

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 154 (2003)
Heft: 3-4

Artikel: Die Idee der Kontrollstichproben : ihre Entstehung und ihre Zukunft
Autor: Schmid-Haas, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098165>

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: 01.05.2026

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

Die Idee der Kontrollstichproben: ihre Entstehung und ihre Zukunft¹

PAUL SCHMID-HAAS

Keywords: Forest inventory; monitoring; permanent sample plots ; sustained yield; development; increment; drain. FDK 524.6 : 56 : UDK 519

1. Die Aufgaben der Waldinventur

In den letzten Jahrzehnten sind ökologische Probleme immer wichtiger geworden; ökonomische Probleme sind zwar wichtig geblieben, haben aber bei generellen Entscheiden an Gewicht verloren. Die Informationen, die eine Waldinventur liefern sollte, waren vor vierzig Jahren trotzdem nicht viel andere als heute (KURT 1954). Schon immer sollten die Inventuren Informationen über den Wald liefern, die für forstpolitische Entscheide sowie zur Planung von Massnahmen und deren Kontrolle nötig sind. Bei nationalen Inventuren stehen forstpolitische Entscheide im Vordergrund, für die vielfältige generelle Überblicke, insbesondere Mittelwerte, erforderlich sind. Betriebliche Inventuren können sich demgegenüber auf wenige Merkmale beschränken, zusätzlich sind aber detailliertere geographische Informationen nötig, denn man will wissen, wo welche Massnahmen auszuführen sind (Tabelle 1).

Tabelle 1: Die Art der Informationen, welche die Waldinventur für Planung und Kontrolle liefern soll.

Aufgaben	Notwendige Informationen
Vollzugskontrolle	Nutzung
Prognosekontrolle	Zustandsveränderung, Zuwachs
Nachhaltigkeitskontrolle (Erfolgskontrolle)	Zustandsveränderung, Zuwachs, Nutzung
Planung	Zustand, Zuwachs, Prognosen, Szenarien

Als Grundlage für jede Entscheidung und insbesondere zur Planung der Waldbehandlung ist selbstverständlich eine gute Übersicht über den momentanen Zustand des Waldes notwendig. Darüber hinaus muss die Waldinventur Informationen liefern, die brauchbare Prognosen über die zukünftige Entwicklung des Waldes in Abhängigkeit von geplanten Massnahmen erlauben.

Nach Ablauf einer Planungsperiode sollte untersucht werden, was inzwischen geschehen ist. Die Vollzugskontrolle prüft, was gemacht worden ist, ob die ausgeführten Massnahmen der Planung entsprechen und aus welchen Gründen von der Planung abgewichen worden war. Die Inventur kann hierzu Ort, Art und Menge der Nutzungen aufzeigen. Die Prognosekontrolle prüft, wie sich der Wald entwickelt hat und wie gross der Zuwachs der verschiedenen Baumklassen und Waldteile war. Abweichungen der Waldentwicklung von der Prognose, die nicht auf ungeplante Massnahmen oder unvorhersehbare Naturereignisse zurückgeführt werden, können zu Korrekturen der Prognosemethode führen.

Die Kontrolle der Nachhaltigkeit stand im europäischen und insbesondere im schweizerischen Forstwesen schon seit langem im Mittelpunkt. Dazu ist eine gute Kenntnis der Zustandsveränderungen, von Zuwachs und Nutzung, notwen-

dig. Die Erfolgskontrolle schliesslich sollte darüber hinaus den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Gewinn überprüfen, soweit das sinnvoll und möglich ist. Die Erfolgskontrolle zeigt, ob die Planungsentscheide sinnvoll waren.

Die Inventur muss also Informationen über den Zustand des Waldes und über seine Veränderungen liefern. Der Volumenzuwachs ist gleichzeitig das wichtigste Mass für die Vitalität des Waldes und für die Produktion eines der wichtigsten erneuerbaren Rohstoffe. Für die Vollzugs- und Erfolgskontrolle ist zudem eine Übersicht über die getätigten Nutzungen wertvoll.

2. Vor vierzig Jahren vorhandene Inventurmethode

Vor vierzig Jahren gab es in der Schweiz bekanntlich noch keine Landesinventur. Für die betriebliche Planung gab es im ganzen Land eine mehr oder weniger einheitliche Inventurmethode, die klassische Kontrollmethode von Gurnaud und Biolley (BIOLLEY 1920). Periodisch wurden die Durchmesser in Brusthöhe von allen Bäumen, meist in 4 cm-Stufen ab 16 cm, gemessen und nach Durchmesserstufen und Baumarten gezählt. Mit Einheitstarifen wurde der Holzvorrat ermittelt. Aus den Differenzen zwischen zwei Vollkluppierungen ergaben sich die Veränderungen des Vorrats, der Baumartenzusammensetzung und der Durchmesserverteilung. Zwischen den Inventuren musste der Forstdienst alle Nutzungen laufend registrieren. Die Summe aus Nutzungsmenge und Vorratsveränderung ergab den Volumenzuwachs.

Die Genauigkeit für die Schätzungen des aktuellen Zustands und für seine Veränderungen war gut, zumindest wenn mit einigermaßen realistischen Einheitstarifen gearbeitet wurde. Für die Nutzung war die Genauigkeit im Wesentlichen von der Art und Sorgfalt der laufenden Nutzungskontrolle abhängig und daher sehr unterschiedlich. Sie genügte den Ansprüchen, wo die Durchmesser in Brusthöhe aller angezeichneten Bäume vor dem Fällen gewissenhaft registriert wurden und wo keine grossen Schadenereignisse eingetreten waren. Da der Zuwachs als Summe von Vorratsveränderung und Nutzung berechnet wurde, konnte die Genauigkeit für den Zuwachs nicht besser als für die Nutzung sein. Die Zuwachsschätzung war zumindest in denjenigen Kantonen ungenügend, in denen die Nutzungen nur liegend kontrolliert und die Zwangsnutzungen nicht peinlich genau registriert wurden. Wo nur ein Teil der Nutzungen erfasst worden war, wurde der Zuwachs oft so stark unterschätzt, dass Planungsfehler fast unvermeidbar waren.

In der Schweiz gab es keine Bestandeskarten. In Plenterwaldgebieten waren die Abteilungen teilweise so homogen, dass Bestandestypenkarten nicht nötig waren und die Inventurdaten trotzdem waldbaulich interpretiert werden konn-

¹ Nach einem Referat, gehalten am 11. November 2002 im Rahmen der Montagskolloquien des Departements Forstwissenschaften der ETH Zürich.

ten. In den viel ausgedehnteren Femelschlaggebieten hingegen fehlten dem Planer Bestandeskarten sowie Inventurresultate für die einzelnen Bestände oder wenigstens für die Standorts- und Bestockungstypen.

Der Aufwand war gross, die meisten Forstdienste waren durch eine sorgfältige Stehendkontrolle der Nutzungen organisatorisch überfordert und bei grossen Sturmschäden war die Methode nicht mehr brauchbar. Die fehlenden Informationen, die oft ungenügende Genauigkeit für Nutzung und Zuwachs, der grosse Aufwand und die organisatorischen Ansprüche einer sorgfältigen Nutzungskontrolle machten ein generelles Überdenken der Methode der Forsteinrichtung notwendig.

Im Ausland hat zu dieser Zeit keine Inventurmethode existiert, welche uns die wichtigsten Eckdaten für Planung und Kontrolle hätte liefern können (Tabelle 2).

Tabelle 2: Die Art der Waldinventuren, die vor vierzig Jahren angewendet oder vorgeschlagen wurden.

Schweiz	Vollkluppierungen und laufende Nutzungskontrolle
Nachbarländer	Terrestrisch erstellte Bestandeskarten und Ertragstafelschätzungen
USA, Skandinavien	Temporäre Stichproben
Einzelpublikationen	Temporäre Stichproben mit Zuwachsbohrungen

In unseren Nachbarländern wurden die Wälder seit Generationen meist mit terrestrisch erstellten Bestandeskarten und okularen Schätzungen mit Hilfe von Ertragstafeln inventarisiert. Diese Methoden schienen sich weder für unsere meist kleinen und inhomogenen Femelschlagbestände noch für die Plenterwälder zu eignen.

Mehr Aussicht auf Erfolg versprachen die in Nordamerika und in skandinavischen Ländern angewendeten Stichprobenerhebungen. Bei allen bekannten Stichprobeninventuren fehlte aber der Bezug zu Bestockungs- oder Standortskarten. Zumindest bei lokalen Inventuren ist es wichtig, dass die Stichproben nicht nur Mittelwerte für eine ganze Region oder einen ganzen Betrieb liefern, sondern soweit möglich auch zeigen, wo welcher Wald, wo welche Merkmale vorhanden sind.

