

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	146 (1995)
Heft:	12
Artikel:	Vom ersten Landesforstinventar zur permanenten Waldbeobachtung
Autor:	Köhl, Michael
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-767013

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Vom ersten Landesforstinventar zur permanenten Waldbeobachtung¹

Von *Michael Köhl*

Keywords: Forest inventories, national forest inventories, random sampling methods, permanent forest monitoring, Switzerland.

FDK: 524.6: 945.4: (494): UDK 519.22

1. Einleitung

Die Erfassung und Beschreibung des Waldzustandes ist seit jeher ein wesentlicher Bestandteil des forstlichen Handelns, da hiermit die Basis für die Bewirtschaftung und Überwachung der Wälder bereitgestellt wird. Forstinventurtechniken wurden in Europa bereits zum Ende des Mittelalters entwickelt (*Loetsch* und *Haller*, 1964). Zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren für fast alle grösseren öffentlichen und privaten Forstbetriebe genaue Karten und Flächenregister verfügbar. Im Laufe des letzten Jahrhunderts wurden die visuellen Schätzungen zunehmend durch Messmethoden ersetzt und Möglichkeiten zur Reduktion der Kosten durch die Anwendung von Stichprobenverfahren erkannt. *Schmidt* (1891) beschreibt eine statistisch konsistente Stichprobenmethode, die von Zetzsche entwickelt wurde und kreisförmige Probeflächen verwendete. Trotz wichtiger Entwicklungen in Skandinavien, Nordamerika und Mitteleuropa wurde erst 1942 von *Schuhmacher* und *Chapman* das erste Lehrbuch über forstliche Stichprobenerhebungen veröffentlicht.

Seit Beginn der 80er Jahre hat die Waldbeobachtung im Rahmen der Diskussion um die «neuartigen Waldschäden» zunehmende Aktualität gewonnen. Obwohl in der Forstwirtschaft seit langem die Erfassung der Vielfachfunktionen der Wälder diskutiert und praktiziert wird (siehe hierzu auch *Köhl et al.*, 1995), konnte spätestens mit der Einführung der Waldzustandsinventuren – früher Waldschadeninventuren genannt – einer breiten Öffentlichkeit vermittelt werden, dass forstliches Planen und Handeln nicht einseitig auf die Holz-

¹ Bei diesem Beitrag handelt es sich um eine leicht abgeänderte, schriftliche Fassung der Antrittsvorlesung vom 30. Januar 1995 an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

produktion ausgerichtet ist. Im folgenden soll dargestellt werden, wie sich das schweizerische Landesforstinventar (LFI) von einem Instrument der Waldzustandsbeschreibung zu einem Instrument der permanenten Waldbeobachtung gewandelt hat. Die Möglichkeiten, die das als Stichprobenerhebung konzipierte LFI bietet, werden im Kontext der beiden anderen Instrumente der Waldbeobachtung – Fallstudien und Experimente – diskutiert.

2. Was ist das LFI?

Im Schweizer Wald stehen etwa 550 Mio. Bäume (*EAFV*, 1988). Würde man jeden Baum erfassen und benötigte für die Messung eines Baumes eine Minute, wären für eine Gesamterhebung aller Bäume etwa 4500 Personenjahre und über 500 Mio. Schweizer Franken erforderlich. Da dieser Aufwand nicht realisierbar ist, wird statt einer Vollerhebung eine Stichprobeninventur durchgeführt. Aus der Grundgesamtheit des Schweizer Waldes wird ein kleiner Teil ausgewählt, dieser Teil sehr intensiv erhoben und anschliessend ein Rückschluss vom ausgewählten Teil – der Stichprobe – auf die Grundgesamtheit vorgenommen. Der Rückschluss beinhaltet eine Vielzahl von Informationen, die von Angaben zum Holzvorrat über den Waldzustand, die Besitzverhältnisse, die Verjüngung bis hin zu Angaben über die Walderschliessung reichen. Der Rückschluss besteht darin, Parameter der Grundgesamtheit wie z.B. Mittelwerte, Anteile oder Gesamtwerte zu schätzen. Sowohl die Stichprobennahme als auch der Rückschluss basieren auf statistischen Methoden und folgen den Regeln der Wahrscheinlichkeitsstichproben (*Cochran*, 1977, *Schreuder et al.*, 1993).

Im ersten LFI wurden etwa 128 000 Bäume aufgenommen; das sind etwa 0,02 % aller Bäume des Schweizer Waldes. Um den Aufwand für die Erhebungen zu reduzieren, wurden nicht Einzelbäume aufgesucht, sondern kreisförmige Proben mit festgelegter Fläche in einem 1x1 km-Netz über das gesamte Land verteilt und alle Bäume, die auf diesen Probeflächen stehen, gemessen. So wurden insgesamt fast 11 000 Probeflächen aufgenommen. Da jede der Probeflächen 500 m² gross ist, nehmen diese zusammen eine Fläche von rund 600 Hektar ein.

Beim Rückschluss von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit treten Fehler auf, so dass eine Schätzung mehr oder weniger genau sein kann. Eine Schätzung kann genau oder ungenau und verzerrt oder unverzerrt sein. Mit zunehmendem Stichprobenumfang wird der Stichprobenfehler geringer, d.h. die Ergebnisse werden genauer. Verzerrungen können auftreten durch Messfehler, Modellfehler, aber auch durch statistische Methoden. Ein Beispiel für Verzerrungen könnte durch einen Beobachter bei der Waldschadeninventur gegeben sein, der den Nadel-/Blattverlust von Einzelbäumen systematisch

10 % zu hoch einschätzt. Unabhängig davon, ob er 50, 500 oder 500 000 Bäume anspricht, wird der von ihm geschätzte mittlere Nadel-/Blattverlust immer um 10 % zu hoch sein. Bei der Berechnung der Stichprobenfehler werden Verzerrungen nicht berücksichtigt, so dass auch verzerrte Ergebnisse aufgrund eines geringen Stichprobenfehlers fälschlicherweise sehr genaue Schätzergebnisse suggerieren können. *Gertner und Köhl* (1992) haben am Beispiel des ersten LFI ein Fehlerbudget für Forstinventuren entworfen, in dem verschiedene Fehlerquellen wie Stichprobenfehler, Vorhersagefehler der Volumenfunktion, Messfehler oder Zuordnungsfehler berücksichtigt werden. Mit Hilfe des Fehlerbudgets konnte gezeigt werden, dass im ersten LFI zufällige Messfehler nur einen geringen Einfluss auf die Genauigkeit der Schätzwerte hatten, das Stichprobendesign aber sehr anfällig für systematische Verzerrungen war. Selbst eine sehr geringe systematische Verzerrung konnte die Schätzgenauigkeit signifikant verschlechtern.

Um eine Schätzung beurteilen zu können, versucht man, das Intervall anzugeben, welches den wahren, aber unbekannten Wert der Gesamtpopulation mit grosser Sicherheit enthält. So ist die Aussage «der durchschnittliche Holzvorrat des Schweizer Waldes beträgt $333 \text{ m}^3/\text{ha}$ » eine wenig befriedigende Aussage. Das Resultat kann nur beurteilt werden, wenn die Genauigkeit angegeben wird. So wird es für die Beurteilung des Ergebnisses von entscheidender Bedeutung sein, ob der Durchschnittswert von $333 \text{ m}^3/\text{ha}$ in einem Intervall von $330\text{--}336 \text{ m}^3/\text{ha}$ oder in einem Intervall von $133\text{--}533 \text{ m}^3/\text{ha}$ liegt. Dieses Beispiel zeigt, dass bei Forstinventuren zusätzlich zur Methode zur Herleitung von Parametern auch Methoden zur Berechnung der Stichprobenfehler bzw. Vertrauensintervalle hergeleitet werden müssen.

3. Wozu eine Inventur der Wälder?

Ohne auf die Zielsetzung des LFI näher einzugehen (siehe hierzu *Brassel*, 1991), gilt generell als eine der wichtigsten Aufgabe des LFI, eine Gesamtanschau des Zustandes und der Entwicklung des Schweizer Waldes zu geben. Dies mag abstrakt klingen und soll deshalb an einem Beispiel veranschaulicht werden.

Nach dem Beitritt von Österreich, Schweden und Finnland zur Europäischen Union hat sich der Holzvorrat, der Holzzuwachs und die jährliche Nutzungsmenge der Europäischen Union (EU) annähernd verdoppelt (siehe Abbildung 1). Gerade der Beitritt Skandinaviens kann zu Verschiebungen auf dem EU-Binnenmarkt führen, was nach Inkrafttreten des GATT-Abkommens auch den Holzmarkt der Schweiz treffen kann. Hier wird die Rolle des LFI deutlich: Es ist das einzige Instrument, das Daten für eine landeseinheitliche Holzaufkommensprognose liefert, wobei nicht nur Angaben zur nach-

haltig nutzbaren Holzmenge, sondern auch eine Gliederung nach verschiedenen Sortimenten, Holzernteaufwand und Verfügbarkeit möglich ist. So kann das LFI die Datenbasis sowohl für holzmarktpolitische als auch für forstpolitische Entscheide liefern.

