

Permanenz und Repräsentativität von Probeflächen bei dynamischer Stratifizierung

Arne Nothdurft, Joachim Saborowski

Institut für Forstliche Biometrie und Informatik
Georg-August-Universität Göttingen

Summary

Beginning at 01.10.2000, inventories of the forest enterprises of Lower Saxony will be carried out every 10 years in a two phase sampling design for dynamic stratification with optimized sample sizes. As a consequence of general stand development not all of the existing terrestrial sample plots (phase-II-plots) can be measured again during a repeated inventory and new sample plots will have to be established (dynamic stratification). It is intended to remeasure as many terrestrial plots as possible (permanence) and, at the same time, to guarantee a representative selection of terrestrial plots out of the set of phase-I-points in each stratum (representativity). A suitable algorithm is proposed for selecting phase-II-plots regarding compliance with the requirements of permanence and representativity.

Zusammenfassung

Mit dem Stichtag 1.10.2000 wird in den Niedersächsischen Landesforsten im 10-jährigen Turnus eine Betriebsinventur als zweiphasige Stichprobe mit optimierten Stichprobendichten und dynamischer Stratifizierung durchgeführt. Bedingt durch die Entwicklung von Waldbeständen können bei einer Folgeinventur nicht alle bestehenden terrestrischen Stichprobenpunkte wieder aufgenommen werden; außerdem müssen neue Probekreise hinzugewonnen werden (Dynamik). Bei der Auswahl der Probekreise in der zweiten Phase einer Folgestichprobeninventur sollen möglichst viele bestehende Probekreise wieder erfaßt werden (Permanenz). Die ausgewählten Probekreise sollen die Kollektive der Stichprobenpunkte in den einzelnen Straten repräsentativ abbilden (Repräsentativität). Für die Wahrung der Permanenz und Repräsentativität bei der Auswahl von Probeflächen in der zweiten Phase der Stichprobe wird ein geeigneter Algorithmus aufgezeigt.

1 Einleitung

Seit 1981 wurde im Niedersächsischen Forstamt Stauffenburg in Anlehnung an die *Schweizer Kontrollmethode im Plenterwald* nach KURT und SCHMIDT-HAAS (siehe STARKE 1989) eine Kontrollstichprobe mit permanenten Probekreisen durchgeführt. Bei diesem einphasigen Stichprobenverfahren war die Vorratsschätzung in jungen Beständen wegen geringer Varianz der Grundflächen sehr genau. Der Aufwandaufwand erschien jedoch unverhältnismäßig hoch. Die Vorratsschätzung von wirtschaftlich und ökologisch interessantem Holz stärkerer Dimensionen war zudem mit einem relativ hohen Stichprobenfehler behaftet. Im Rahmen einer Studie im Auftrag des Niedersächsischen Forstplanungsamtes wurde auf dieser Grundlage ein optimiertes Stichprobenverfahren erarbeitet (SABOROWSKI u. DAHM 1996 und 1997, DAHM u. SABOROWSKI 1998, BÖCKMANN et al. 1998). Mit dem Stichtag 1.10.2000 führt die Niedersächsische Landesforstverwaltung ihre Betriebsinventuren nach diesem Verfahren als zweiphasige Stichproben zur Stratifizierung (COCHRAN 1977) mit optimierten Stichprobendichten durch (NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT 1999).

2 Verfahren

Zunächst werden Stichprobenpunkte in einem Rechteckraster mit einer engen Schrittweite von 100m • 100m über das Inventurgebiet verteilt. Nach einer Befliegung zur Erstellung von CIR-Luftbildern wird in der ersten Phase der Stichprobe anhand der Luftbilder eine Stratifizierung dieser Stichprobenpunkte vorgenommen. An jedem Punkt wird dazu der aufstockende Bestand einem von acht Straten zugeordnet. Es wird zum einen nach der

Bestandestypengruppe stratifiziert, bei der zwischen führendem Laubholz oder Nadelholz unterschieden wird, und zum anderen nach vier Alterstufen (1-40, 41-80, 81-120 und >120 Jahre). Das Ergebnis der Luftbildinterpretation ist eine Häufigkeitsverteilung der Stichprobenpunkte der ersten Phase (Phase-I-Punkte) über die acht Straten. In der zweiten Phase der Stichprobe sollen die terrestrischen Aufnahmen nicht an jedem Phase-I-Punkt erfolgen, sondern es wird aus jedem Stratum nur ein vorher festgelegter Anteil von Probekreisflächen tatsächlich erhoben. In der Auftragsstudie wurde für die Niedersächsischen Forstämter ein *globales Optimum* von Anteilswerten erarbeitet (vgl. Abb. 1).