Die in der Schweiz neu eingeführte und mit Hilfe von Luftbildern hergestellte Bestandeskarte verbesserte diese Situation wesentlich (KURT *et al.* 1962). Die Kombination der Stichprobeninventur mit der Bestandeskarte brachte die seinerzeit bei der Einführung der Kontrollmethode verloren gegangene flächenhafte Übersicht über die Bestockungstypen zurück. Die systematische Auswahl der Probeflächen wurde beibehalten. Als einzige Änderung wurde jedes Probezentrum einem Bestand zugeteilt. Somit war es möglich, zuerst Mittelwerte für jede Bestockungseinheit zu berechnen und aus diesen erst die Werte für das gesamte Gebiet hochzurechnen. Die Erfahrung hat dann rasch gezeigt, dass der Standardfehler für den Gesamtwald durch eine stratifizierte Auswertung stark reduziert wird. Weil die Probeflächenwerte innerhalb der Bestandestypen weit weniger streuen als innerhalb des gesamten Waldes, kann ein vorgegebener Gesamtfehler meist mit weniger als der Hälfte der Probeflächen erreicht werden. Schliesslich ermöglichte die Anwendung der Bestandeskarte für die Stratenbildung zusätzliche Aussagen über die einzelnen Bestandestypen, die für die waldbauliche Planung wesentlich sind. Die Stichprobenerhebung lieferte damit erstmals nicht nur Mittelwerte für den ganzen Wald, sondern auch Aussagen über die lokale Verteilung. Diese Vorteile waren zu erreichen, ohne die Arbeit bei der Probenahme zu erschweren (Schmid-Haas und Beda 1960, nicht publiziert).

Da die Probeflächen bei allen bekannten Inventuren immer wieder neu ausgewählt wurden, waren die Informationen über die Zustandsveränderungen viel weniger genau als über den aktuellen Zustand, die Nutzungen konnte man nicht und den Zuwachs hätte man durch kostspielige Zuwachsbohrungen und Jahringmessungen ermitteln müssen.

3. Temporäre oder permanente Stichproben?

Die Grösse des zufälligen Fehlers eines Mittelwertes ist bekanntlich nur von der Streuung zwischen den aktuellen Probeflächenwerten und der Anzahl der Probeflächen abhängig. Die Genauigkeit für Veränderungen zwischen zwei voneinander unabhängig durchgeführten Inventuren ergibt sich aus den Genauigkeiten der beiden Inventuren. Wenn beide Inventuren gleich genau sind, ist der Standardfehler für die Differenz 1,41 mal so gross wie für die einzelne Inventur. Die Veränderung ist im Allgemeinen natürlich viel kleiner als der Wert für den aktuellen Zustand und der relative Fehler daher oft so gross, dass die Schätzung für die Veränderung völlig illusorisch wird. Darüber hinaus können Zuwachs und Nutzung nur bei permanenten Stichproben direkt ermittelt werden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Die Berechnung der Standardfehler s bei temporären und permanenten Stichproben.

Während die Standardfehler für Merkmale des aktuellen Zustands (Vorrat, Baumartenanteile usw.) bei permanenten und temporären Stichproben genau gleich berechnet werden, ist die Berechnung für Zustandsveränderungen völlig verschieden. Zuwachs und Nutzung können nur bei permanenten Stichproben direkt ermittelt werden.

	Mittelwert	Standardfehler Temporäre Proben	Standardfehler Permanente Proben
Vorrat 1	$V_1 = \sum V_{1i} / n$	$s^2_{V_1} = \sum (V_{1i} - V_1)^2 / (n-1)n$	$s^2_{V_1} = \sum (V_{1i} - V_1)^2 / (n-1)n$
Vorrat 2	$V_2 = \sum V_{2i} / n$	$s^2_{V_2} = \sum (V_{2i} - V_2)^2 / (n-1)n$	$s^2_{V_2} = \sum (V_{2i} - V_2)^2 / (n-1)n$
Vorratsveränderung	$V_v = V_2 - V_1$	$s^2_{V_v} = s^2_{V_1} + s^2_{V_2}$	$s^2_{V_v} = \sum (V_{vi} - V_v)^2 / (n-1)n$
Zuwachs	$Z = \sum Z_i / n$	Keine Information	$s^2_Z = \sum (Z_i - Z)^2 / (n-1)n$
Nutzung	$N = \sum N_i / n$	Keine Information	$s^2_N = \sum (N_i - N)^2 / (n-1)n$

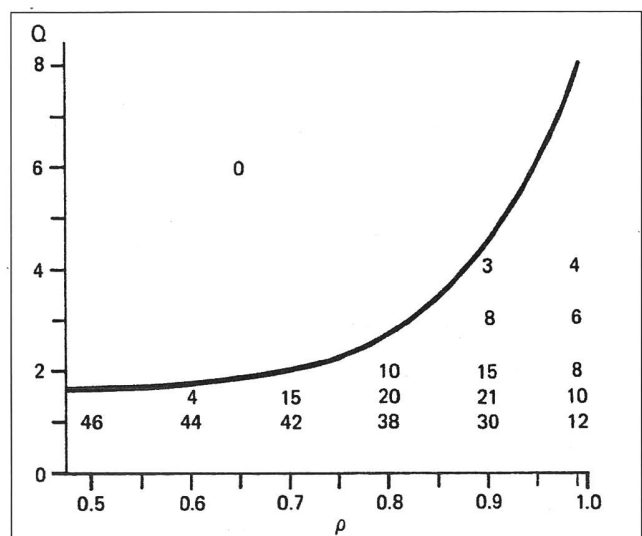


Abbildung 1: Prozentsatz von permanenten Probeflächen für die optimale Schätzung des aktuellen Zustands bei der Folgeinventur in Abhängigkeit von der Korrelation ρ zwischen den neuen und alten Zielgrössen in den permanenten Probeflächen und dem Quotienten Q aus den Kosten für eine permanente und eine temporäre Probefläche (SCHMID-HAAS 1983; Berechnungen gemäss WARE & CUNIA 1962).

Wenn nur der neue Zustand geschätzt werden sollte, wären meistens nicht etwa temporäre Probeflächen sondern eine Kombination von temporären und permanenten Probeflächen optimal. Der optimale Anteil von permanenten Probeflächen ist von der Korrelation ρ zwischen den Zielgrössen in den beiden Inventuren sowie davon abhängig, wie viel mehr eine permanente Probefläche kostet als eine temporäre (Abbildung 1).

Wenn hingegen die Zustandsveränderung geschätzt werden soll, ist fast immer eine Stichprobe ohne temporäre Probeflächen optimal. Nur wenn die Korrelation ρ zwischen den Zielgrössen in den beiden Inventuren sehr klein und der Kostenquotient Q sehr gross ist, sind temporäre Probeflächen vorzuziehen. Vierzigjährige Erfahrung hat seither gezeigt, dass die Werte für keine Inventur und keine Zielgrösse in diesem Bereich lagen. Gemischte Stichproben («sampling by partial replacement», SPR) sind für die Schätzung der Veränderungen auch theoretisch nie optimal (Abbildung 2).

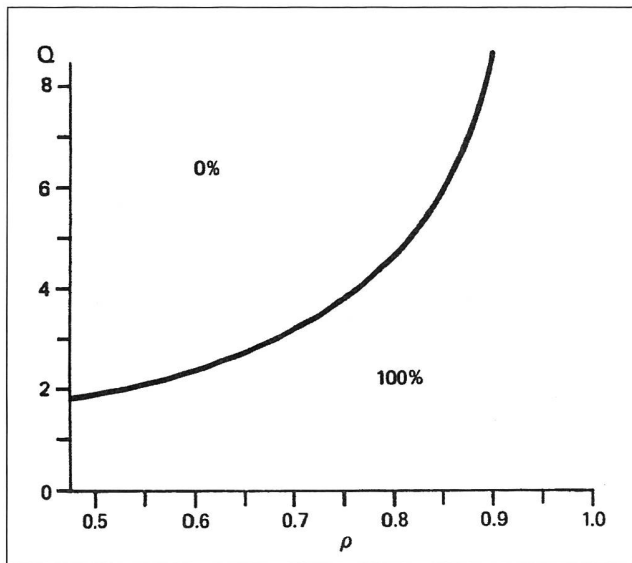


Abbildung 2: Prozentsatz von permanenten Probeflächen für die optimale Schätzung der Zustandsveränderung in Abhängigkeit von der Korrelation ρ zwischen den neuen und den alten Zielgrössen in den permanenten Probeflächen und dem Quotienten Q aus den Kosten für eine permanente und eine temporäre Probefläche (SCHMID-HAAS 1983; Berechnungen gemäss WARE & CUNIA 1962).

Meistens wird sowohl der neue Zustand als auch die Veränderung interessieren. In diesem Fall sollte die Schätzung der Veränderung optimiert werden, weil sie die kritische Grösse ist. Wenn die Veränderung genau genug geschätzt wird, ist die Zustandsschätzung meistens sowieso genau genug.