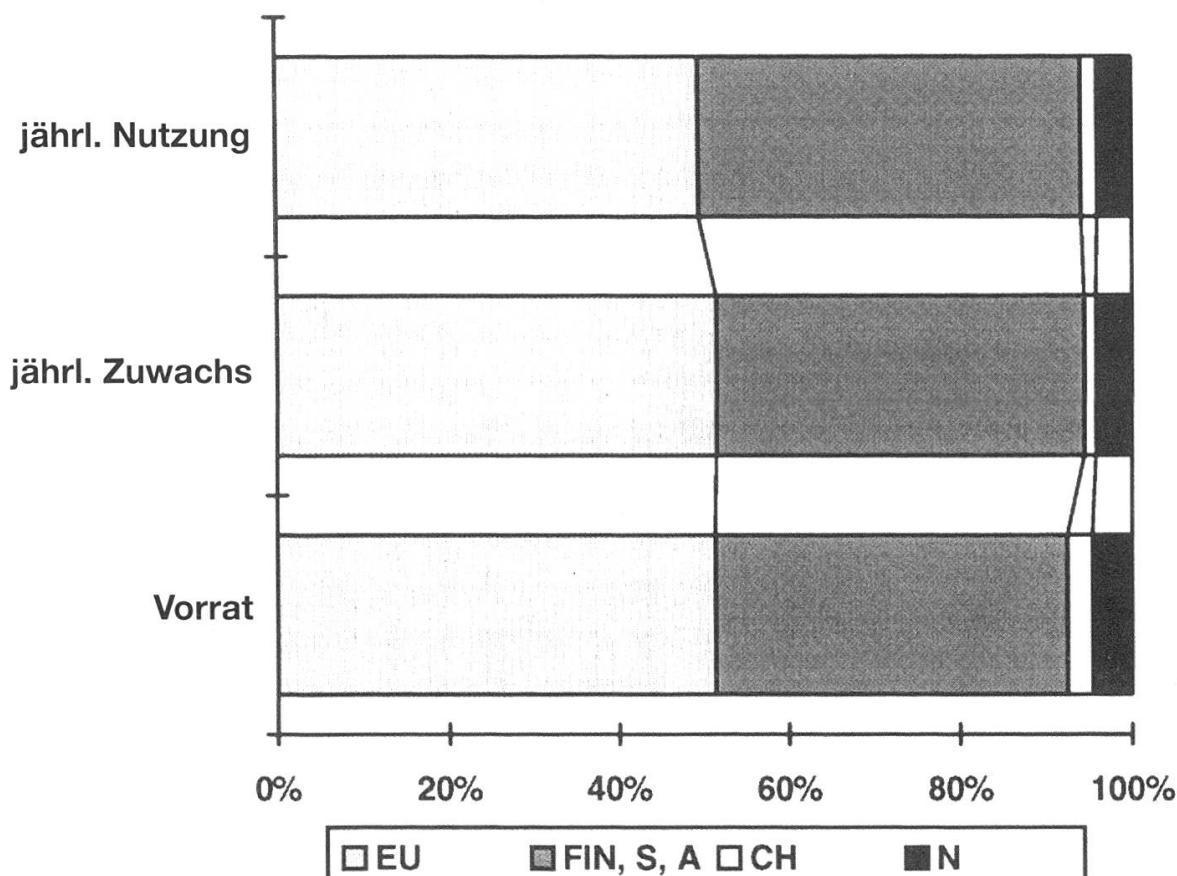


Abbildung 1. Holzvorrat, Zuwachs und Nutzung in der EU, CH und N 1990 (nach Kuusela, 1994).

Neben volkswirtschaftlich/produktionsorientierten Informationen stellt das LFI auch Daten bereit, die die Beurteilung der Nachhaltigkeit der Vielfachfunktionen des Schweizer Waldes ermöglichen. Der Zeithorizont bei der Überwachung der Nachhaltigkeit des Waldes erstreckt sich im Wirtschaftswald über einen Zeitraum von 120 bis 250 Jahren. Im Naturwald sind die Zeiträume zur Überwachung der Walddynamik wesentlich länger. Da die Forstwirtschaft mit solch langen Zeiträumen arbeiten muss, hat sie ein besonderes Denken entwickelt, das geprägt ist von den Begriffen «Langfristigkeit» und «Nachhaltigkeit».

Die Nachhaltigkeit ist ein scheinbar moderner Begriff. Die Prinzipien der Nachhaltigkeit wurden im Forstwesen entwickelt und bereits im 16. Jahrhundert in einer sächsischen Forstordnung niedergelegt. Der Begriff «Nachhaltigkeit» wurde wahrscheinlich von H. von Carlowitz im Jahre 1713 zum ersten Mal verwendet (Speidel, 1972). Das Prinzip der Nachhaltigkeit wurde unter

anderem von *Hartig* (1791) und *Cotta* (1804) weiterentwickelt und wesentlich später von der Forstwirtschaft auf andere Bereiche übertragen; so ist das Nachhaltigkeitsprinzip ein wichtiger Aspekt der beim UNCED-Umweltgipfel von Rio, 1992, verabschiedeten «Rio Declaration on Environment and Development» (UN, 1992). Vielleicht führt gerade die Tatsache, dass Förster seit langem erfolgreich mit dem Begriff der Nachhaltigkeit arbeiten, zu immer wieder aufkeimenden Behauptungen, im Repertoire der Forstwirtschaft befindet sich nur die Nachhaltigkeit der Holzproduktion. Dem spricht entgegen, dass *Hagen* bereits 1867 die Nachhaltigkeit der Vielfachfunktionen des Waldes beschrieben hat.

Die Beachtung des Nachhaltigkeitsprinzips setzt eine intensive Beobachtung der Wälder voraus. Wird die Waldbeobachtung nicht langfristig angelegt, sind Fehlinterpretationen leicht möglich. Dies sei am Beispiel der Zuwachsentwicklung einer Kiefer in Finnisch-Lappland dargestellt (*Abbildung 2²*). Wird nur die Zuwachsentwicklung der letzten 40 Jahre betrachtet, könnte man aufgrund des Abwärtstrends auf eine mangelnde Vitalität der Kiefer schließen. Dehnt man den Beobachtungszeitraum auf 100 Jahre aus, sieht man, dass dem Abwärtstrend zunächst ein markanter Aufwärtstrend vorangegangen ist. Wird die gesamte Zuwachsentwicklung der etwa 400 Jahre alten Kiefer interpretiert, sieht man, dass der Abwärtstrend zwischen 1930 und 1990 zum Schluss wieder auf dem langfristigen Zuwachsniveau endet.

Die Waldbeobachtung hat nicht nur die Erfassung der langfristigen Entwicklung von Einzelbäumen oder Waldökosystemen zum Ziel. Auch kurzfristige Veränderungen sollen erfasst werden, da sie wichtige Einblicke in die Walddynamik geben können. *Abbildung 3* zeigt als Beispiel die Entwicklung der Waldfläche an der Kandermündung. Das linke Bild zeigt den Zustand im Jahr 1981, das rechte Bild den Zustand 1993. Deutlich ist im Zentrum des Bildes die Waldflächenabnahme bedingt durch die Anlage eines Sees zu erkennen. In der unteren rechten Ecke des Bildes ist die Aufforstung von vormals landwirtschaftlichen Flächen zu sehen.

4. Die Instrumente der permanenten Waldbeobachtung

Für die permanente Waldbeobachtung stehen drei Instrumente zur Verfügung:

1. Erhebungen
2. Experimente
3. Fallstudien

² Ich danke Herrn Professor Dr. Kari Mielikäinen, METLA, FIN-Vaanta, für die Überlassung der Darstellung.