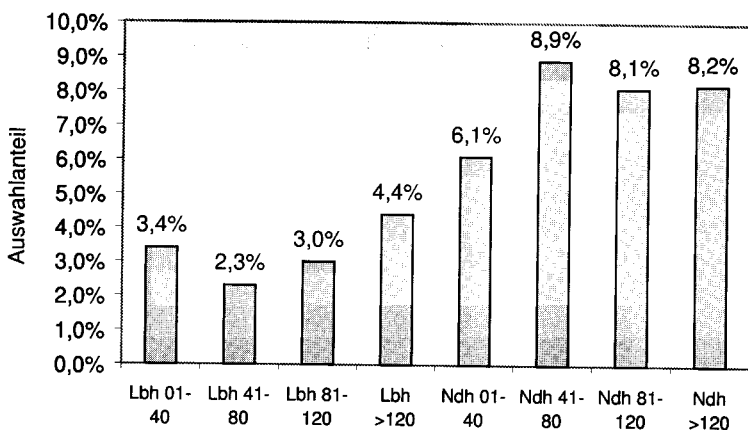


Abbildung 1: Globales Optimum von Anteilswerten für die Auswahl von terrestrisch zu erhebenden Probekreisen aus dem Kollektiv der Phase-I-Punkte (abhängig vom angestrebten Gesamtstichprobenumfang).

3 Auswahl der Phase-II-Punkte

Die Auswahl der Phase-II-Punkte aus dem Kollektiv der Phase-I-Punkte geschieht bei einer erstmaligen Inventur stratenweise durch eine systematische Stichprobe mit zufälligem Startpunkt. Bei der Auswahl von Phase-II-Punkten zum Zeitpunkt einer Folgeinventur müssen jedoch zwei Prämissen beachtet werden.

Die erste Prämisse ist die Permanenz. Probekreise, die schon bei einer Vorinventur eine terrestrische Aufnahme erfuhrten, sollten bei der Folgeinventur möglichst beibehalten werden. So kann an diesen Stichprobenpunkten, die erneut aufgenommen werden, das Wachstum der Einzelbäume direkt quantifiziert werden. Die Schätzung von Vorratsveränderung und Zuwachs für beliebige Kollektive des Betriebes läßt dann außerdem einen geringeren Stichprobenfehler erwarten als bei der Verwendung unabhängiger (temporärer) Inventuren.

Die zweite Prämisse, die Repräsentativität, bedeutet, daß die terrestrisch zu erhebenden Phase-II-Punkte repräsentativ aus dem Kollektiv der Phase-I-Punkte eines Stratums ausgewählt werden müssen (NOTHDURFT u. SABOROWSKI 1998).

3.1 Permanenz

Verfahrensbedingt können bei einer Folgeinventur in der Regel nicht alle bestehenden terrestrischen Phase-II-Punkte wieder aufgenommen werden, wenn die Vorgaben für den

Stichprobenumfang und die Stichprobenanteile in den 8 Straten beibehalten werden sollen. Die Punkte der Phase I können nämlich bis zur Folgeinventur das Stratum wechseln. An einem Stichprobenpunkt kann sich z. B. durch natürliche Alterung die Zugehörigkeit zu einer Altersstufe ändern. Falls sich die Hauptbaumart in einem Bestand ändert, kann sich auch die Zugehörigkeit zu einer Baumartengruppe und/oder Altersstufe verändern. Dadurch verändern sich zunächst die absoluten Anzahlen von Phase-I-Punkten in den einzelnen Straten zwischen zwei Inventuren (vgl. Abb. 2).

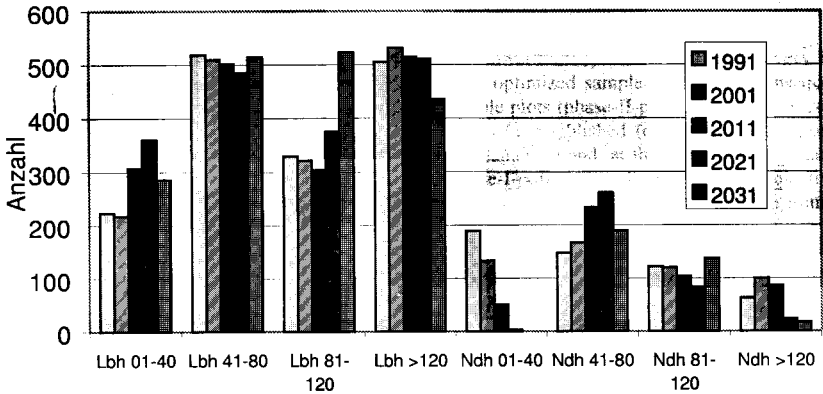


Abbildung 2: Verteilung der Phase-I-Punkte über die Straten an aufeinanderfolgenden Inventurterminen; aus einer Studie anhand des Niedersächsischen Forstamtes Reinhausen (NOTHDURFT 1998).