Genauere Aussagen über Veränderungen sowie Informationen über den Zuwachs und die ausgeführten Nutzungen, wie sie bei der klassischen Kontrollmethode anfielen, sind nur mit Probeflächen erhältlich, die immer wieder aufgesucht werden können. Bei permanenten Probeflächen können die Veränderungen in jeder Probefläche berechnet werden, man erhält so eine Stichprobe für die Veränderungen. Die Gesamtveränderung wird als Mittelwert aus den Veränderungen in den Probeflächen berechnet. Der Standardfehler ist nicht mehr abhängig von der Streuung zwischen den aktuellen Probeflächenwerten sondern von der Streuung zwischen den Veränderungen in den Probeflächen. Die Genauigkeit für Veränderungen wird daher mit permanenten Stichproben unvergleichlich viel besser als mit voneinander unabhängigen.

Konkrete Beispiele sind natürlich erst seit den ersten Folgeinventuren mit permanenten Probeflächen erhältlich. Ein sehr typisches, durchschnittliches Beispiel ist die Inventur im Alpthal 1966 bis 1979, mit insgesamt 620 Probeflächen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Typisches Beispiel für die Standardfehler bei temporären und permanenten Stichproben, Alpthal 1966 bis 1979, 620 Probeflächen.

Alpthal, N=620	Mittelwert	Standardfehler Temporäre Proben	Standardfehler Permanente Proben
Vorrat 1	217 m ³ /ha	8 m ³ /ha 3%	8 m ³ /ha 3%
Vorrat 2	256 m ³ /ha	8 m ³ /ha 3%	8 m ³ /ha 3%
Vorratsveränderung	+39 m ³ /ha	11 m ³ /ha 29%	4 m ³ /ha 10%
Zuwachs	68 m ³ /ha	Keine Information	1 m ³ /ha 2%
Nutzung	29 m ³ /ha	Keine Information	4 m ³ /ha 14%

Der Standardfehler für den Vorrat beträgt bei beiden Inventuren 8 m³/ha oder 3%. Mit temporären Probeflächen wäre er genau gleich gross, die Formeln für die Berechnung wären die gleichen. Der Vorrat ist in diesen 13 Jahren beträchtlich angestiegen. Der Standardfehler für die Vorratsveränderung beträgt 4 m³/ha oder 10% der geschätzten Veränderung. Auch mit permanenten Probeflächen wird die Vorratsveränderung also weniger genau erfasst als der Vorrat. Bei temporären Proben würde der Standardfehler aber 11 m³/ha oder 29% betragen. Um die gleiche Genauigkeit zu erreichen, müssten achtmal mehr temporäre Probeflächen angelegt werden, etwa 5000 statt 620. Über den Zuwachs und die Nutzungen wären damit immer noch keine Aussagen möglich.

Aussagen über den Zuwachs sind mit temporären Stichproben nur erhältlich, wenn zusätzlich Stammbohrungen vorgenommen werden. Da diese einen sehr grossen Aufwand bedingen und Schäden am Holzkörper zur Folge haben können, musste zum vornherein darauf verzichtet werden. Zudem liefern auch derartige Inventuren keine Aussagen über die durchgeführten Nutzungen.

4. Sichtbar gekennzeichnete Probeflächen

Mit permanenten Versuchsflächen hatte die forstliche Forschung, insbesondere die Ertragskunde, seit vielen Jahrzehnten grosse Erfahrung. In diesen Flächen sind alle Bäume nummeriert und die Messstellen gekennzeichnet. Damit ist es ohne weiteres möglich, die Entwicklung jedes einzelnen Baumes und somit auch von kleinen Waldparzellen zu verfolgen.

Sichtbar gekennzeichnete permanente Stichproben können bei der Erstinventur repräsentativ ausgewählt werden, sie bleiben in bewirtschafteten Wäldern aber nicht repräsentativ. Man kann von den Stichprobeflächen später nicht mehr auf die ganze Waldfläche schliessen, denn es besteht keine Gewähr, dass der Bewirtschafter des Waldes diese kleinen Flächen exakt gleich behandelt wie ihre Umgebung. Während diese Einflüsse in den oft fast unbehandelt aufwachsenden plantagenähnlichen Wäldern in den USA und in Skandinavien gering sein mögen, können sie in waldbaulich intensiv behandelten Wäldern nicht ausgeschlossen werden. Kein Waldbauer weiss, ob und wie er sich vom Wissen beeinflussen lässt, dass die Probeflächen periodisch gemessen und darin die Folgen seiner Tätigkeit kontrolliert werden. Inventurergebnisse, von denen man nicht weiss, ob sie den Zustand und die Entwicklung des Waldes unverfälscht wiedergeben und wie gross allenfalls die systematischen Fehler sind, können für die Entscheidungsfindung wertlos oder sogar schädlich sein.

Bei Wählerumfragen kann eine Überprüfung durch die Wahlresultate erfolgen. Dabei hat man immer wieder erlebt, wie gross die Verfälschungen nicht nur durch die Art der Befragungen, sondern auch durch vermeintlich harmlose Ab-

weichungen von einer repräsentativen Auswahl der Befragten sein können.

Im Wald ist eine Überprüfung von systematischen Fehlern aus Kostengründen fast nicht möglich. Um systematische Fehler in der Grössenordnung der zufälligen Fehler nachweisen zu können, müsste eine unmarkierte Vergleichsprobe mindestens ebenso gross sein wie die zu prüfende Stichprobe. Zudem müsste auch die Vergleichsprobe über zwei oder mehr Perioden beobachtet werden, denn nur die Veränderungen seit der Erstinventur können verfälscht sein. Es wäre unwissenschaftlich, Untersuchungen anzustellen, die diese Bedingungen nicht erfüllen, denn nichtsignifikante Unterschiede müssten erwartet werden und zu falschen Folgerungen führen.

Uns allen war damals klar: Mit Stichprobenerhebungen könnte die klassische Kontrollmethode nur ersetzt werden, wenn mit permanenten Probeflächen gearbeitet werden könnte, deren Lage für den Bewirtschafter nicht bekannt ist, die bei den Folgeinventuren aber mit einiger Sicherheit wieder aufgefunden werden können. Unsichtbare permanente Probeflächen waren gefordert. Das Problem wurde aber allgemein als unlösbar beurteilt.

5. Wieder auffindbare Probeflächenzentren

Die Probeflächenzentren müssen von einem auf der Karte eingetragenen und leicht auffindbaren Fixpunkt oder von einem vorher aufgesuchten Probenzentrum aus eingemessen werden. Fixpunkte können irgendwelche Geländepunkte sein. In der Schweiz sind Marksteine häufig und wegen ihrer genau fixierten Lage besonders gut geeignet. Satellitengestützte Positionierungen (GPS) waren damals natürlich noch nicht möglich.

Metall- oder Holzpflocke kamen für die Kennzeichnung der Probezentren nicht in Frage, weil sie nicht nur für die Aufnahmeequipe, sondern auch für den Bewirtschafter sichtbar sind. Die Idee, einen Pflock zu vergraben, lag auf der Hand. Die Armee besass Minensuchgeräte, mit denen vergrabene Metallpflocke hätten aufgesucht werden können. Doch diese waren schwer, störungsanfällig und für die Arbeit im Wald völlig ungeeignet. Uns war rasch klar, dass nur die Entwicklung eines elektronischen Geräts in Frage kam. Die Elektronik war zu dieser Zeit noch nicht weit verbreitet und war für einige wenige eher ein Hobby. Wir hatten zwar das theoretische Wissen, fühlten uns aber nicht in der Lage, selbst ein Gerät zu bauen. Da auf dem Markt keine derartigen Geräte oder gar Bastelanleitungen vorhanden waren, musste jemand gefunden werden, der ein besonderes Interesse und gute Kenntnisse hatte, um ein derartiges Gerät zu bauen. Ein Internet gab es zwar noch lange nicht, aber Hobbyfunker hatten einen grossen Bekanntenkreis und relativ gute Möglichkeiten, jemanden zu finden, der gleichzeitig Elektroniker war. Meines Wissens wurde in unserem Auftrag einer der ersten elektronischen Metalldetektoren gebaut. Vielleicht waren wir weltweit die Ersten, die ein elektronisches Gerät im Wald eingesetzt haben. Es funktioniert übrigens heute noch (Abbildung 3).

In einem Ring von 30 cm Durchmesser wird ein elektrisches Feld erzeugt, das durch einen Summton hörbar gemacht wird. Metallgegenstände, die in einem darunter liegenden Kegel von etwa 20 cm Höhe zu liegen kommen, ändern das elektrostatische Feld und das wird durch eine Veränderung des Summtons hörbar. Untersuchungen im Wald zeigen, dass in den Boden eingeschlagene Aluminiumstücke relativ sicher wieder aufgefunden werden können. Da der Suchring langsam und möglichst nahe über dem Boden verschoben werden muss, ist der Aufwand allerdings gross, sobald nicht nur auf einer sehr kleinen Fläche gesucht wird.