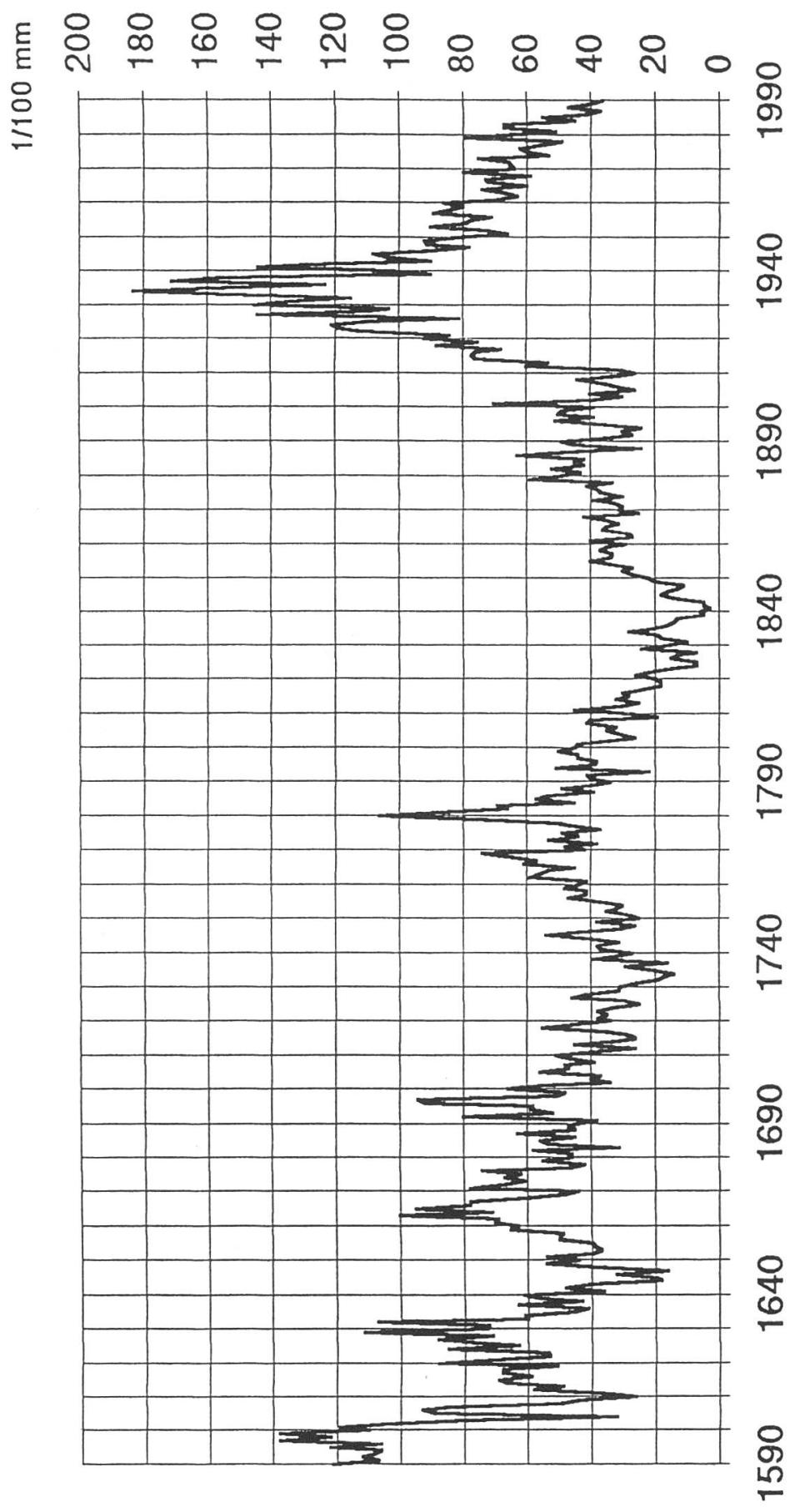


Abbildung 2. Zuwachsentwicklung einer 400jährigen Kiefer in Finnisch-Lappland.



Abbildung 3. Waldentwicklung an der Kandermündung (links 1981, rechts 1993). Aufnahme des Bundesamtes für Landestopographie, Bern, Bilddaten 253 NE, 16, 8294, -1981- und LK 253 NE, 72, 3267, 29-7-1993. Abdruck mit Genehmigung des Bundesamtes für Landestopographie vom 7. April 1995 und 5. Juli 1995.

Experimente beziehen sich nicht auf den gesamten Wald, sondern auf einen genau bezeichneten Ausschnitt und eine bestimmte Fragestellung. Bei der Formulierung der Versuchsfrage muss neben Angaben zum zu untersuchenden Material, z.B. Baumart, Provenienz, Pflanzenalter und die anzuwendenden Behandlungen, auch die Effektgrösse angegeben werden. Ist die Zielvariable eines Versuches beispielsweise das Höhenwachstum von Bäumen, so muss vorab festgelegt werden, wie gross ein bedeutsamer Unterschied im Höhenwachstum sein muss, ab dem man von einem unterschiedlichen Effekt der Behandlungen ausgehen kann (Köhl, 1991). Für die zu untersuchende Fragestellung möchte man ausgehend vom Versuch eine allgemeingültige Aussage herleiten, was mit den Methoden der statistischen Inferenz erreicht wird. Um statistische Inferenz betreiben zu können, müssen drei Forderungen bei der Durchführung des Versuchs erfüllt sein:

- Homogenität der Versuchsbedingungen,
- randomisierte (zufällige) Zuordnung der Behandlung zu den Elementen und
- Wiederholung.

Nur wenn diese drei Forderungen erfüllt sind, ist die statistische Inferenz und damit die Herleitung einer allgemeingültigen Aussage möglich (Winer, 1971, Köhl, 1990b).

Fallstudien sind im Sinne der Statistik nicht geplant. Es handelt sich hierbei entweder um Spontanbeobachtungen oder um die Beobachtung an einzelnen, subjektiv ausgewählten Objekten. Fallstudien zeichnen sich dadurch aus, dass sie keine Wiederholungen, keine homogenen Versuchsverhältnisse und keine vorab spezifizierte Fragestellung aufweisen. Daher können die Methoden der statistischen Inferenz nicht angewendet werden; nur die Methoden der explorativen, beschreibenden Statistik stehen zur Verfügung. Dies führt dazu, dass Puristen unter den Statistikern die Meinung vertreten, mit Fallstudien

lässe sich nichts beweisen. Trotzdem können Fallstudien wichtige Kenntnisse und Erklärungsmodelle für Wirkungszusammenhänge liefern, die dann allerdings in geplanten Experimenten verifiziert werden sollten.

Experimente und Fallstudien sind in der Forstwissenschaft seit langem üblich. Seit über 100 Jahren werden im Schweizer Wald Dauerbeobachtungen auf Dauerversuchsflächen – den Ertragskundeflächen – durchgeführt. Die erste Dauerversuchsfläche der WSL wurde 1888 angelegt; die Zielsetzung der Ertragsversuche war die Herstellung von Ertragstafeln.

Dauerversuchsflächen haben einige gravierende Nachteile. Einer davon ist die mangelhafte Repräsentativität (siehe hierzu auch Köhl *et al.*, 1995). In *Tabelle 1* ist die Höhenlage der Dauerversuchsflächen der WSL (Stand 1988) im Vergleich zu den Probeflächen des Landesforstinventars dargestellt. Da die LFI-Proben die Höhenverteilung des Schweizer Waldes repräsentieren, ist erkennbar, dass etwa 50% des Schweizer Waldes in Höhenlagen über 1000 Metern vorkommen. Im Gegensatz hierzu sind Dauerversuchsflächen in Lagen über 1000 Metern kaum zu finden, weshalb die Aussagen, die aufgrund von Daten der Dauerversuchsflächen gewonnen werden, nicht allgemeingültig für den gesamten Schweizer Wald sind, sondern nur für einen relativ kleinen Ausschnitt gelten können. Die Auswirkung der daraus resultierenden mangelnden Repräsentativität kann an den Ertragstafeln von Badoux (1983 a, b, c, d) verdeutlicht werden. Da die Daten für diese Ertragstafeln auf Dauerversuchsflächen gewonnen und somit strenggenommen nur für hochdurchforstete und gleichaltrige Reinbestände gelten, erstreckt sich ihr strenger Gültigkeitsbereich auf maximal 18% der Waldfläche der Schweiz.

Tabelle 1. Höhenlage der Dauerversuchsflächen der WSL und der LFI-Probeflächen.