In einem Stratum soll auch bei der Folgeinventur der gleiche relative Anteil von Phase-I-Punkten als Phase-II-Punkte terrestrisch erfasst werden. Damit verändern sich, wie in Abb. 3 ersichtlich wird auch die absoluten Anzahlen von benötigten Phase-II-Punkten.

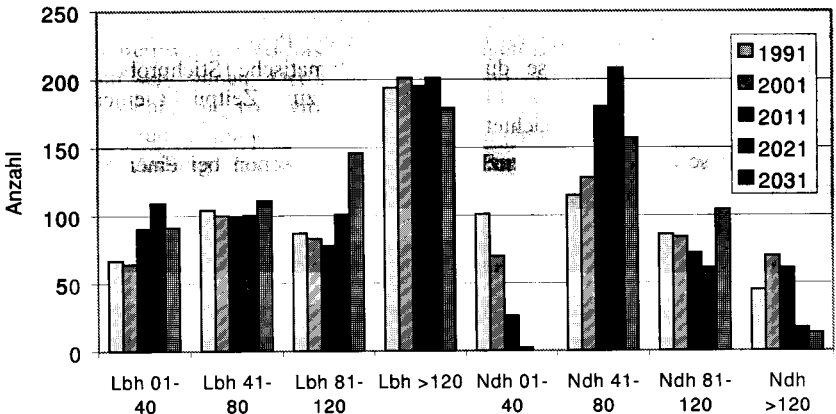


Abbildung 3: Anzahlen der benötigten Phase-II-Punkte in den Straten zu den einzelnen Inventurterminen; Studie Reinhausen.

Das bedeutet, daß bei einer Folgeinventur in einigen Straten mehr terrestrische Phase-II-Punkte aus der Vorinventur bestehen können als benötigt werden, und somit Phase-II-Punkte aufgegeben werden müssen. In anderen Straten bestehen weniger Phase-II-Punkte aus der Vorinventur als bei der Folgeinventur benötigt werden. Hier müssen terrestrische Phase-II-Punkte neu aufgenommen werden, um den angestrebten Gesamtstichprobenumfang zu erzielen.

3.2 Repräsentativität

3.2.1 Problemstellung

Wie in Kap. 3.1 dargestellt ist, können Phase-I-Punkte zwischen Inventurterminen das Stratum wechseln. In den einzelnen Straten herrschen jedoch unterschiedliche Auswahlwahrscheinlichkeiten für die Phase-I-Punkte als terrestrische Phase-II-Punkte (vgl. Abb. 1). Zum ersten Inventurtermin wird in einem Stratum h der Anteil v_h an Phase-II-Punkten aus den Phase-I-Punkten dieses Stratums ausgewählt. Ein gewisser Teil der Phase-I-Punkte wechselt bis zur nächsten Inventur in ein anderes Stratum h' , z. B. durch Alterung. Es ist zu erwarten, daß sich in diesem Teilkollektiv, das seine Stratenzugehörigkeit wechselt, auch etwa ein Anteil v_h von Phase-II-Punkten befindet. Ist der vorgesehene Auswahlanteil $v_{h'}$ im neuen Stratum kleiner als im ursprünglichen Stratum ($v_h < v_{h'}$), dann bestehen im Stratum h' bei der Folgeinventur in der Regel mehr terrestrische Punkte als benötigt werden. Es müssen in diesem Fall bestehende terrestrische Punkte aufgegeben werden. Entsprechend kann in anderen Fällen im neuen Stratum ein höherer Auswahlanteil als im früheren Stratum vorgesehen sein. Dann müssen zusätzliche Phase-II-Punkte neu aufgenommen werden.