Abbildung 3: Mit einem Metalldetektor wird eine kleine Fläche systematisch abgesucht. Sobald ein elektrisch leitender Gegenstand in einen Kegel unterhalb dem Suchring gerät, ändert sich der Summton.

6. Unsichtbare permanente Probeflächen

Durch das Zentrum ist die Lage einer Probefläche bestimmt. Man kann dann versuchen, die Methode der Vollkluppierung auf die Probefläche zu übertragen, indem man bei jeder Inventur die Bäume in der Probefläche nach Baumart und Durchmesser zählt.

Damit Veränderungen gut erfasst werden, müssen die Probeflächengrenzen gleich bleiben. Bei Bäumen im Bereich der Probeflächengrenzen muss die Distanz zum Probeflächenzentrum genau gemessen werden, damit ausgeschlossen werden kann, dass ein Baum das eine Mal mitgezählt und das andere Mal ausgeschlossen wird.

Grössere Probleme als für die Schätzung der Veränderungen ergeben sich für die Schätzung des Zuwachses und der Nutzung. Die Nutzung könnte durch die fehlenden Bäume ermittelt werden. Diese lassen sich feststellen, wenn keine Einwüchse vorhanden sind oder wenn die fehlenden Bäume viel grösser als mögliche Einwüchse sind. Im Allgemeinen können fehlende Bäume aber nur auf Grund der Stöcke ermittelt werden. Das Auffinden von Stöcken ist bei dichter Bodenvegetation, vor allem bei Dornestrüpp, sehr mühsam. Vor allem aber wissen wir oft nicht, ob ein Stock zu einem Baum gehört, der das letzte Mal noch vorhanden war.

Von finnischen Kollegen kam die Idee, bei jeder Inventur mit einer Axt in alle Stöcke eine Kerbe zu schlagen. Stöcke ohne Kerbe entsprechen bei der nächsten Inventur Bäumen, die seit der letzten Inventur geschlagen worden sind. Diese Bäume ergeben die Nutzungsmenge. Der Zuwachs ist wie bei der klassischen Kontrollmethode die Summe aus dieser Nutzungsmenge und der Vorratsveränderung.

In der Schweiz hat sich diese Methode als unbrauchbar erwiesen. Bei dichter Bodenvegetation werden Stöcke allzu leicht übersehen, was zu einer systematischen Unterschätzung der Nutzung und demzufolge auch des Zuwachses führt. Zudem werden Stöcke in unserem Klima teilweise so rasch abgebaut, dass Stöcke zum Teil nicht mehr auffindbar oder Stöcke ohne Kerben nicht mehr von Stöcken mit Kerben unterschieden werden können. Daher wurde die Idee einer fast eins zu eins auf Stichproben übertragenen Kontrollmethode aufgegeben.

Noch schwieriger schien aber der Versuch, die Methode der ertragskundlichen Versuchsflächen auf permanente Stichproben zu übertragen. Zu diesem Zweck müsste nicht nur das Probenzentrum unsichtbar sein, sondern auch alle Baumnummern. Zwar haben wir das Problem studiert und im Prinzip ist es möglich, die Bäume mit Farben zu nummerieren, die nur mit Infrarotsichtgeräten oder bei Bestrahlung mit Infrarotlicht sichtbar sind. Zu dieser Zeit waren aber keine derartigen Farben vorhanden und das Problem dürfte auch heute noch nicht auf diese Art lösbar sein.

Unsichtbare permanente Probeflächen, mit denen auch Zuwachs und Nutzung ermittelt werden können, schienen nicht praktikabel zu sein. Wir standen vor der Entscheidung, der Praxis keine Stichprobenerhebungen im Wald vorzuschlagen und damit eine jahrelange Arbeit eines jungen Forschungsteams erfolglos abzuschliessen oder eine Methode zu empfehlen, von der wir selbst nicht überzeugt waren.

Als sie nicht mehr erwartet wurde, kam die Idee, die ich seit Wochen Tag und Nacht, im Wachen und buchstäblich auch im Träumen gesucht hatte: Statt die Bäume zu nummerieren, könnte man ihre Lage festhalten. Man könnte Krokis der Probeflächen herstellen oder Distanzen zwischen den Bäumen messen. In der Folge sollte sich als viel einfacher herausstellen, die Distanzen zwischen dem Probeflächenzentrum und den Bäumen sowie mit einem einfachen Kompass die Richtungen zu messen. Distanz und Azimut sind die Polarkoordinaten eines Baumes und bestimmen seine Lage ebenso eindeutig wie Euklid'sche Koordinaten. Wie so oft war die richtige Idee einfach und eigentlich auf der Hand liegend.

Der Zuwachs kann für jeden einzelnen Baum aus der Differenz der Messwerte bei den beiden Inventuren ermittelt werden. Der Messfehler ist zwar grösser als bei Messungen mit markierten Messstellen, der Einfluss auf den Standardfehler bleibt aber klein, weil insgesamt sehr viele Bäume gemessen werden. Aus den Zuwächsen der einzelnen Bäume wird dann der Probeflächenzuwachs berechnet. Die Genauigkeit für den Zuwachs ergibt sich aus der Streuung zwischen den Zuwächsen der Probeflächen. Da der Zuwachs pro Hektar im Allgemeinen weniger streut als der Vorrat, ist der relative Standardfehler für den Volumenzuwachs sogar kleiner als für den aktuellen Vorrat. Diejenigen Bäume, die bei der zweiten Inventur nicht mehr vorhanden sind, ergeben die Nutzung. Die Genauigkeit für die Nutzung ergibt sich aus der Streuung zwischen den Nutzungen in den Probeflächen und ist im Allgemeinen weniger gut als für den Vorrat oder Zuwachs.

Insgesamt sind die Vorteile von Kontrollstichproben derart gross, dass die Anwendung von temporären Probeflächen kaum je rational begründet werden kann.

7. Die Kontrollstichproben in der Praxis

Im April 1962 wurde in Neuendorf (SO) die erste Inventur mit Kontrollstichproben durchgeführt. Zur Vorbereitung wurde eine Bestandskarte und das systematische Netz der Stichprobenzentren gezeichnet. Im Gelände wurden auf der Karte eingetragene Fixpunkte, vor allem Marksteine, aufgesucht und von diesen aus erste Stichprobenzentren eingemessen. Die weiteren Stichprobenzentren wurden soweit möglich von benachbarten Zentren aus eingemessen. Im Zentrum wurde ein Aluminiumröhrchen bodeneben eingeschlagen. In einer Kreisfläche von 300 m² wurden von allen Bäumen Baumart und Brusthöhendurchmesser ab 8 cm registriert. Zudem wurden die Distanzen vom Zentrum zu allen Bäumen gemessen und an einem im Zentrum der Probe aufgehängten Kompass die Richtungen abgelesen. An einem kleinen Teil der Bäume wurden die Schaftlängen und die Durchmesser in 7 m Höhe gemessen.

Weitere Merkmale waren fakultativ (SCHMID-HAAS 1964 und 1968, SCHMID-HAAS *et al.* 1993).

Grosse Probleme sind dabei nicht aufgetaucht, vor allem, weil wir alle bereits reichlich Erfahrung mit temporären Stichproben und mit ertragskundlichen Versuchsflächen gesammelt hatten und die Beobachtungsgrössen weitgehend die gleichen blieben. Der Aufwand war bei der Erstaufnahme zwar bedeutend grösser als bei temporären Probeflächen, aber viel kleiner, als wenn die Bäume permanent nummeriert werden müssten (SCHMID 1963, Methode II).

Die Berechnungen für die klassische Kontrollmethode waren einfach und konnten manuell durchgeführt werden. Für Stichprobenerhebungen waren Computerprogramme notwendig. Bei der damaligen Geschwindigkeit der Computer und der grossen zu verarbeitenden Baumzahl kam es darauf an, möglichst optimal zu programmieren. Der Aufwand für das Programmieren war zu dieser Zeit sowieso sehr gross.

Zur Vorbereitung der Folgeinventur wurde ein Aufnahmeformular für die Folgeaufnahme erstellt, auf dem für jeden Baum Azimut, Distanz, Baumart und Durchmesser in Brusthöhe so aufgelistet waren, dass die neuen Resultate direkt daneben geschrieben werden konnten. Bei der ersten Folgeinventur, die wir schon im Herbst 1965 durchführten, konnten alle Probeflächenzentren wieder gefunden werden.

Sobald das im Boden vergrabene Aluminiumrohr gefunden war, kannte man das genaue Zentrum der Probe und alle Bäume mussten da stehen, wo sie gemäss den auf dem Probeflächenformular angegebenen Azimut und Distanz stehen sollten. Eine grobe Kontrolle dieser Werte genügte. Die neuen Durchmesser- und anderen Messwerte konnten direkt mit den alten verglichen und notfalls an Ort und Stelle korrigiert werden. Nur bei Einwüchsen mussten die Polarkoordinaten gemessen werden.