Höhe ü. N.N.	Waldwachstumskundliche Dauerversuchsflächen Fläche [%]	Probeflächen des LFI Anzahl [%]
> 1800 m	3,0	7,8
1601 m–1800 m	2,9	8,6
1401 m–1600 m	2,2	10,2
1201 m–1400 m	7,2	11,7
1001 m–1200 m	4,8	13,5
801 m–1000 m	23,8	13,3
601 m– 800 m	13,1	16,0
< 600 m	42,9	19,0

Ein weiteres Problem der Dauerversuchsflächen ist die Forderung nach der Homogenität der Versuchsbedingungen. Teilweise wird gefordert, dass Versuchsflächen standörtlich homogen sein müssten. Das Problem, das aus dieser Forderung für die Anlage von Dauerversuchsflächen entsteht, hat bereits Etter (1949) wie folgt angedeutet:

«*Da ein Land etwa ebensoviele Standorte bietet, als es Quadratmeter zählt, ...».*

Da das Untersuchungsobjekt also heterogen ist, ist die Homogenität des Standortes ein Spezialfall. Abgesehen davon, ob die Untersuchung eines Spezialfalles sinnvoll ist, muss die Heterogenität des Standortes bei der Versuchsplanung und Auswertung berücksichtigt werden. Ähnlich wie man auf der Basis von Bodenproben Karten herstellen kann, lassen sich Wachstumsparameter von Einzelbäumen regionalisieren. Die Geostatistik stellt hierfür bewährte Methoden bereit, mit denen die Problematik der standörtlichen Heterogenität nicht nur aufgefangen wird, sondern die Überlagerung verschiedener Informationsebenen erlaubt, und damit die Interpretation von standörtlichen Unterschieden ermöglicht. Die Forderung nach der Homogenität der Versuchsbedingungen sollte nicht gleichgesetzt werden mit der Forderung nach der Homogenität des Standorts innerhalb einer Versuchsfläche.

Einen Wermutstropfen bei der Anlage von Dauerversuchen stellt auch die Langfristigkeit der Versuche dar. Selbst die Drosophila der Forstwissenschaften, der Eukalyptus, hat eine Umtriebszeit von mindestens 30 Jahren. Viele Antworten auf aktuelle Fragen zur Dynamik in Waldökosystemen und insbesondere der Einfluss veränderter Umweltbedingungen können mit den vorhandenen Daten nur unzureichend beantwortet werden. Wegen der Langfristigkeit der Prozesse in Waldökosystemen lassen sich aktuelle Fragen aber auch nur beschränkt durch neue Versuche beantworten; retrospektives Arbeiten mit Daten von langjährig beobachteten Dauerversuchsflächen oder Jahrring- und Stammanalysen führt vielfach wesentlich schneller zum gesuchten Erkenntnisgewinn.

Während langfristige Experimente und Fallstudien Einblick in die Bestandesdynamik geben können, aber nicht repräsentativ sind, liefern repräsentative Erhebungen wie das LFI Aussagen für eine Grundgesamtheit, erlauben aber praktisch keinen Einblick in die Bestandesdynamik. Durch die Kombination von langfristigen Dauerversuchsflächen, Fallstudien, Jahrringanalysen und repräsentativen Erhebungen können wertvolle Hinweise auf die grossräumige Waldentwicklung und Prozesse in Waldökosystemen gewonnen werden.

Erhebungen haben zum Ziel, repräsentative Aussagen für eine Grundgesamtheit bereitzustellen. Im ersten LFI wurden repräsentative Aussagen zum Waldzustand getroffen – wobei im LFI der Waldzustand immer noch ein Begriff ist, der weit mehr umfasst als nur den Kronenzustand. Im zweiten LFI wird wieder der Waldzustand, zusätzlich werden aber auch die Veränderungen in den vergangenen 10 Jahren präsentiert. Da geplant ist, die Veränderung über viel längere Zeiträume zu erfassen, musste das LFI als ein Instrument für die permanente Waldbeobachtung weiterentwickelt werden.

Die permanente Waldbeobachtung beinhaltet eine Vielfalt von Fragestellungen. Daraus ergibt sich eines der Kernprobleme bei der Inventurplanung, das der indische Statistiker G.P. Patil wie folgt formulierte:

«*Was man sich leisten kann, begeistert nicht,
was begeistert, kann man sich nicht leisten.*»

Wird die Kostensteigerung zwischen dem ersten und dem zweiten LFI berücksichtigt, stehen für die Erhebungen im zweiten LFI real 3 Millionen Schweizer Franken weniger zur Verfügung als im ersten LFI. Soll dennoch die gleiche Genauigkeit wie im ersten LFI erzielt werden, sind statistische Methoden zur Steigerung der Kosteneffizienz gefragt. Daraus ergibt sich allerdings wieder ein weiteres Problem bei der Inventurplanung, insbesondere bei der Auswahl der statistischen Methoden zur Datenerhebung und Datenauswertung.

Im LFI werden drei Kategorien von Daten erhoben:

- messbare Daten auf einer Intervall- oder Absolutskala, z.B. die Baumhöhe, der Durchmesser in 1,3 Metern Höhe,
- kategoriale Daten auf einer Nominal- oder Ordinalskala, die entsprechend einer Definition erfasst werden, z.B. Baumart, Entwicklungsstufe, und
- abgeleitete Daten, die aufgrund von Modellen berechnet werden. So ist beispielsweise das Volumen – eines der wichtigsten Merkmale bei Forstinventuren – kein direkt erfasstes, sondern ein abgeleitetes Merkmal.

Die verschiedenen Datenkategorien sind nicht gleich auswertbar (siehe Abbildung 4). So ist beispielsweise die Berechnung der mittleren Baumart oder der mittleren Exposition wenig sinnvoll. Viele inventurstatistische Methoden sind nur für Daten auf einer Absolut- oder Intervallskala, d.h. messbare Merkmale definiert. Manche neue inventurstatistische Ansätze versagen, wenn sie mit der Notwendigkeit zur Auswertung kategorialer Daten konfrontiert werden.

Für die Entwicklung der Stichprobenmethode des zweiten LFI musste zudem eine Vielzahl von weiteren Randbedingungen beachtet werden (Köhl, 1990a), von denen hier nur noch zwei angeführt werden sollen:

- die Methode muss unter allen Bedingungen anwendbar sein, die im Schweizer Wald anzutreffen sind, und
- die Daten müssen auch nach mehreren Inventurzeitpunkten mit den statistischen Ansätzen auswertbar sein.

5. Stichprobendesign des zweiten LFI

Für das Landesforstinventar werden vier Datenquellen verwendet:

- Luftbilder,
- Probeflächen im Wald,
- Umfragen bei lokalen Forstdiensten und
- Karten.

Im ersten LFI wurden rund 11 000 Waldproben und etwa 40 000 Luftbildproben erhoben. Die Daten der Luftbildinterpretation dienten für die Schätzung der Waldfläche und der Waldflächenanteile. Ein kombiniertes Verfahren,

Nominalskala	Ordinalskala	Intervallskala	Absolutskala
--------------	--------------	----------------	--------------

<===== Modus, Dichtemittel =====>

<===== Median, Zentralwert =====>

<===== Spannweite =====>

<===== arithm. Mittel =====>

<== geom. Mittel ==>

<== harm. Mittel ==>

<== Standardabweichung, Varianz ==>

<= Variationskoeff. =>

<===== Korrelationskoeffizient =====>

<===== Rangkorrelation =====>

Abbildung 4. Auswertungsmöglichkeiten verschiedener Skalenarten.

bei dem Luftbildinformationen und Informationen von Probeflächen im Wald über statistische Ansätze verbunden werden, kam damals noch nicht zur Anwendung. Als Mittel der Wahl zur Effizienzsteigerung bei Forstinventuren gilt aber gerade die Kombination von Erhebungen auf Proben im Wald und in Luftbildern.

Für das zweite LFI waren drei statistische Designfragen zu lösen:

1. Welches Stichprobenverfahren für kombinierte Inventuren soll angewendet werden?
2. Welches Stichprobenverfahren für Folgeinventuren soll angewendet werden?
3. Wie werden die beiden Ansätze verbunden?

Zur Beantwortung dieser Fragen musste eine Vielzahl von statistischen Ansätzen auf ihre Anwendbarkeit für das LFI überprüft werden (*Scott und Köhl, 1993*). Die Überlegungen zur Designwahl sollen am Beispiel der kombinierten Inventurverfahren kurz aufgezeigt werden.

Für kombinierte Inventuren stehen im wesentlichen zwei Alternativen zur Zusammenführung der Information aus Luftbildproben und auf Waldprobe-flächen zur Verfügung:

1. Zweiphasige Stichprobenverfahren mit Regressionsschätzern und
2. Zweiphasige Stichprobenverfahren zur Stratifizierung.

Bei zweiphasigen Stichprobenverfahren mit Regressionsschätzern wird die Zielvariable auf Waldproben erfasst, die Hilfsvariable im Luftbild. Da die Hilfsvariable kostengünstiger zu erfassen ist, wird eine Stichprobe mit grossem Umfang zur Bestimmung der Hilfsvariablen und eine Stichprobe mit geringerem Umfang zur Bestimmung der Zielvariablen ausgewählt. Die Verbindung der Hilfs- mit der Zielvariablen erfolgt über Regressionsfunktionen. So könnte beispielsweise der Holzvorrat auf Waldproben als Funktion von BHD, oberen Durchmessern und Baumhöhe erhoben werden, im Luftbild über Luftbildvolumenfunktionen, in die Deckungsgrad, Baumhöhen oder Kronendurchmesser als unabhängige Variablen einfließen. Der ~~Geometrvorrat~~ wird ermittelt, indem die Holzvorräte der Waldproben und ~~der~~ Luftbildproben über Regressionsbeziehungen miteinander in ~~Verbindung~~ gebracht werden.