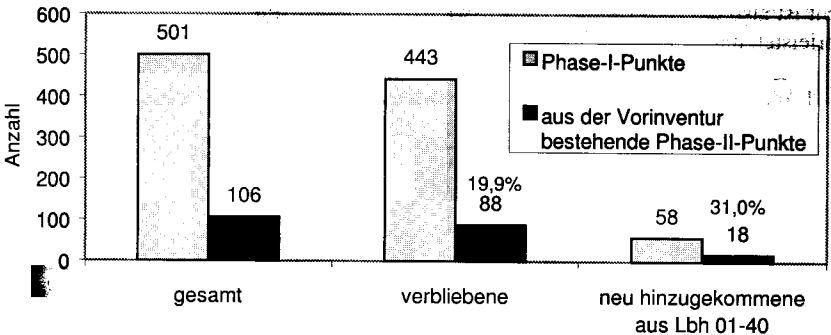


Abbildung 4: Zusammensetzung der Stichprobenpunkte im Stratum Lbh 41-80 im Inventurjahr 2011; Studie Reinhausen.

Wie anhand der Abb. 4 ersichtlich ist, gehören beispielsweise im Jahr 2011 501 Phase-I-Punkte dem Stratum Lbh 41-80 an; darunter befinden sich 106 Phase-II-Punkte, die aus der Vorinventur bestehen. Aus dem nächst jüngeren Lbh-Stratum gelangten seit der Vorinventur 58 Phase-I-Punkte in das betreffende Stratum; darunter befindet sich mit 31% ein relativ hoher Anteil von bestehenden Phase-II-Punkten, da im jüngsten Lbh-Stratum eine höhere Auswahlwahrscheinlichkeit vorgesehen ist als im nächst älteren Stratum. Unter den Phase-I-Punkten, die seit der Vorinventur im Stratum Lbh 41-80 verblieben, befindet sich mit 19,9% ein geringerer Anteil von bestehenden Phase-II-Punkten. Mit 106 Phase-II-Punkten bestehen 7 mehr als im Stratum Lbh 41-80 im Jahr 2011 benötigt werden (Abb. 5). Diese müssen aufgegeben werden, um den angestrebten Gesamtstichprobenumfang zu erreichen.

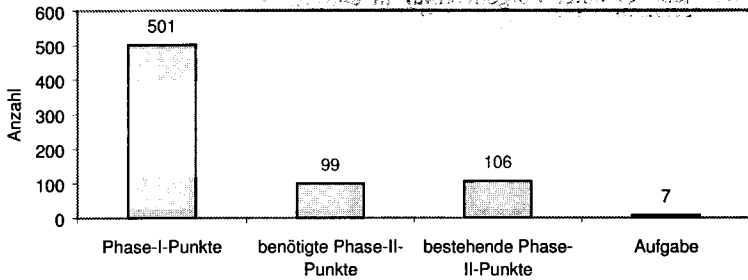


Abbildung 3: Phase-I-Punkte, bestehende und benötigte Phase-II-Punkte, erforderliche Aufgabe von bestehenden Phase-II-Punkten; Studie Reinhausen.

Wenn aus allen 106 bestehenden Phase-II-Punkten die 7 aufzugebenden Punkte mit gleicher Wahrscheinlichkeit ausgewählt würden, dann würden im Stratum Lbh 41-80 im Jahr 2011 die jüngeren Bestände, die neu in dieses Stratum gelangten, wegen ihres verhältnismäßig höheren Anteils von bestehenden terrestrischen Probeflächen überrepräsentiert. Der Vorrat im gesamten Forstbetrieb würde unterschätzt werden.

Entsprechend müßte eine zufällige oder auch eine systematische Auswahl neuer terrestrischer Punkte aus den Phase-I-Punkten eines Stratums häufig zu einer Unterrepräsentation der Einwechsler führen, wenn diese aus einem Stratum mit niedrigerem Auswahlanteil v_h stammen.

3.2.2 Lösung

Gesucht ist also ein Algorithmus zur Auswahl von Phase-II-Punkten bei Folgeinventuren, der gewährleistet, daß

1. möglichst viele bestehende Phase-II-Punkte wieder aufgenommen werden.
⇒ **Permanenz**
2. die ausgewählten Phase-II-Punkte das Kollektiv der Phase-I-Punkte in jedem Stratum repräsentativ abbilden.
⇒ **Repräsentativität**

Bei dem Auswahlalgorithmus zur bevorzugten Wiederaufnahme von bestehenden Phase-II-Punkten unter Wahrung der Repräsentativität werden die Phase-I-Punkte innerhalb der einzelnen Straten je nach ihrer Herkunft (Stratenzugehörigkeit zum Zeitpunkt der Vorinventur) in Teilkollektive aufgesplittet (s.Tab.1).