Später konnten die Aufnahmeformulare durch Registriergeräte ersetzt und mit einem Plotter Probeflächenpläne gezeichnet werden (*Abbildung 4*). Mit diesen übersichtlichen Probeflächenplänen ist es jedermann leicht möglich, die Probeflächenzentren zu finden. Bei Einmessungen von einem Fixpunkt oder von einem anderen Zentrum aus ist mit einem Fehler von höchstens fünf Metern zu rechnen. Man befindet sich also immer irgendwo im Innern der Probefläche und muss nur noch den genauen Ort des Zentrums finden. Der Vergleich der Situation der umstehenden Bäume oder Stöcke mit dem Probeflächenplan lässt rasch erkennen, bei welchen Bäumen wir stehen. Da alle Richtungen und Distanzen bekannt sind, lässt sich die genaue Lage des Zentrums von jedem beliebigen Baum aus rückwärts einmessen. Meist ist es viel rascher, einen oder zwei Bäume wieder zu erkennen und durch Rückwärts-einmessung das Zentrum zu finden, als mit dem Metalldetektor zu suchen. In Beständen mit grossen Bäumen oder mit mehreren Baumarten ist es nicht einmal nötig, das Probeflächenzentrum mit einem Aluminiumrohr zu markieren. Die Verteilung der Bäume in einer Probefläche ist im naturgemässen Wald, wie er in der Schweiz üblich ist, so kennzeichnend wie ein Fingerabdruck oder ein DNS-Profil.

Der Zeitaufwand ist bei Folgeinventuren sehr viel kleiner als bei Erstinventuren und nicht wesentlich grösser als bei temporären Probenahmen. Die Anlage von Kontrollstichproben kann daher als einmalige Investition angesehen werden.

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Erstaufnahmen in Neuendorf und deren Auswertung wurden die Kantonsoberrichter und die Spezialisten für die betriebliche Planung zu einem Informationskurs eingeladen. Der Erfolg war unvorhergesehen, viele Praktiker waren sofort überzeugt, dass die klassische Kontrollmethode ersetzt werden sollte, und mehrere Kantone haben schon in den darauf folgenden Jahren Kontrollstichproben eingeführt.

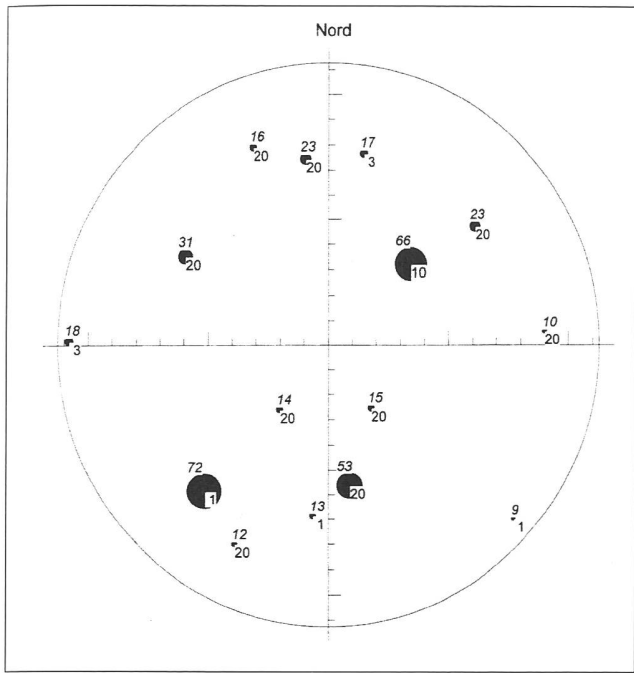


Abbildung 4: Probeflächenplan.
Der Vergleich der Lage, Baumart und Durchmesser der umstehenden Bäume und Stöcke mit dem Probeflächenplan lässt rasch erkennen, wo innerhalb der Probefläche wir stehen (Nordrichtung beachten!). Durch Rückwärtseinmessung lässt sich die Lage des Probeflächenzentrums von jedem beliebigen Baum aus bestimmen.

Wesentlich war dabei, dass wir den Kantonen grosszügig und unentgeltlich behilflich sein durften. Unsere Metallwerkstatt hat einige notwendige Messinstrumente entwickelt. Wir haben mehrere Instruktionkurse organisiert, in einigen Fällen haben wir die ersten Aufnahmen sogar selbst durchgeführt. Die Auswertprogramme, für die sich später vor allem Erwin Vogel verdient gemacht hat, wurden alle in einer allgemein benutzbaren Computersprache erstellt, so dass die Forstdienste in der Lage waren, selbständig die gesamte Aufnahme und Auswertung durchzuführen. Die Einführungskosten blieben bescheiden und bei Schwierigkeiten konnten sie jederzeit auf unsere Hilfe zählen. Die Ansprechpartner an der WSL waren sowohl für die Aufnahmen als auch für die Auswertungen jahrzehntelang die gleichen. Die enge Zusammenarbeit hat der Praxis die Einführung der Kontrollstichproben natürlich wesentlich erleichtert; uns hat sie andererseits erlaubt, sehr vielseitig Erfahrung zu sammeln und die Methode für praktische Zwecke weiter zu verbessern.

Später haben es einige Anwender leider besser gewusst. Probeflächen oder Einzelbäume wurden bei lokalen und regionalen Inventuren weithin sichtbar gekennzeichnet. Sogar die Versuchsanstalt hat sich bei der Planung der Landesforstinventur für dieses Verfahren entschieden. Die Idee, Polarkoordinaten zur Wiedererkennung der Bäume zu benutzen, wurde zwar übernommen, ebenso die Methode der Volumenbestimmung mit Hilfe von Messungen von Baumhöhen und oberen Durchmessern (SCHMID-HAAS *et al.* 1971), die Probeflächen wurden aber durch grosse Farbkleckse gekennzeichnet. Dabei wäre es bei allen Waldinventuren wichtig zu wissen, dass die Resultate nicht verfälscht sein können, dass die Probeflächen unsichtbar sind und daher nicht anders behandelt sein können als die übrige Waldfläche. Förster seien von Farbklecksen nicht beeinflussbar, wird behauptet. Ich weiss nicht, welcher grosse Psychologe das herausgefunden hat. Im Übrigen sei die Zeitersparnis riesig. Das hat nach unseren Erfahrungen nie gestimmt und wird immer weniger plausibel, je besser GPS und elektronische Messgeräte wer-

den. Einzelne Ausnahmen im geschlossenen Niederwald bestätigen die Regel.

Die Kontrollstichprobe hat sich auch im Ausland relativ rasch durchgesetzt. Grosse Privatwaldbesitzer in Österreich und Deutschland haben als erste ihre forstliche Planung auf Kontrollstichproben abgestützt, viele staatliche Forstdienste sind ihnen gefolgt. Heute werden Kontrollstichproben weltweit, in Ostasien so selbstverständlich wie in Europa, für betriebliche, regionale und landesweite Inventuren angewendet (Abbildung 5).

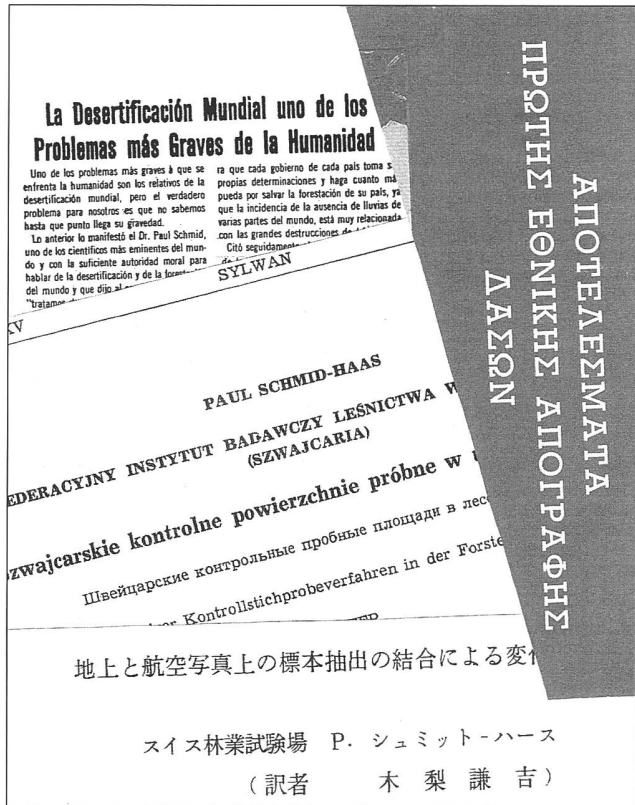


Abbildung 5: Aufsätze über Kontrollstichproben wurden unter anderem in Polen, Griechenland und Japan übersetzt und publiziert; über unsere Spezialistentagungen im Rahmen der Internationalen Union Forstlicher Forschungsorganisationen (IUFRO) erschienen Leitartikel in der Tagespresse, beispielsweise in Mexiko oder in Niger, mitten in der Sahelzone.

