n-1,0.05)

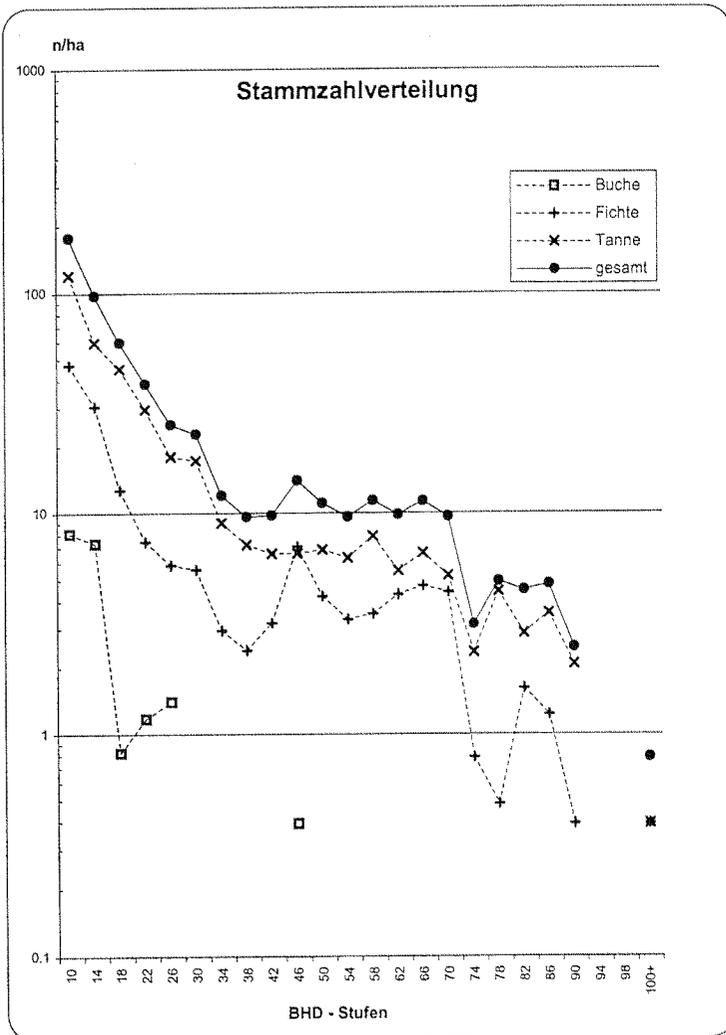
Wert 0 bei dem Schätzer bedeutet, dass der Wert > 0 und < 0.5 ist

**PL43**

Zustandsaufnahme - Schwarzenegg 1994

**Plenterwald auf saueren Standorten  
mit hohem Vorrat**

Fläche	<b>62.26 ha</b>	Standorte	46e, 46a, 46s, 46g inkl. Mosaik und Uebergänge
Anzahl Proben	51	Bestandestypen	23xx, 31xx, 32xx, 33xx



Vorrat 603 sv/ha

Stammzahl 549 n/ha

Grundfläche 42.5 m<sup>2</sup>/ha

Mittelstamm 1.10 sv

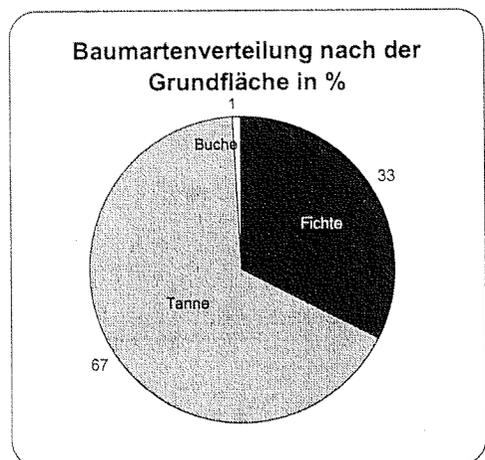
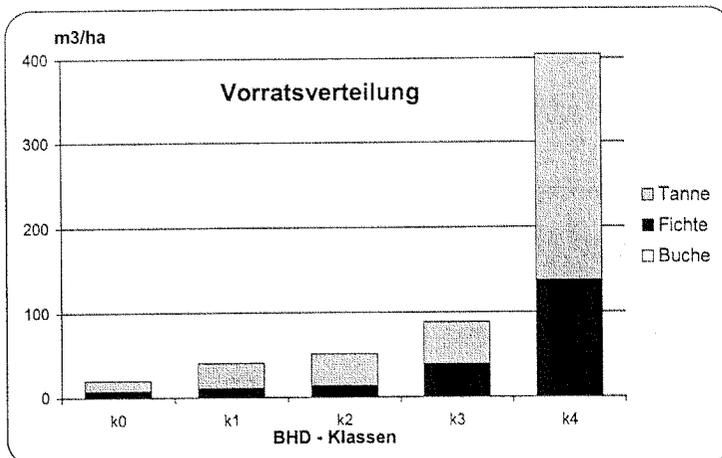
**Gefügeziffer**

Oberschicht 2.7

Mittelschicht 2.3

Unterschicht 1.9

Jungwuchs 1.2



# PL43

Popu- lation	Vorrat								Stammzahl								Grundfläche							
	gesamt		Tanne		Fichte		Buche		gesamt		Tanne		Fichte		Buche		gesamt		Tanne		Fichte		Buche	
	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	sv/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	n/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%	m2/ha	VB%

gesamt

	603	9	399	14	201	21	3	69	550	8	373	13	154	17	19	50	42	8	28	13	14	20	0	57
--	-----	---	-----	----	-----	----	---	----	-----	---	-----	----	-----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	---	----

BHD - Klassen

k0 = 8-15.9cm; k1 = 16-27.9cm; k2 = 28-39.9cm; k3 = 40-51.9cm; k4 = 52cm +

k0	19	14	13	20	6	24	1	52	275	14	180	19	78	26	15	56	3	14	2	20	1	24	0	52
k1	41	15	31	20	9	41	1	82	124	14	93	18	26	38	3	75	4	15	3	19	1	40	0	80
k2	50	20	38	23	13	45			44	18	34	21	11	44			4	19	3	23	1	45		
k3	88	27	50	30	37	43	1	201	35	26	20	30	14	42	0	201	6	27	3	30	2	43	0	201
k4	405	15	268	21	137	30			72	15	47	21	25	29			26	15	18	21	9	30		

BHD - Stufen

10 = 8-11.9cm; 14 = 12-15.9cm; .....