Zweiphasige Stichprobenverfahren mit Regressionsschätzern weisen bei der praktischen Anwendung allerdings einige Probleme auf. Auffallend ist, dass dieses Verfahren oft in der Literatur beschrieben, aber selten in der Praxis angewendet wird. Dies liegt einerseits daran, dass die Auswertung kategorialer Daten (Daten auf einer Nominal- oder Ordinalskala) nicht möglich ist, diese aber ein Grossteil der Daten bei Forstinventuren darstellen. Das Verfahren ist nur für metrische Daten definiert, so z.B. den Holzvorrat, die Basal-fläche oder die Stammzahl.

Für jede Variable muss eine neue Regressionsbeziehung hergeleitet werden. Sollen die Daten für Untereinheiten ausgewertet werden, so z.B. für Zel-len in Tabellen, muss wiederum für jede Tabellenzelle eine neue Regressions-beziehung berechnet werden. Dies führt besonders dann zu Problemen, wenn kleine Aussageeinheiten mit wenigen Beobachtungen gebildet werden.

Ein weiteres Problem tritt bei der Herleitung von Tabellen auf. Die Tabel-len sind aufgrund der unabhängigen Regressionsfunktionen in den Zellen nicht additiv, d.h. die Zellen addieren sich nicht zu den Zeilen- und Spalten-summen (siehe *Tabelle 2*). Da nicht-additive Tabellen das Vertrauen in die Inventurresultate nicht gerade fördern, müssen Ansätze zur Adjustierung von Tabellen angewendet werden (*Green et al., 1992*). Bei einer Publikation der Resultate wäre das Ziel aber nicht nur einzelne Tabellen zu adjustieren, son-dern auch alle Tabellen untereinander konsistent zu halten, was bei der grossen Anzahl von Tabellen in Publikationen wie dem LFI-Resultatebericht kaum zu realisieren ist.

Eine Alternative zur zweiphasigen Stichprobe mit Regressionsschätzern basiert auf der Idee der Stratifizierung, d.h. der Aufteilung der Population in

homogene Untereinheiten (Straten). Durch die Stratifizierung wird die Gesamtvariabilität zerlegt in die Variabilität innerhalb der Straten und zwischen den Straten. Früher wurde die Stratifizierung durch eine Delinierung im Luftbild realisiert. Die Stratifizierung und Delinierung des gesamten Waldes der Schweiz in Luftbildern wäre allerdings zu kosten- und zeitaufwendig, weshalb die Grösse der Straten nicht gemessen, sondern geschätzt wird. Die Hilfsvariable bei diesem Verfahren dient also zur Schätzung der Stratengrösse.

Tabelle 2. Additivität von Tabellen.

additive Tabelle

<i>Waldfläche [1000 ha]</i>	<i>Jura, Mittelland</i>	<i>Voralpen, Alpen, Alpensüdseite</i>	<i>Schweiz</i>
Privatwald	277	535	812
öffentlicher Wald	146	227	373
gesamt	423	762	1185

nicht-additive Tabelle

<i>Waldfläche [1000 ha]</i>	<i>Jura, Mittelland</i>	<i>Voralpen, Alpen, Alpensüdseite</i>	<i>Schweiz</i>
Privatwald	253	505	804
öffentlicher Wald	192	239	382
gesamt	431	769	1185

Das zweiphasige Stichprobenverfahren zur Stratifizierung hat einige wesentliche Vorteile. Es verlangt keine aufwendigen Regressionsanalysen, es ist für alle Datenskalen, d. h. auch für kategoriale Daten geeignet, und es führt zu additiven Tabellen. Zwar kann das zweiphasige Stichprobenverfahren mit Regressionsschätzern für einzelne Merkmale wie den Vorrat oder die Stammzahl zu kosteneffizienteren Schätzungen führen; dem zweiphasigen Stichprobenverfahren zur Stratifizierung wurde allerdings für die Anwendung im zweiten LFI der Vorzug gegeben, da es auf alle Merkmale anwendbar ist und die Auswertung wesentlich vereinfacht.

Als Resultat der Datenauswertung des LFI sollen Gesamtwerte, Anteile und Werte mit Flächenbezug (z.B. Stammzahl pro Hektar) für die fünf Produktionsregionen (Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen, Alpensüdseite) und die gesamte Schweiz hergeleitet werden. Die Daten werden entweder am Einzelbaum oder an Probeflächen erhoben. Daraus ergibt sich die in Abbildung 5 ersichtliche Hierarchie bei der Auswertung der Daten.

Zunächst werden Einzelbaumattribute für einzelne Probeflächen zusammengefasst. Da aus der Luftbildinterpretation bekannt ist, welchem Stratum jede Probefläche zuzuordnen ist, werden in einem dritten Schritt die Parame-

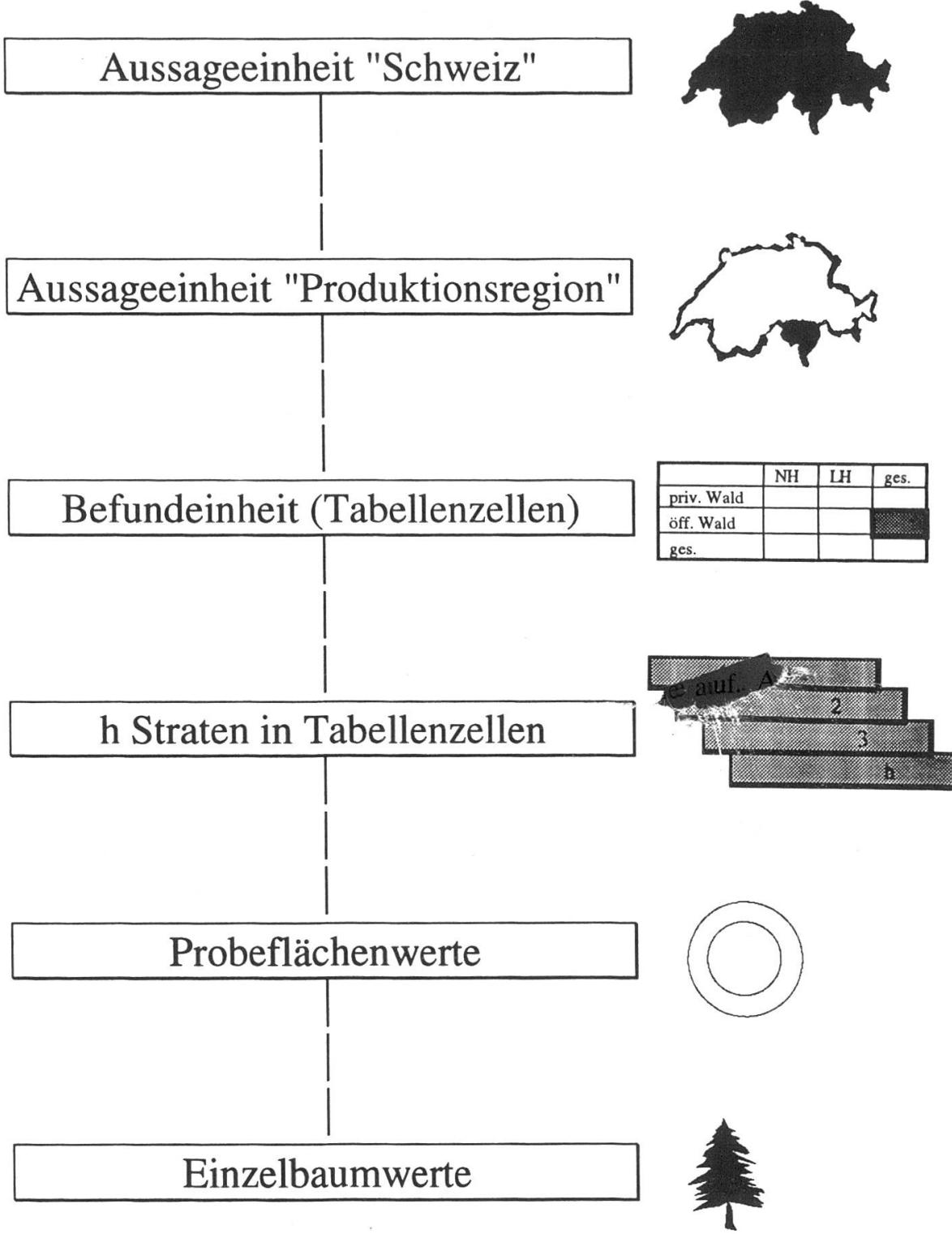


Abbildung 5. Hierarchie bei der Datenauswertung im LFI.

ter getrennt für die einzelnen Luftbildstraten hergeleitet. Durch Zusammenfassung der Luftbildstraten können Zellenwerte in Tabellen getrennt für jede Produktionsregion berechnet werden. Da die Stichproben in den einzelnen

Produktionsregionen unabhängig voneinander durchgeführt werden, können die Werte der Produktionsregionen durch additive Verfahren in Resultate für die gesamte Schweiz überführt werden (Köhl, 1994).

