

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 105 (1954)

Heft: 11

Artikel: Wesen und Anwendungsmöglichkeit der mathematischen Statistik in der Forstwirtschaft, speziell bei forstlichen Vorrats- und Zuwachsinventuren

Autor: Loetsch, Fritz

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766684>

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: 23.02.2026

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

Wasser gegossen, bis der Topfboden bedeckt bleibt, womit gewissermaßen eine selbsttätige Bewässerung erreicht wird. Die Schalen stellt man nun in einem hellen und wenn möglich heizbaren Raum auf, wonach sich die ganze Pflege auf eine tägliche Kontrolle des Wasserstandes im Gießtopf resp. auf das Nachgießen reduziert. Eine regelmäßige Düngung ist sehr wichtig, dagegen erübrigen sich Maßnahmen gegen Keimlingspilze usw. Nach sechs bis acht Wochen können die zirka 10 bis 15 cm hohen Pflanzen, deren Wurzeln meist die Torfplatten durchwachsen und im «Terralit» reichlich Faserwurzeln gebildet haben, ins Freie verschult werden. Dazu schneidet man sie mitsamt dem kleinen, durchwurzelter Torfstück aus der Platte heraus.

Unter Anwendung der künstlichen Bestäubungsmethode von Wettstein können die Saaten bereits sehr zeitig durchgeführt werden, womit sich auch größere einjährige Pflanzen erzielen lassen. Aber auch zur üblichen Zeit ausgeführte Saaten ergeben überdurchschnittlich hohe Pflanzen. So erreichten beispielsweise 1953 über 50 Prozent der Pflanzen, die am 20. April gesät und am 10. Juni verschult wurden, im ersten Jahr eine Höhe von 1 m. Dabei war praktisch kein Ausfall zu verzeichnen.

Wesen und Anwendungsmöglichkeit der mathematischen Statistik in der Forstwirtschaft, speziell bei forstlichen Vorrats- und Zuwachsinventuren¹

Von Prof. Dr. Ing. Fritz Loetsch

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbek

02/ 524

Gliederung:

(6:57)

- I. Wesen der statistischen Methodenlehre.
- II. Anwendungsmöglichkeit der mathematischen Statistik in der Forstwirtschaft.
 - A) Großrauminventur
 - B) Intensivinventur
 - a) Vorratsinventur
 - b) Zuwachsinventur
- Schlußbetrachtung.

I. Wesen der statistischen Methodenlehre

Ehe ich mich mit den eigentlichen forstlichen Problemen befasse, möchte ich das Augenmerk auf das *Wesen der mathematischen Statistik* lenken, die in den letzten zwei Jahrzehnten in ihrer Methodik erheblich weiter entwickelt worden ist.

Die statistische Methodenlehre befaßt sich mit dem *Erheben, Aufbereiten* und schließlich der *leicht faßlichen Darstellung von Massen-*

¹ Vortrag, gehalten am 18. Januar 1954, an der Abt. f. Forstwirtschaft der ETH.

tatsachen. Sie wird überall dort angewendet, wo der menschliche Geist sich bemüht, eine ihm gegenüber tretende statistische Masse in übersichtliche und damit beurteilungsfähige Form zu bringen.

Ein solches Kollektiv setzt sich zusammen aus einer theoretisch unendlichen — in der Praxis endlichen, aber sehr großen — Zahl von *gleichartigen Gliedern*, die sich nach *einem* meßbaren oder zählbaren *Merkmal* (Argument) unterscheiden. Beispiele für Kollektive finden sich auf fast allen Gebieten der Technik, Wirtschaft und Natur.