Der Umfang der benötigten Phase-II-Punkte in den Teilkollektiven wird dadurch ermittelt, daß alle Teilkollektive jeweils mit dem gleichen, für das gesamte Stratum vorgesehenen, Auswahlanteil bedacht werden. Dem Umfang der benötigten Phase-II-Punkte wird dann für jedes Teilkollektiv der Umfang an bestehenden gegenübergestellt. Daraus ergeben sich die Anzahlen der neu aufzunehmenden und aufzugebenden Phase-II-Punkte. Die Auswahl dieser aufzugebenden oder neu aufzunehmenden Phase-II-Punkte erfolgt in jedem Teilkollektiv durch eine systematische Stichprobe mit zufälligem Startpunkt (NOTHDURFT u. SABOROWSKI 1998). Durch diesen Algorithmus werden möglichst viele bestehende Phase-II-Punkte wieder aufgenommen und die Stichproben der ersten Phase werden in jedem Stratum repräsentativ abgebildet. Dadurch ist eine verzerrungsfreie Schätzung, z. B. von Grundflächen oder Volumina pro ha, gewährleistet.

Stratum 1996	Anzahl Phase-I-Punkte	Auswahlanteil	Ursprüngliches Stratum 1985	Anzahl Phase-I-Punkte	benötigte Phase-II-Punkte	bestehende Phase-II-Punkte	Aufgabe	Neuaufnahme
Lbh 41-80	415	7,5%	Lbh 01-40	145	11	21	10	
			Lbh 41-80	207	16	12		4
			Lbh 81-120					
			Lbh >120					
			Ndh 01-40	22	2	6	4	
			Ndh 41-80	41	3	6	3	
			Ndh 81-120					
			Ndh >120					
<i>Summe</i>				415	32	45	17	4

Tabelle 1: Auswahlalgorithmus für Phase-II-Punkte am Beispiel des Stratums Lbh 41-80 bei der Wiederholungsinventur im Jahr 1996; anhand einer Studie für das NFA Erdmannshausen.

4 Umfänge neu aufgenommenen und aufgebener Phase-II-Punkte

Die Ergebnisse der Studien anhand der Daten der NFÄ Reinhausen und Erdmannshausen zeigen, daß trotz Berücksichtigung der Repräsentativität der Anteil neu aufgenommenen und aufgebener Phase-II-Punkte unter 7% liegt (vgl. Tabellen 2, 3). In dieser Höhe bewirken die Umfänge an aufgegebenen und neu aufgenommenen Phase-II-Punkten keine wesentliche Vergrößerung des Stichprobenfehlers der Zuwachsschätzung (vgl. SABOROWSKI u. DAHM 1997, NOTHDURFT 1998). Im NFA Reinhausen wurden im jüngsten Lbh-Stratum (Lbh 01-40) für die zukünftigen Betriebsinventuren besonders hohe Anteile aufgebener terrestrischer Phase-II-Punkte prognostiziert (vgl. Tab. 2).

Stratum	Neuaufnahme				Aufgabe			
	2001	2011	2021	2031	2001	2011	2021	2031
Lbh 01-40	0,0%	1,1%	0,0%	0,0%	5,9%	25,2%	28,3%	22,2%
Lbh 41-80	1,0%	0,0%	6,0%	0,9%	7,5%	6,6%	7,8%	14,7%
Lbh 81-120	3,6%	10,3%	8,9%	13,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Lbh >120	4,5%	3,6%	8,0%	11,2%	3,0%	1,1%	0,0%	0,0%
Ndh 01-40	0,0%	3,8%	50,0%	0,0%	5,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Ndh 41-80	12,5%	10,6%	9,6%	5,7%	0,9%	0,6%	0,0%	0,0%
Ndh 81-120	0,0%	0,0%	1,6%	3,8%	4,5%	1,4%	3,2%	5,7%
Ndh >120	0,0%	9,8%	0,0%	0,0%	1,4%	0,0%	10,5%	7,1%
gesamt	3,6%	5,2%	6,6%	6,7%	3,5%	5,1%	6,9%	6,5%

Tabelle 2: Anteile an aufgegebenen und neu aufgenommenen Phase-II-Punkten im Verhältnis zum Phase-II-Stichprobenumfang in den einzelnen Straten; Studie Reinhausen.