Die statistischen Algorithmen basieren im wesentlichen auf den bekannten Formeln für die zweiphasigen Stichprobenverfahren zur Stratifizierung. Gesamtwerte \hat{Y}_{ds} werden bei bekannter Waldfläche über den Mittelwert der Probeflächen, \hat{Y}_{ds} , berechnet.

$$\hat{Y}_{ds} = \sum_{h=1}^L \frac{n'_h}{n} \hat{Y}_h$$

$$v(\hat{Y}_{ds}) = \sum_{h=1}^L \frac{n'_h - 1}{n - 1} \frac{n'_h}{n} v(\hat{Y}_h) + \sum_{h=1}^L \frac{1}{n - 1} \frac{n'_h}{n} (\hat{Y}_h - \hat{Y}_{ds})^2$$

$$\hat{Y}_{ds} = A \hat{Y}_{ds}$$

$$v(\hat{Y}_{ds}) = A^2 v(\hat{Y}_{ds})$$

mit

\hat{Y}_h = Mittelwert in Stratum h, $h = 1, \dots, L$

$v(\hat{Y}_h)$ = Varianz von \hat{Y}_h , $h = 1, \dots, L$

$v(\hat{Y}_{ds})$ = Varianz von \hat{Y}_{ds}

$v(\hat{Y}_{ds})$ = Varianz von \hat{Y}_{ds}

n'_h = Anzahl Luftbildproben in Stratum h, $h = 1, \dots, L$

n' = Anzahl Luftbildproben = $\sum n'_h$

L = Anzahl Straten

A = Waldfläche

Ein Grossteil der Merkmale einer Inventur kann als Kenngrösse mit Flächenbezug abgebildet werden, so z.B. der Vorrat [m^3/ha], die Stammzahl [n/ha] oder die Grundfläche [m^2/ha]. Der Flächenbezug kann auf zwei Arten realisiert werden. Einerseits kann der Mittelwert von Quotienten, \hat{R}^* , gebildet werden, bei dem zunächst für die einzelnen Proben Werte mit Flächenbe-

zug, \hat{R}_i , hergeleitet und anschliessend der Mittelwert über die Proben gebildet wird.

$$\hat{R}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{X_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{R}_i$$

wobei X_i, Y_i Werte der Probefläche $i, i = 1, \dots, n$, sind und X üblicherweise die Bezugsfläche bezeichnet.

Ein zweiter Ansatz besteht darin, den Quotienten von Mittelwerten oder Gesamtwerten, \hat{R} , zu bilden.

$$\hat{R} = \frac{\hat{\bar{Y}}}{\hat{\bar{X}}} = \frac{\hat{Y}}{\hat{X}}$$

$$v(\hat{R}) = \hat{R}^2 \left\{ \frac{v(\hat{\bar{X}})}{\hat{\bar{X}}^2} + \frac{v(\hat{\bar{Y}})}{\hat{\bar{Y}}^2} - 2 \frac{s_{YX}}{n \hat{\bar{X}} \hat{\bar{Y}}} \right\}$$

mit

$$\hat{\bar{Y}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$$

$$\hat{\bar{Y}} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$$

$$\hat{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$\hat{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

s_{YX} = Kovarianzterm

n = Anzahl Beobachtungen

Da der Mittelwert von Quotienten auch bei grossem Stichprobenumfang nicht verzerrungsfrei ist, sollte der Quotient von Mittelwerten angewendet werden, der bei grossem Stichprobenumfang zu unverzerrten Schätzungen führt. Bei zweiphasigen Stichprobenverfahren werden die Mittel- oder Gesamtwerte über die Algorithmen der zweiphasigen Stichprobe zur Stratifi-

zierung hergeleitet und darüber ein kombinierter Quotentenschätzer, \hat{R}_{ds} , mit Varianz $v(\hat{R}_{ds})$ berechnet. \hat{X}_{ds} , $\hat{\bar{X}}_{ds}$ und $v(\hat{\bar{X}}_{ds})$ werden analog \hat{Y}_{ds} , $\hat{\bar{Y}}_{ds}$ und $v(\hat{\bar{Y}}_{ds})$ berechnet.

$$\hat{R}_{ds} = \frac{\hat{Y}_{ds}}{\hat{X}_{ds}} = \frac{\hat{\bar{Y}}_{ds}}{\hat{\bar{X}}_{ds}}$$

$$v(\hat{R}_{ds}) = \hat{R}_{ds}^2 \left\{ \frac{v(\hat{\bar{X}}_{ds})}{\hat{\bar{X}}_{ds}^2} + \frac{v(\hat{\bar{Y}}_{ds})}{\hat{\bar{Y}}_{ds}^2} - 2 \frac{s_{YXds}}{n \hat{\bar{X}}_{ds} \hat{\bar{Y}}_{ds}} \right\}$$

Die Auswertung des LFI stützt sich auf drei Tabellenarten:

Attributtabellen, in denen die Gesamtwerte von Attributen dargestellt werden, Flächentabellen, aus denen die Gesamtfläche der Bezugseinheit zu entnehmen ist, und Quotententabellen, die Resultate mit Flächenbezug oder Flächenanteil darstellen (siehe *Abbildung 6*).

Im LFI wird der Zuwachs von Einzelbäumen analog zum Einzelbaumvolumen über Zuwachsfunktionen und Zuwachstarife hergeleitet. Dies war aus mehreren Gründen notwendig, so z.B. aufgrund der Messfehler der BHD-Messung mit der Klappe oder der unterschiedlichen Auswahlwahrscheinlichkeit von Bäumen, die zwischen beiden Inventurzeitpunkten den Grenzdurchmesser von 35 cm überwachsen, der über die Zugehörigkeit zum 2 Aren- oder 5 Aren-Probekreis und somit die Auswahlwahrscheinlichkeit entscheidet (Köhl, 1994b).

Für jede Zelle in den Tabellen ist zusätzlich der Stichprobenfehler bzw. das Vertrauensintervall anzugeben. Da die Gesamtwerte und deren Varianz für Attributtabellen und Flächentabellen mit den gleichen Formeln berechnet werden können, sind für die gesamte Auswertung des LFI einige wenige Formeln ausreichend. Dies bedeutet eine enorme Reduktion des Aufwandes für die Auswertung der Daten, die Verifizierung der Resultate und die Robustheit der Auswertungsmethoden.

Durch die Anwendung des zweiphasigen Verfahrens zur Stratifizierung werden im zweiten LFI nur noch 6600 Waldproben erhoben, dafür aber über 160 000 Luftbildproben interpretiert. Durch die Weiterentwicklung der Stichprobenmethoden konnte die gleiche Genauigkeit wie im ersten Landesforstinventar erreicht werden bei gleichzeitiger Reduktion des Aufnahmearaufwandes um 3 Millionen Schweizer Franken (Köhl *et al.*, 1994). Der erweiterte Katalog von Inventurzielen im Sinne der permanenten Waldbeobachtung, insbesondere die Notwendigkeit zur Beschreibung von Veränderungen, hat also nicht zu einer Aufblähung der Inventurkosten geführt.