8. Warum gerade in der Schweiz?

Mit Hilfe der Fernerkundung erstellte Bestockungskarten und Kontrollstichproben haben sich auf der ganzen Welt bewährt. Es gibt mehrere Gründe, warum diese Methoden, die eine effiziente Überwachung der Waldentwicklung ermöglichen, gerade in der Schweiz vorangetrieben worden sind (Tabelle 5).

In der schweizerischen Waldwirtschaft war die Idee der Nachhaltigkeit seit der Einführung der klassischen Kontrollmethode stärker verankert als irgendwo anders und als in irgendeinem anderen Anwendungsgebiet. Nachhaltigkeit verlangt aber eine periodische Kontrolle der Veränderungen im Wald.

Die klassische Kontrollmethode hat diese Voraussetzung in Pflanzwaldgebieten zwar erfüllt, sie war jedoch sehr teuer und bei korrekter Durchführung organisatorisch zu anspruchsvoll. Die Bestockungskarten waren bei der Einführung der klassischen Kontrollmethode abgeschafft worden, die terrestrische Erstellung von Bestockungskarten war im Femelschlaggebiet sowieso sehr teuer.

Die neuen technischen Möglichkeiten waren enorm. Seit kurzer Zeit wusste man, wie elektronische Geräte gebaut wer-

Tabelle 5: Bedingungen, dank denen die Kontrollstichproben und ihre Kombination mit Bestandeskarten gerade in der Schweiz erfunden werden konnten.

Voraussetzungen	Idee der Nachhaltigkeit gut verankert Permanente Inventur selbstverständlich Ausgezeichnete Luftbilder Erste Computer
Projektleitung	Praktisches Problem erkannt Projekt systematisch gefördert
Kenntnisse	Statistik Messtechnik Elektronik Datenverarbeitung
Ideen	Kreativität
Ausarbeitung	Sorge um Details Einfachste Varianten bevorzugt Messinstrumente entwickelt
Propaganda	Praktiker überzeugt Instruktion und Beratung Finanzielle Förderung Lehre Internationale Beziehungen

den. Damit war es erstmals möglich, im Wald brauchbare Metalldetektoren zu bauen, elektronische Distanz- und Winkelmessgeräte, elektronische Höhenmessgeräte und satellitengestützte Ortsbestimmung kamen allerdings erst später. Noch wichtiger war, dass die ersten Computer auf den Markt kamen, denn die manuelle Auswertung von Stichprobenerhebungen wäre sehr mühsam gewesen. Ferner gab es für die ganze Schweiz bereits Luftbilder, deren Qualität weltweit vorbildlich war.

Forscher erkennen häufig nicht, wo die wichtigsten Probleme der Praxis liegen; Forscher und erst recht Praktiker können meist nicht voraussehen, ob für ein Problem gute Lösungen möglich sind. Daher war es wichtig, dass Alfred Kurt, der wenige Jahre zuvor als junger Kreisförster zum Professor für Forsteinrichtung und kurz darauf zum Direktor der forstlichen Versuchsanstalt gewählt worden war, die Bedürfnisse der Praxis kannte und überzeugt war, dass neue methodische Ansätze, die in mehreren Ländern vorhanden waren, auch in der Schweiz anwendbar sein könnten (KURT 1954). Er sammelte ein kleines Team guter Fachleute um sich und förderte ihre Weiterbildung. Er formulierte das Problem und motivierte seine Leute und liess sie selbständig arbeiten. Seine Doppelfunktion an der Hochschule und der Versuchsanstalt hat ihm zwar wenig Zeit gelassen, selbst zu forschen, was sich aber schon oft eher als Vorteil erwiesen hat.

Weil man zu dieser Zeit nur in Grossbritannien und in den USA Statistik studieren konnte, hatte ich Urlaub genommen, um mein Mathematikstudium in den USA durch ein Studium in Statistik zu ergänzen. Ohne fundierte Statistikkenntnisse konnte man schon damals keine Inventurmethode beurteilen oder neue Methoden entwickeln. Ebenso wichtig waren Vorkenntnisse in elektronischer Datenverarbeitung. Erste Programme in Maschinencode auf Lochstreifen hatte ich schon auf der ersten programmgesteuerten Rechenmaschine der Schweiz (ERMETH) erstellt, die vom Institut für angewandte Mathematik der ETH mit Elektronenröhren und Relais gebaut worden war. Auf den ersten kommerziellen Computern, die in der Schweiz auf den Markt kamen, hatte ich dann «richtig» programmieren gelernt. Trotzdem war die Aufgabe enorm. Die Arbeit wäre nicht möglich gewesen, wenn uns nicht an vielen Wochenenden der Computer (ein IBM 650, der welt-

weit erste kommerzielle Computertyp) und die Hilfe des Chefprogrammierers der PTT für die Suche nach Programmfehlern zur Verfügung gestanden hätten. Derartige Hilfen sind wohl nur in Pionierzeiten unentgeltlich und ohne schriftliche Vereinbarung möglich. Unentbehrlich war ferner die breite Erfahrung unserer ganzen Gruppe in Waldmessenger.

Nicht genau voraussehbar war, welche Probleme wirklich zu lösen sein werden und ob überhaupt gute Lösungen gefunden werden können. Kreative Ideen sind sowieso nie vorhersehbar. Eine zu rigide Planung ist daher Gift für die Forschung.

Ebenso wichtig wie die Erfindung der Methode war ihre Ausarbeitung bis in die letzten praktischen Einzelheiten. Vor allem sollte die Methode leicht anwendbar sein. Wenn für Arbeiten im Wald zwischen zwei Varianten zu wählen war, haben wir oft die einfachere statt der theoretisch optimalen gewählt. Nur die Auswertung durfte komplizierter sein, denn die Programme wurden ja von uns erstellt. Wir konnten viele mögliche Varianten vergleichen, die nötigen Messinstrumente entwickeln, die Arbeitstechnik der Aufnahmen studieren sowie gut brauchbare Auswerteprogramme erstellen, bevor wir vor die Öffentlichkeit treten mussten.

Mit seinem Ansehen bei der schweizerischen Forstpraxis, seinem Enthusiasmus und seinem didaktischen Geschick ist es Alfred Kurt dann gelungen, viele Praktiker zu überzeugen. Die allgemeine Beratung der Versuchsanstalt, die Instruktion des Personals, die Mithilfe unserer Mitarbeiter an den ersten Tagen der Aufnahme, die Abgabe der Auswerteprogramme und Unterstützung bei ihrer selbständigen Benützung und vieles andere waren unentgeltlich, an der Metallwerkstatt der Versuchsanstalt gebaute Instrumente wurden zum Selbstkostenpreis abgegeben. Eine sinnvollere Art von Subventionen als die Förderung der direkten Hilfe der Forscher an die Forstdienste gibt es wohl kaum.

Viele Zufälle, viele glückliche Umstände, aber auch ein Vorgesetzter, der wusste, worauf es ankam, mehrere gute Mitarbeiter, eine Verwaltung, die uns unterstützt und nie gehemmt hat, sowie einige aufgeschlossene und initiative Praktiker haben die Entwicklung einer Methode erlaubt, die weltweit Anerkennung gefunden hat.

9. Zur Zukunft der Waldinventur in der Schweiz

Die Bedeutung der Nachhaltigkeit muss man heute nicht mehr besonders betonen. Die Forstwirtschaft war der erste Wirtschaftszweig, der sich systematisch um Nachhaltigkeit bemüht hat. Die Kontrolle der flächenhaften Nachhaltigkeit wurde von Förstern in Deutschland entwickelt und in grossen Teilen Europas übernommen. Schweizerische und französische Förster waren die ersten, die sich um die Nachhaltigkeit der Vorrathaltung bemüht und aus diesem Grund die klassische Kontrollmethode eingeführt haben. Die Kontrollstichproben sind ihre logische Weiterführung.

Heute werden Waldinventuren mit Kontrollstichproben weltweit mit grossem Erfolg durchgeführt. In der Schweiz ist die zweite Landesinventur erfolgreich abgeschlossen (BRASSEL & LISCHKE 2001), die dritte wird geplant. Sanasilva-Inventuren werden seit 1984 jährlich durchgeführt, teilweise allerdings mit sehr wenig Probeflächen. In vielen Kantonen sind die betrieblichen oder regionalen Inventuren mit Bestockungs-/Standortskarten und Kontrollstichproben nicht mehr wegzudenken.