Dafür ist die „laubholzfreundliche“ Waldentwicklungstypenplanung im Zuge der Langfristigen Ökologischen Waldentwicklung (LÖWE) in den Niedersächsischen Landesforsten verantwortlich. Bestände werden demnach vorzugsweise mit führendem Laubholz begründet oder verjüngt. Stichprobenpunkte lagen vor der „Umsetzung“ in das Stratum Lbh 01-40 in alten Nadelholz- oder Laubholzstraten. In den Straten älterer Altersstufen und ganz besonders bei

führendem Nadelholz sind deutlich höhere Auswahlanteile für Phase-II-Punkte vorgesehen als im Stratum *Lbh 01-40* (vgl. Abb. 1). Die Phase-I-Punkte, die aufgrund der Bestandesüberführungen in das jüngste Laubholzstratum gelangen, enthalten deshalb einen höheren Anteil von terrestrisch aufgenommenen Probeflächen als in diesem Stratum bei der Folgeinventur benötigt wird. Eine große Anzahl bestehender Phase-II-Punkte muß deshalb zu den einzelnen Inventurterminen im Stratum *Lbh 01-40* aufgegeben werden. Die Aufgabe

Stratum	Neuaufnahme	Aufgabe
Lbh 01-40	4,4%	0,0%
Lbh 41-80	12,5%	37,8%
Lbh 81-120	4,3%	15,4%
Lbh >120	21,4%	0,0%
Ndh 01-40	4,8%	0,0%
Ndh 41-80	1,2%	7,6%
Ndh 81-120	20,4%	0,0%
Ndh >120	7,1%	18,8%
gesamt	6,8%	6,8%

Tabelle 3: Anteile an aufgegebenen und neu aufgenommenen Phase-II-Punkten im Verhältnis zum Phase-II-Stichprobenumfang in den einzelnen Straten; Studie Erdmannshausen.

geschieht unter Wahrung der Repräsentativität fast ausschließlich innerhalb der Teilkollektive, deren Probeflächen zum Zeitpunkt der Vorinventur in älteren Altersstufen lagen und die einen hohen Anteil bestehender Phase-II-Punkte aufweisen. Der ehemalige Hauptbestand an diesen Stichprobenpunkten, die von jener Umsetzung betroffen sind, ist entweder gänzlich oder zum größten Teil abgenutzt ($B^0 < 0,4$). Das Interesse an der Zuwachs- und Wertentwicklung von eventuellen Überhaltsresten in endgenutzten Beständen ist jedoch als gering einzustufen. Der hohe Anteil aufgegebener Phase-II-Punkte im Stratum *Lbh 01-40* ist deshalb als unproblematisch zu beurteilen.

Literatur

- BÖCKMANN, T.; SABOROWSKI, J.; DAHM, S.; NAGEL, J.; SPELLMANN, H. (1998): Die Weiterentwicklung der Betriebsinventur in Niedersachsen. *Forst und Holz* 8, 219-226
- COCHRAN, W. G. (1977): *Sampling Techniques*. Wiley, New York
- DAHM, S.; SABOROWSKI, J. (1998): Neukonzeption der Niedersächsischen Kontrollstichprobe. In: *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Forstliche Biometrie und Informatik - 10. Tagung, Univ. Freiburg, 24-31*
- NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT (1999): Anweisung zur Betriebsinventur. Stand 1. April 1999.
- NOTHDURFT, A. (1998): Modellstudie zur Niedersächsischen Betriebsinventur im Forstamt Reinhausen mit Hilfe des Geographischen Informationssystems PC ARC/INFO. *Diplomarbeit am Institut für Forstliche Biometrie und Informatik, Göttingen, unveröffentlicht.*

- NOTHDURFT, A. UND SABOROWSKI, J. (1998): Modellstudie zur Niedersächsischen Betriebsinventur im Forstamt Erdmannshausen. Unveröffentlicht.
- SABOROWSKI, J. und DAHM, S. (1996): Optimiertes Stichprobenverfahren für die Kontrollstichprobe in Niedersachsen. *Fachgutachten im Auftrag des Niedersächsischen Forstplanungsamtes. Unveröffentlicht.*
- SABOROWSKI, J. und DAHM, S. (1997): Möglichkeiten zur Stratifizierung bei Waldinventuren. *In: Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten. Sektion Forstliche Biometrie und Informatik - 9. Tagung (1996; Oybin/Zittauer Gebirge), 92-100.*
- STARKE, J. (1989): Kontrollstichproben in Niedersachsen. *Forst und Holz 13, 331-341*