Attributtabellen (\widehat{Y}_{ds})	Flächentabelle (\widehat{X}_{ds})	Quotententabelle (\widehat{R}_{ds})
$V [m^3]$	$A [ha]$	$V [m^3/ha]$
$\begin{matrix} \widehat{Y}_{11} & \widehat{Y}_{12} & \widehat{Y}_1 \\ \widehat{Y}_{21} & \widehat{Y}_{22} & \widehat{Y}_2 \\ \widehat{Y}_{\cdot 1} & \widehat{Y}_{\cdot 2} & \widehat{Y}_{tot} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \widehat{X}_{11} & \widehat{X}_{12} & \widehat{X}_1 \\ \widehat{X}_{21} & \widehat{X}_{22} & \widehat{X}_2 \\ \widehat{X}_{\cdot 1} & \widehat{X}_{\cdot 2} & \widehat{X}_{tot} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \widehat{R}_{11} & \widehat{R}_{12} & \widehat{R}_1 \\ \widehat{R}_{21} & \widehat{R}_{22} & \widehat{R}_2 \\ \widehat{R}_{\cdot 1} & \widehat{R}_{\cdot 2} & \widehat{R}_{tot} \end{matrix}$
$G [m^2]$		$G [m^2/ha]$
$\begin{matrix} \widehat{Y}_{11} & \widehat{Y}_{12} & \widehat{Y}_1 \\ \widehat{Y}_{21} & \widehat{Y}_{22} & \widehat{Y}_2 \\ \widehat{Y}_{\cdot 1} & \widehat{Y}_{\cdot 2} & \widehat{Y}_{tot} \end{matrix}$		$\begin{matrix} \widehat{R}_{11} & \widehat{R}_{12} & \widehat{R}_1 \\ \widehat{R}_{21} & \widehat{R}_{22} & \widehat{R}_2 \\ \widehat{R}_{\cdot 1} & \widehat{R}_{\cdot 2} & \widehat{R}_{tot} \end{matrix}$
$N [n]$		$N [n/ha]$
$I [m^3]$		$I [m^3/ha]$
$Jungwald [ha]$		$Jungwald [Anteil]$
$\begin{matrix} \widehat{Y}_{11} & \widehat{Y}_{12} & \widehat{Y}_1 \\ \widehat{Y}_{21} & \widehat{Y}_{22} & \widehat{Y}_2 \\ \widehat{Y}_{\cdot 1} & \widehat{Y}_{\cdot 2} & \widehat{Y}_{tot} \end{matrix}$		$\begin{matrix} \widehat{R}_{11} & \widehat{R}_{12} & \widehat{R}_1 \\ \widehat{R}_{21} & \widehat{R}_{22} & \widehat{R}_2 \\ \widehat{R}_{\cdot 1} & \widehat{R}_{\cdot 2} & \widehat{R}_{tot} \end{matrix}$
$Stangenholz [ha]$		$Stangenholz [Anteil]$

Abbildung 6. Tabellenarten im LFI.

6. Schluss

Da das Konzept des Landesforstinventars auf ein drittes und weitere Inventare angewendet werden kann, wurde das LFI zu einem Instrument für die permanente Waldbeobachtung. Auch geänderte Zielsetzungen können berücksichtigt werden, da mit den jetzt vorhandenen Algorithmen Merkmale auf beliebigen Datenskalen ausgewertet werden können. Damit ist die Kontinuität für beliebig viele Aufnahmezeitpunkte gewährleistet.

Das LFI ist hiermit auch zu einem Instrument zur Überwachung der Nachhaltigkeit und der Veränderungen im Schweizer Wald geworden. Das Konzept

ist zudem übertragbar für kantonale Inventuren oder Regionalinventuren. Somit kann das LFI als Vorinvestition für die Kantone gelten. Das LFI ist aber auch ein Instrument von internationaler Bedeutung, mit dem die Verpflichtungen zur Überwachung der Nachhaltigkeit der Wälder erfüllt werden. Dies sind insbesondere die Agenda 21 (Konvention zur Überwachung der Nachhaltigkeit von Wäldern), die bei der UNCEP 1992 in Rio de Janeiro verabschiedet wurde, sowie die Deklaration der Ministerkonferenz zum Schutz der europäischen Wälder, die 1990 in Strassburg und 1993 in Helsinki tagte. Die Unterzeichnerstaaten der Agenda 21 haben sich verpflichtet, «systematische Erhebungen des quantitativen und qualitativen Zustandes sowie der Veränderungen der Waldfläche und der Waldressourcen durchzuführen» und «Methoden für umfassende Erhebungen, die den gesamten Wert der Wälder erfassen, zu verbessern und zu fördern...»³ – mit dem LFI können diese internationalen Verpflichtungen bereits heute praktisch ohne finanziellen Mehraufwand erschöpfend erfüllt werden.

Obwohl die Anforderungen und Erwartungen an das zweite LFI, insbesondere bezüglich der Überwachung des Waldzustandes und der Walddynamik, grösser sind als beim ersten LFI, ist Dank der Weiterentwicklung der Methoden die Datenerhebung des zweiten LFI wesentlich kostengünstiger als die Datenerhebung des ersten LFI. Hiermit wurde gezeigt, dass die Waldbeobachtung bei einer konsequenten, auf die Optimierung der Zielerreichung ausgerichteten Planung und Durchführung über Instrumente verfügt, die nicht notwendigerweise zu einer nichtendenwollenden Kette von langfristigen, finanziellen Verpflichtungen führen.

Zusammenfassung

Forstliches Handeln im Sinne einer geregelten Forstwirtschaft richtet sich seit jeher an den Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Langfristigkeit aus. Entgegen der teilweise an der Forstwirtschaft geäusserten Kritik einer einseitig auf die Produktionsfunktion ausgerichteten Handlungsmaxime, hat – zumindest in Mitteleuropa die Erhaltung der Vielfachfunktionen des Waldes eine lange Tradition. Nachhaltigkeit, Langfristigkeit und Vielfachfunktionen bilden den Rahmen für die Inventur und Überwachung von Wäldern.

Die permanente Waldbeobachtung ist kein neues Konzept: bereits vor über einhundert Jahren wurden in der Schweiz die ersten Dauerversuchsflächen angelegt. Heute verfügt die langfristige Waldbeobachtung über drei Instrumente: Erhebungen, Experimente und Fallstudien. Erhebungen und Experimente erlauben statistisch abge-

³ im Originaltext: «Assessing and carrying out systematic observations of the quantitative and qualitative situation and changes of forest cover and forest resources» und «Improving and promoting methodologies for a comprehensive assessment that will capture the full value of forests...»

sicherte Aussagen, deren Gültigkeitsbereich aber nicht *per se* die Gesamtheit aller Wälder ist, sondern von der zugrundeliegenden Versuchsfrage oder der Stichprobenpopulation abhängt. Fallstudien beruhen nicht auf einer statistischen Planung, sondern sind mehr oder weniger intensive Beobachtungen von Einzelfällen. Daher können sie zwar wichtige Erkenntnisse über Waldökosysteme liefern, diese sind aber nicht statistisch abgesichert und müssen mit Experimenten oder Erhebungen verifiziert werden.

Das Landesforstinventar (LFI) ist als Stichprobeninventur konzipiert und erlaubt gesicherte Aussagen über den gesamten schweizerischen Wald. Das zweite LFI baut auf den Methoden des ersten LFI auf, jedoch mussten bei der Planung des zweiten LFI verschiedene Punkte beachtet werden. Die statistischen Methoden, insbesondere diejenigen zur Quantifizierung von Veränderungen, mussten im gesamten Schweizer Wald und für alle herzuleitenden Merkmale anwendbar sein. Das Verfahren sollte offen für Regionalinventuren und für weitere Folgeerhebungen sein. Aufgrund realer Mittelkürzungen war eine Steigerung der Kosteneffizienz, d. h. die Senkung der Aufnahmekosten bei gleichbleibender Genauigkeit, unabdingbar. Durch den verstärkten Einsatz des Luftbildes und die Anwendung des statistischen Ansatzes eines zweiphasigen Stichprobendesigns mit Stratifizierung im Luftbild konnte die Anzahl der notwendigen Waldproben um etwa die Hälfte verringert werden.

Durch die methodische Weiterentwicklung wurde das LFI zu einem Instrument der permanenten Waldbeobachtung und zur grossräumigen Überwachung des Schweizer Waldes. Es liefert Resultate und Erkenntnisse, die nicht nur von nationaler Bedeutung sind, sondern deckt auch vielfältige internationale Verpflichtungen zur Inventur und Überwachung der Wälder ab.

Résumé

Du premier inventaire forestier national suisse à l'observation permanente de la forêt

Gestion durable et considérations à long terme sont les principes qui ont toujours motivé les actions de la foresterie. Contrairement à certaines critiques selon lesquelles l'économie forestière se serait focalisée sur l'unique fonction productrice de la forêt – en Europe centrale du moins – il y a longtemps que le maintien de la plurifonctionnalité de la forêt est ancré dans les traditions. Gestion durable, planification à long terme et plurifonctionnalité de la forêt sont trois notions clés appartenant à l'inventoritage et au monitorage de la forêt.

L'observation permanente de la forêt n'est pas un concept nouveau: il y a plus d'un siècle déjà que les premières placettes d'observation permanente étaient installées en Suisse. Aujourd'hui, l'observation à long terme de la forêt dispose de trois instruments: l'inventoriage, l'expérimentation et les études de cas. Les inventaires et expérimentations fournissent des variables statistiquement significatives. Mais leur portée ne couvre pas nécessairement la globalité des forêts car elle dépend de la population inventoriée ou de l'objectif fixé à la base de l'expérimentation. Quant aux études de cas, elles ne sont pas planifiées dans un contexte statistique mais elles reposent sur des

observations plus ou moins intensives de cas isolés. Elles peuvent conduire à d'importantes conclusions certes mais elles ne sont pas significatives et méritent donc d'être vérifiées par des expérimentations ou des inventaires.