Die Entwicklung ist aber insbesondere auf betrieblicher und regionaler Ebene ins Stocken geraten. Teilweise ist das durch wirtschaftliche Schwierigkeiten bedingt, teilweise

durch fehlendes Verständnis für die Notwendigkeit von Planung und Kontrolle und durch mangelnde Koordination zwischen den Beteiligten. Die bevorstehende Auflösung der Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum an der ETH Zürich wird das Problem akut verschärfen.

Nach wie vor sind sowohl die nationalen als auch die regionalen und betrieblichen Inventuren unverzichtbar für die Kontrolle der Nachhaltigkeit, für forstpolitische Entscheide und für die Planung der Waldbehandlung. Betriebliche Inventuren werden mit der Zeit besser koordiniert oder durch regionale Inventuren ersetzt werden. Die lokalen Inventuren sollten aber auch weiterhin die Planung der Waldbehandlung unterstützen und nicht nur forstpolitische Unterlagen liefern (BACHMANN 1999).

Die Merkmalkataloge werden sich nicht grundsätzlich ändern. Zwischen ökologischen und ökonomischen Belangen besteht in dieser Beziehung kein grosser Unterschied, immer sind die Zusammensetzung des Waldes nach Baumarten und Dimensionen oder Alter sowie ihre Veränderungen gefragt. Der Zuwachs ist sowohl ein Mass für die Produktion als auch ein Zeiger für die Vitalität. Die Kronenverlichtung ist ein weiterer wichtiger Zeiger für die Vitalität und Stabilität des Waldes, Wurzelbohrungen liefern weitere Indizien (SCHMID-HAAS *et al.* 1997, SCHMID-HAAS 2002). Vitalität und Stabilität sind wirtschaftlich bedeutsame und für die Überwachung der Umwelt die vielleicht wichtigsten Grössen überhaupt. Nicht objektivierbare Merkmale zu erfassen ist sinnlos; die meisten Waldwirkungen kann man sowieso nicht direkt beobachten.

Standorts- und Bestockungstypenkarten werden noch wichtiger werden, weil mit geographischen Informationssystemen (GIS) viele Informationen einander lokal zugeordnet werden können. Die modernen Kartierungsverfahren vereinfachen die Kartennachführung so sehr, dass es keinen Grund mehr gibt, Bestockungstypenkarten jedes Mal neu zu erstellen statt fortzuschreiben. Wenn jedes Mal nur diejenigen Bestandesgrenzen geändert werden, wo eingegriffen worden ist, vereinfacht sich die terrestrische Verifikation und zudem wird die Übersicht über die Entwicklung des Waldes besser.

Die permanenten terrestrischen Stichproben haben sich bewährt. Ihre Kombination mit Standorts-/Bestockungskarten in regionalen und betrieblichen Inventuren oder Luftbildstichproben in der Landesforstinventur sollte beibehalten werden. Inventuren mit temporären Probeflächen und regionale Stichprobeninventuren ohne Bestandeskarten sind ineffizient und sollten abgelöst werden. Weitere methodische Verbesserungen sind am ehesten von Studien zu erwarten, die wiederum terrestrische Probenahmen mit Fernerkundung kombinieren. Dabei muss immer die Optimierung mehrerer kritischer Grössen, im Allgemeinen also der Veränderungen (z.B. Vorratsveränderung statt Vorrat), angestrebt werden. Etwas mehr Erfolg könnten Verfahren bringen, die sich generell auf einen Teil der Bäume beschränken, z.B. auf Z-Bäume nach Abetz (ABETZ & OHNEMUS 1996). Ohne Verzicht auf einen Teil der Information sind die Kosten der Aufnahmen nicht entscheidend zu senken.

Sichtbare permanente Probeflächen werden von Inventur zu Inventur stärker von der übrigen Waldfläche abweichen. Niemand weiss wie viel. Eine Überprüfung dieser Abweichungen ist mit vernünftigem Aufwand nicht möglich. Auf lange Sicht ist das unzumutbar. Bei Flächen der Landesforstinventur kommt erschwerend dazu, dass Boden und Bodenvegetation durch zu intensive Aufnahmearbeiten verändert sein können. Leider gibt es keinen anderen Weg: alle sichtbaren permanenten Probeflächen müssen schrittweise durch unsichtbare ersetzt werden.

Die Auswerteprogramme für regionale und betriebliche Inventare sind ungenügend. Unsere Programme für die Be-

triebsinventur sind allgemein benutzt worden und haben sehr gute Dienste geleistet. Sie sind aber dreissig bis vierzig Jahre alt und daher veraltet. Die Programme des Landesforstinventars sind nicht für Waldinventuren zur Planung der Waldbehandlung konzipiert. Zudem können sie von den Forstdiensten nicht selbständig benützt werden. Verschiedene Kantone überlegen sich bereits eigene Wege. Zur Vermeidung von Doppelspurigkeiten, Ineffizienz oder gar falschen Auswertungen muss das Problem rasch gelöst werden. Halbwissen ist auch in der Statistik gefährlich.

Vernünftige Entscheide kann nur treffen, wer ihre Folgen voraussieht. Für die Erhaltung der Nachhaltigkeit und die Planung der Waldbehandlung sind daher Prognoseprogramme nötig. Ohne manuelle Zwischenschritte sollten mit den Inventardaten Szenarien gerechnet werden können. Das wird auch für das in Entwicklung begriffene Programm für die Nutzungsprognose nötig sein. Das statistische Waldentwicklungsmodell von Edgar Kaufmann erlaubt eine Prognose auf Landesebene. Die bestehenden Programme für die mittelfristige und die langfristige Entwicklungsprognose für die regionale und betriebliche Planung (SCHMID-HAAS *et al.* 1984 und 1994, 2. Auflage) sind fast 20 Jahre alt und sollten überarbeitet werden. Insbesondere müssen die darin verwendeten Waldentwicklungsfunktionen aus den schweizerischen Ertragstabellen ersetzt werden, da sie mit der Entwicklung unserer Wälder nicht übereinstimmen. Von physiologischen Wachstumsmodellen, wie sie im Ausland seit Jahren entwickelt werden, kann man mehr erwarten. Sie sollten in Zusammenarbeit mit den Nachbarländern weiterentwickelt und auf ihre Tauglichkeit für unsere Standorte und unseren Waldbau überprüft werden. Die Entwicklung von physiologischen Waldwachstumsmodellen ist eine der wichtigsten Aufgaben der angewandten forstlichen Forschung.

Arbeiten über die Zusammenhänge zwischen Zuwachs, Kronenverlichtung und Wurzelschäden haben gezeigt, dass die Kontrollstichproben der betrieblichen, regionalen und nationalen Inventuren eine wichtige Grundlage für die Waldforschung sein können (SCHMID-HAAS *et al.* 1997). Vertiefte Erkenntnisse über die Bedeutung von statistischen und ursächlichen Beziehungen im Wald werden andererseits eine bessere Interpretation der Inventurergebnisse ermöglichen.

Die Beratung und Hilfe für die Forstpraxis bei der Planung und Durchführung von Waldinventuren, bei ihrer Auswertung, bei der Interpretation der Resultate sowie bei der Planung der Waldbehandlung sind unerlässlich. Sie müssen wieder langfristig organisiert werden. Ein erster kleiner Schritt ist an der Forschungsanstalt gemacht worden.

Wer sich nicht um die Zukunft des Waldes und der mit ihm verbundenen Menschen kümmert, muss weder planen noch die Entwicklung überwachen. Alle anderen sind aufgerufen, für eine gute und effiziente Waldinventur zusammenzuarbeiten und damit der Nachhaltigkeit und Gesundheit des Waldes zu dienen.

Zusammenfassung

Für Planung und Kontrolle sind Informationen über den aktuellen Zustand des Waldes, seine Veränderungen, den Zuwachs und die ausgeführten Nutzungen nötig. Für Informationen über den aktuellen Zustand sind im Allgemeinen gemischte Stichproben mit temporären und permanenten Probeflächen optimal, für Zustandveränderungen sind Stichproben mit ausschliesslich permanenten Probeflächen vorzuziehen, Zuwachs und Nutzungen sind praktisch nur mit permanenten Probeflächen zu erhalten. Permanente Probeflächen müssen wieder auffindbar sein. Bei sichtbar gekennzeichneten Probeflächen

besteht aber keine Gewähr, dass sie genau gleich behandelt werden wie die Flächen zwischen den Proben. Sichtbare Stichproben werden nicht mit Sicherheit repräsentativ bleiben und verlieren daher ihren Zweck. Vor vierzig Jahren ist die Waldinventur mit unsichtbaren permanenten Probenflächen erfunden worden. Seither werden sichtbare Probezentren durch im Boden vergrabene Metallstücke ersetzt, die mit einem Metall-detektor aufgefunden werden können. Die sichtbare Kennzeichnung Bäume in der Probenfläche wird durch die Messung der Polarkoordinaten, Distanz und Richtung von Probezentrum zum Baum, ersetzt. Diese Methode wird heute weltweit angewendet.