10	10	15	7	21	3	35	0	78	177	15	120	21	47	35	8	79	1	15	1	21	0	34	0	76
14	9	19	6	26	3	31	1	53	97	18	60	25	30	31	7	54	1	19	1	26	0	31	0	53
18	12	18	9	23	3	44	0	146	60	18	45	22	13	42	1	141	1	18	1	23	0	43	0	144
22	14	25	11	27	3	68	0	114	39	24	30	26	7	68	1	114	1	24	1	27	0	68	0	114
26	15	26	11	33	3	60	1	116	25	26	18	33	6	59	1	117	1	26	1	33	0	59	0	116
30	20	20	15	23	5	52			23	20	17	23	6	53			2	20	1	23	0	52		
34	15	42	11	52	4	81			12	43	9	52	3	81			1	42	1	52	0	81		
38	16	47	12	54	4	78			10	47	7	55	2	78			1	47	1	54	0	78		
42	20	39	14	51	6	72			10	39	7	51	3	72			1	39	1	51	0	72		
46	35	38	16	46	18	57	1	201	14	38	7	46	7	58	0	201	2	38	1	46	1	57	0	201
50	34	44	21	47	13	70			11	44	7	47	4	70			2	44	1	47	1	70		
54	34	40	22	58	12	66			10	40	6	58	3	66			2	40	1	58	1	66		
58	47	44	32	59	15	66			11	44	8	59	3	66			3	44	2	59	1	66		
62	46	46	26	54	21	78			10	46	5	55	4	78			3	46	2	54	1	78		
66	60	39	35	46	25	59			11	39	7	46	5	60			4	39	2	46	2	59		
70	57	44	30	54	26	60			10	43	5	53	4	60			4	44	2	54	2	60		
74	20	66	15	78	5	141			3	66	2	78	1	141			1	66	1	78	0	141		
78	35	65	32	70	3	201			5	65	4	70	0	201			2	65	2	70	0	201		
82	35	62	22	84	12	98			4	62	3	85	2	98			2	62	2	84	1	98		
86	40	70	30	89	10	114			5	70	4	88	1	114			3	70	2	89	1	114		
90	22	111	19	102	4	201			2	111	2	102	0	201			2	111	1	102	0	201		
94																								
98																								
100+	9	141	5	201	4	201			1	141	0	201	0	201			1	141	0	201	0	201		

	Mittelstamm		Anteile						
			nach Stammzahl		nach Grundfläche		nach Vorrat		
	VB	%	VB	%	VB	%	VB	%	
gesamt	1.10 sv	10 %							
Nadelholz	1.14 sv	10 %	96.0 %	2 %	99.1 %	0 %	99.4 %	0 %	
Laubholz	0.02 sv	40 %	4.0 %	41 %	0.9 %	51 %	0.6 %	62 %	
Fichte	1.30 sv	22 %	28.0 %	19 %	32.5 %	19 %	33.3 %	20 %	
Tanne	1.07 sv	15 %	68.0 %	8 %	66.6 %	10 %	66.2 %	10 %	
Buche	0.17 sv	45 %	3.5 %	47 %	0.8 %	56 %	0.5 %	68 %	
Ahorn	0.25 sv	49 %	0.2 %	115 %	0.1 %	124 %	0.1 %	129 %	
Esche									
Vogelbeere	0.06 sv	2 %	0.1 %	142 %	0.0 %	144 %	0.0 %	143 %	
uebrige Lbh	0.06 sv	0 %	0.2 %	201 %	0.0 %	203 %	0.0 %	203 %	

VB bzw. VB% sind prozentuelle Vertrauensbereiche des Schätzers für  $I_{(p-1,0.05)}$

Wert 0 beim Schätzer bedeutet, dass der Wert > 0 und < 0.5 ist

## Lebenslauf

Ich wurde am 10. September 1965 in Mladá Boleslav (Tschechische Republik) geboren. Die Grundschule (9 Jahre) besuchte ich vorwiegend in Prag. In den Jahren 1981 bis 1985 studierte ich an der Technischen Forstschule in Písek (Tschechische Republik) und schloss 1985 mit der Matura ab. Danach besuchte ich die Forstfakultät der Landwirtschaftlichen Hochschule in Brünn (Tschechische Republik), die ich im Juni 1989, nach 8 Semestern, mit dem Diplom verlies. Nach dem Studium arbeitete ich als Forsteinrichter in der Tschechei.

Im Herbst 1990 begann ich an der Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich ein Nachdiplomstudium. Im September 1992 immatrikulierte ich mich an der genannten Professur als Doktorand. Im Mai 1993 legte ich die Zulassungsprüfung zum Doktorat ab. Von 1993 bis 1997 war ich wissenschaftlicher Mitarbeiter der Professur und hauptsächlich mit Waldinventuren befasst. Seit Juni 2000 arbeite ich wieder an der genannten Professur.