L'Inventaire forestier national (IFN) est un relevé par échantillonnage permettant d'obtenir des renseignements fiables sur l'ensemble de la forêt suisse. Le deuxième IFN, modelé à l'image du premier, a dû être adapté à diverses exigences: les méthodes statistiques, notamment celles concernant l'évaluation des changements, sont désormais applicables à l'ensemble de la forêt suisse et à tous les critères de déductibilité; le système est également approprié à l'établissement d'inventaires régionaux et d'autres inventaires ultérieurs. Le deuxième IFN ayant subi des coupes budgétaires, il a fallu augmenter le rapport coût-efficacité des opérations. Cela signifie en d'autres termes que des solutions ont dû être trouvées afin de diminuer les dépenses tout en assurant le maintien d'une même précision. Il a été possible de réduire de moitié, ou presque, le nombre de placettes en intensifiant le programme d'interprétation de photographies aériennes et en adoptant la méthode d'échantillonnage à deux phases avec stratification.

La mise au point de ces méthodes a fait de l'IFN un instrument d'observation permanente de la forêt suisse. Les résultats qui en découlent ne sont pas seulement d'importance nationale mais ils couvrent aussi les engagements pris à l'échelle internationale en faveur d'une gestion durable des forêts. Traduction: *Monique Dousse*

Summary

From the First Swiss National Forest Inventory to Permanent Forest Monitoring

Actions in forestry are characterized by the principles of sustainability and long-term considerations. In spite of the sometimes expressed opinion that forestry solely focuses on the productive function of forests, maintaining the multiple functions of forests has a long tradition – at least in Central Europe. Sustainability, long-term planning and multiple functions of forests are the framework for inventorying and monitoring forests.

Long-term monitoring of forests is not a new concept: more than a hundred years ago the first long-term observation plots were installed in Switzerland. Today forest monitoring has three instruments available: surveys, experiments and case studies. Surveys and experiments render statistical inference. The scope of the statistically verified results does not necessarily cover the total forest population, but depends on the underlying objective of the experiment and the sampling frame. Case studies in a statistical sense are more or less intensive observations of isolated cases, but are not planned. They may lead to important understanding of forest ecosystems, but the evidence of case studies has to be verified by experiments or surveys.

The Swiss National Forest Inventory (NFI) is a sample based survey and renders statistically sound results for all Swiss forests. The second Swiss NFI is based on the first NFI. In planning the statistical design of the second Swiss NFI some requirements had to be taken into account. The sampling methods, especially those for assessing changes,

have to be applicable for the entire conditions found in Swiss forests and for all attributes of interest. The design has to be open to regional surveys as well as for sampling on successive occasions. As the budget for the second NFI had been cut by 3 Mil. Swiss francs, the cost-efficiency of the survey had to be improved. That means the survey costs had to be reduced to meet the specified level of precision. By applying two-phase sampling for stratification and by intensifying the aerial photo interpretation, the number of field plots could be reduced by almost fifty percent.

The development of methods has changed the Swiss NFI towards an instrument for long-term monitoring of Swiss forests. The results are not only of national importance, but cover many of the international commitments for monitoring the sustainability of forests.

Literatur

- Badoux, E.*, 1983a: Ertragstafeln Buche. Eidgen. Anst. Forstl. Versuchswes., 3. Aufl.
- Badoux, E.*, 1983b: Ertragstafeln Fichte. Eidgen. Anst. Forstl. Versuchswes., 3. Aufl.
- Badoux, E.*, 1983c: Ertragstafeln Tanne. Eidgen. Anst. Forstl. Versuchswes., 3. Aufl.
- Badoux, E.*, 1983d: Ertragstafeln Lärche. Eidgen. Anst. Forstl. Versuchswes., 3. Aufl.
- Brassel, P.*, 1991: The Second Swiss National Forest Inventory (NFI): Retrospect, Aims, Planning, in: *Köhl, M., D. R. Pelz* (eds.): Forest Inventories in Europe with Special Reference to Statistical Methods, Swiss Fed. Inst. for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf: 20–26.
- Cochran, W.G.*, 1977: Sampling Techniques, New York, J. Wiley & Sons, 428 pp.
- Cotta, H.*, 1804: Systematische Anleitung zur Taxation der Waldungen, Johann Daniel Sander, Berlin.
- EAFV*, 1988: Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Erstaufnahme 1982–1986. Eidgen. Anst. Forstl. Versuchswes., Bericht Nr. 305, 375 S.
- Etter, H.*, 1949: Über die Ertragsfähigkeit verschiedener Standorttypen, Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes., Band 26, Heft 1: 91–152.
- Gertner, G. Z., Köhl, M.*, 1992: An Assessment of Some Nonsampling Errors in a National Forest Survey Using an Error Budget, *Forest Science* 38, 3: 525–538.
- Green, E.J., Köhl, M., Strawderman, W.*, 1992: Constrained Empirical Bayes Estimates for Cell Values in a Two-Way Table, *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 1983–1987.
- Hagen, O. von*, 1867: Die forstlichen Verhältnisse Preussens, Bd. 1, Springer, Berlin.
- Hartig, G. L.*, 1791: Anweisung zur Holzzucht für Förster, Marburg, neue akademische Buchhandlung, 144 S.
- Köhl, M.*, 1990a: Stichprobenkonzepte für Folgeinventuren, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 141 (9): 745–755.
- Köhl, M.*, 1990b: Sind «statistisch signifikante» Ergebnisse wirklich signifikant? oder Gedanken zur Anwendung statistischer Methoden in der Forstlichen Forschung, *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 161 (12): 222–231.
- Köhl, M.*, 1991: Anzahl Wiederholungen bei der Versuchsplanung, *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110: 95–103.
- Köhl, M.*, 1994a: Statistisches Design für das zweite Schweizerische Landesforstinventar: Ein Folgeinventurkonzept unter Verwendung von Luftbildern und terrestrischen Aufnahmen (Habilitationsschrift Eidgen. Technische Hochschule, Zürich), Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, Band 69, Heft 1, 141 S.
- Köhl, M.*, 1994b: Die Zuwachsschätzung im zweiten schweizerischen Landesforstinventar, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 145 (8): 677–684.
- Köhl, M., Scott, C. T., Brassel, P.*, 1994: Zweites Schweizerisches Landesforstinventar: Optimierung des Stichprobenplans unter dem Gesichtspunkt der Kosteneffizienz, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 145 (9): 721–738.
- Köhl, M., Scott, C. T., Zingg, A.*, 1995a: Evaluation of Permanent Sample Surveys for Growth and Yield Studies, *Forest Ecology and Management*, 71 (3): 187–194.

- Köhl, M., Bachmann, P., Brassel, P., Preto, G.* (eds.), 1995b: The Monte Verità Conference on Forest Survey Designs. «Simplicity versus Efficiency» and Assessment of Non-Timber Resources, Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL/FNP). Zurich, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), 316 pp.
- Kuusela, K.*, 1994: Forest Resources in Europe 1950–1990, European Forest Institute (ed.), Cambridge University Press, 154 pp.
- Loetsch, F., Haller, K. E.*, 1964: Forest Inventory, Vol. 1, München, BLV-Verlagsgesellschaft, 436 pp.
- Schmidt, K.*, 1891, Das «Kreisprobeflächen-Aufnahmeverfahren» des Herrn Oberforstrath Zetsche, Allg. Forst-u. Jagdztg. 67 (11): 73–76.
- Schreuder, H. T., Gregoire, T.G., Wood, G. B.*, 1993: Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory, John Wiley & Sons, New York, 446 pp.
- Schuhmacher, F.X., Chapman, R.A.*, 1942: Sampling Methods in Forestry and Range Management, Duke University, School of Forestry, Durham, NC, Bull. 7, 213 pp.
- Scott, C. T., Köhl, M.*, 1993: A Method for Comparing Sampling Design Alternatives for Extensive Inventories, Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, Band 68, Heft 1, 62 S.
- Speidel, G.*, 1972: Planung im Forstbetrieb, Verlag Paul Parey, 267 S.
- UN*, 1992: Rio Declaration on Environment and Development, in: Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development, UN Publications No. E.93.I.11: 7–11.
- Winer, B.J.*, 1971: Statistical Principles in Experimental Design, McGraw Hill, New York, 907 p.

Gedruckt mit Unterstützung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.

Verfasser: PD Dr. Michael Köhl, Leiter der Forschungsgruppe Inventurmethoden, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.