Die Geschichte ihrer Erfindung zeigt, wie vieles zusammenpassen muss, damit neue Ideen nicht nur entstehen sondern auch genutzt werden. Die angewandte Forschung ist besonders anspruchsvoll, weil sie sehr verschiedene Begabungen voraussetzt und daher meist nur ein gut zusammengesetztes Team erfolgreich sein kann. Wichtige anstehende Probleme und deren potenzielle Lösbarkeit müssen erkannt werden, sie müssen kreativ und auf wissenschaftlich einwandfreie Art gelöst werden, die Methoden müssen bis ins Letzte praxisreif ausgestaltet und dann geschickt propagiert werden.

Anschliessend wird besprochen, wie die Zukunft der Waldinventur gestaltet werden sollte. Selbstverständlich sollten die neuen technischen Möglichkeiten bei den Aufnahmen und bei der Auswertung ausgeschöpft werden. Vor allem sind viele wichtige Probleme der Interpretation und Anwendung der Inventurresultate noch immer nicht gut gelöst. Die grosse Bedeutung der Überwachung der Gesundheit und nachhaltigen Entwicklung des Waldes und deren Steuerung wird nicht überall eingesehen, teilweise lässt auch die Koordination der zur Weiterentwicklung notwendigen Arbeiten zu wünschen übrig.

Summary

The Swiss Continuous Forest Inventory: its genesis and its future

For planning and control we need information on the actual condition of the forest, its changes, increment and drain. Information on the actual condition is most often gained in an optimal way by mixed samples of temporary and permanent plots. For information on changes in the condition permanent sample plots are more efficient, for information on increment and drain permanent sample plots are necessary anyway. Permanent plots must be relocatable. For visible permanent plots, however, nobody knows if they are treated in exactly the same way as the rest of the forest. In the long run it becomes more and more uncertain whether the permanent samples remain representative of the whole forest and whether the results still make sense. For this reason the forest inventory method using unmarked, permanent sample plots was invented forty years ago. The visible plot centre has been replaced by a piece of metal buried in the ground, which can be found by a metal detector. The trees in the plot can be recognized individually because their coordinates, distance and direction from the centre were registered on the occasion of the first inventory. Nowadays, this method is applied successfully world-wide.

The story of this invention shows how much has to fit so that new ideas can be born and be effective. Applied research is especially demanding because it implies very different skills and therefore only a well assembled team can be successful: Important unsolved (but possibly solvable) problems must be recognized, they must be solved in a creative and scientific way, the methods must be operational down to the last detail and, finally, they must be propagated effectively.

In a last chapter some open problems are discussed. Electronic measuring devices, geographic positioning by satellites, new

computer program systems, geographic information systems, connections by internet and other new technical possibilities will be made use of and the combination of sampling and mapping might bring further advantages. The interpretation of the data and their application in practical monitoring as well as in research leave much to be desired. The importance of monitoring health and sustained development of the forest and its steering is still not recognized everywhere. Sometimes the coordination of the unsolved tasks is missing.

Résumé

L'idée de l'échantillonnage sur placettes permanentes: invention et avenir de la méthode

Les informations sur l'état de la forêt, sur son évolution, son accroissement et les exploitations sont indispensables à la planification et au contrôle. En général, un système mixte de placettes permanentes et temporaires est optimal en vue d'obtenir des informations sur l'état à un moment donné. Pour saisir une évolution, il est préférable de choisir un échantillonnage basé uniquement sur des placettes permanentes. C'est le cas de l'accroissement et des exploitations, que l'on ne peut pratiquement connaître qu'avec des placettes permanentes. De telles placettes doivent être identifiées, afin d'être retrouvées. Lorsque cette identification est visible, on n'est pas assuré que l'endroit de la placette soit traité exactement de la même façon que le reste du peuplement. Les placettes permanentes visibles ne seront donc pas représentatives à coup sûr et n'ont donc plus de sens. L'inventaire forestier basé sur des placettes permanentes invisibles a été inventé il y a quarante ans. C'est depuis que l'on enterre un tuyau métallique au centre des placettes, tuyau que l'on peut retrouver grâce à un détecteur. Le marquage visible des arbres de la placette est remplacé par la mesure des coordonnées polaires, donc de la distance et de la direction à partir du centre de la placette. Cette méthode est aujourd'hui adoptée dans le monde entier.

L'histoire de cette invention révèle l'importance du fait qu'un grand nombre d'éléments doivent coïncider pour qu'une idée non seulement voie le jour, mais soit aussi valorisée concrètement. La recherche appliquée est particulièrement exigeante, car elle demande pour aboutir un large éventail de compétences qui ne se trouvent en général réunies que dans une équipe judicieusement composée. Il faut savoir reconnaître les problèmes importants et leur aptitude à être résolus, y travailler de façon créative et scientifiquement irréprochable, proposer des méthodes affinées au maximum pour qu'elles soient prêtes à l'emploi, méthodes qu'il faut enfin propager habilement.

Pour terminer, nous abordons l'avenir de l'inventaire forestier. Il faut bien sûr introduire au mieux les nouvelles possibilités techniques à disposition des travaux de relevés et d'interprétation. Il reste notamment de nombreux et importants problèmes d'interprétation et de mise en valeur des résultats d'inventaire dont la solution se fait toujours attendre. La grande importance de la surveillance de la santé des forêts et de leur gestion durable n'est pas perçue partout. Par ailleurs, la coordination des travaux indispensables au développement laisse parfois à désirer.

Traduction: PHILIPPE DOMONT

Literatur

- ABETZ, P., OHNEMUS, K. (1996): Zur Genauigkeit von Stichproben bei der Z-Baum-Kontrollmethode in Durchforstungsbeständen. *Allg. Forst- Jagdztg.* 167 (8): 149–159.
- BACHMANN, P. (1999): Umsetzung der Waldentwicklungsplanung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150 (8): 297–300.
- BIOLLEY, H. (1920): L'aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle. Attinger Frères, Paris/Neuchâtel.
- BRASSEL, P., LISCHKE, H. (2001): *Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment.* WSL, Birmensdorf, Switzerland, 336 pp.
- KURT, A. (1954): Forschungs- und Lehrziele auf dem Gebiete der Forsteinrichtung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 105 (1): 12–22.
- KURT, A. et al. (1962): Die Anwendung des Luftbildes im schweizerischen Forstwesen. Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, Mitteilungen 38: 1–244.
- SCHMID, P. (1963): Vergleich von Vollkluppierung und Stichprobenaufnahme. *Schweiz. Z. Forstwes.* 114 (7): 412–425.
- SCHMID-HAAS, P. (1964): Stichprobenerhebungen (Begründungen zu den Aufnahmeinstruktionen). Kurs für Forsteinrichtung 1964, Professur für Forsteinrichtung ETH und Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen Birmensdorf, 8 S.
- SCHMID-HAAS, P. (1968): Die Weiterentwicklung der Leistungskontrolle in der Schweiz. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Dresden*, 16: 545–549, und Bericht Nr. 6, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, 5 S.
- SCHMID-HAAS, P. (1983): *Swiss Continuous Forest Inventory, Twenty Years' Experience.* In: *Renewable Resources Inventories for Monitoring Changes and Trends.* Corvallis, OSU, College of Forestry: 133–140.
- SCHMID-HAAS, P. (2002): Zur Waldinventur gehört die Überwachung der Vitalität. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153 (2): 68–75.
- SCHMID-HAAS, P., BAUMANN, E., HOLDENRIEDER, O., KELLER, W., RAMP, B., STEPIEN, E. (1997): Infektionen der Stützwurzeln, Kronenverlichtung und Zuwachs bei Fichten und Tannen. Mitteilungen der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 244 S.
- SCHMID-HAAS, P., BAUMANN, E., WERNER, J. (1993): *Kontrollstichproben: Aufnahmeinstruktion*, 3. überarbeitete Auflage. Bericht Nr. 186 der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 143 S.; französische und englische Ausgaben.
- SCHMID-HAAS, P., KELLER, W., GADOLA, C. (1984): *Integrale Planung im Forstbetrieb*, Bericht Nr. 266 der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 116 S.; 2. Auflage 1994.
- SCHMID-HAAS, P., ROIKO-JOKELA, P., MINGARD, P., ZOBEIRY, M. (1971): The Optimal Determination of the Volume of Standing Trees. *Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien*, 91: 33–54.
- WARE, K.D., CUNIA, T. (1962): Continuous Forest Inventory with Partial Replacement of Samples. *For. Sci. Monogr.* 3: 1–40.

Autor

PAUL SCHMID-HAAS, Dr. sc. math., Naturforscher (früher WSL Birmensdorf, ETH Zürich und Universität Basel), Edenstrasse 14, CH-8593 Kesswil, E-Mail: schmid-haas@bluewin.ch.