Der Wald als Objekt der Forstwirtschaft scheint prädestiniert für diese statistische Betrachtung. Prüfen wir als Beispiel einen Tannenplenterwald. Es liegt nahe, *als gleichartige Glieder* zunächst die *Einzelbäume* aufzufassen. Die *Merkmale*, nach denen sie sich unterscheiden, können je nach Fragestellung etwa die «Durchmesser in Bruthöhe», die «Höhe» oder «die linearen Zuwüchse in Bruthöhe» sein. Diese drei genannten Merkmale gehören zu denjenigen, die man als *meßbare* Argumente bezeichnet. Als Beispiel für ein *zählbares* Argument kann die «Schaftqualität» gelten. Hierfür wird man Schaftgüteklassen definitionsmäßig festlegen und die einzelnen Glieder durch Zählen den entsprechenden Klassen zuweisen.

Dasselbe Waldobjekt läßt sich auch im Hinblick auf seine flächenmäßige Gliederung betrachten. Stellt man sich den Tannenplenterwald von etwa 100 ha Größe in kleine Teilflächen von 10 a aufgeteilt vor, so erhält man einen Kollektivumfang von 1000 Einheiten zu je 10 a. Hier sind nicht mehr die Einzelbäume, sondern diese *gleichen Teilflächen* die Glieder des Kollektivs. Auch diese Einzelwerte kann man nach verschiedenen Merkmalen messend und zählend untersuchen, also zum Beispiel nach den Argumenten Massenhaltigkeit je ha, Zuwachsleistung je ha, Anteil bestimmter Stärkeklassen je ha und schließlich auch Anteil bestimmter Qualitätsklassen je ha.

Wie aus diesem Beispiel hervorgeht, kommt es bei der Anwendung statistischer Methoden in der Praxis zunächst darauf an, *Klarheit über die zweckentsprechende Gliederung des zu untersuchenden Kollektivs und über die Argumente* zu haben, nach denen man die statistische Masse erfassen will.

Stellt man die Ergebnisse einer statistischen Erhebung graphisch dar, so ergibt sich bei homogenen Kollektiven das bekannte Bild einer *Gaußschen Glockenkurve*. Die Erkenntnis, daß die echten Kollektive dem Ordnungsprinzip der Gauß-Verteilung unterliegen, ist eine entscheidende Grundlage der statistischen Methoden.

In der Praxis entsprechen die Häufigkeitsverteilungen selten völlig einer Gauß-Kurve. Meist weichen sie mit mehr oder weniger rechts- oder

linksseitiger Schiefe davon ab, häufig ist die Urverteilung des Kollektivs auch mehrgipfelig. Dies ist ein sicheres Zeichen dafür, daß das Urkollektiv kein *einheitliches*, sondern ein *geschichtetes Kollektiv* darstellt. Als Beispiel hierfür könnte ein Wald gelten, der aus zwei deutlich unterschiedenen Bonitäten oder auch Altersklassen zusammengesetzt ist. Wiederum betrachtet nach dem Argument Massenhaltigkeit je ha in 10-a-Teilflächen, ergibt sich dann ein erster Gipfel etwa bei 100 fm/ha. Dies entspräche dem Einfluß schlechter Bonität. Dann käme ein weiterer Gipfel etwa bei 300 fm/ha, welcher dem Einfluß der guten Bonität zuzuschreiben wäre.

Da statistische Methoden am vorteilhaftesten bei Kollektiven mit Normalverteilung anzuwenden sind, müssen diese verschiedenen Schichten (Straten genannt) berücksichtigt werden. Dies geschieht durch die Stratifikation. Unter *Stratifizierung eines Kollektivs* versteht man eine Trennung der Urverteilung in solche Teilkollektive, die in sich möglichst angenäherte Gauß-Verteilungen aufweisen.

Die logische Bearbeitung und leicht faßliche Darstellung von Massentatsachen umfaßt im wesentlichen die Kennzeichnung von Kollektiven mit wenigen, jedoch *wirksamen, passenden und erschöpfenden* Maßzahlen (Kriterien nach R. A. Fisher). Die wichtigsten dieser Maßzahlen sind das *arithmetische Mittel* (oder der *Durchschnitt*) und die *Streuung* der Einzelwerte um dieses arithmetische Mittel. Bei letzterer hat sich die durchschnittliche Streuung nicht als wirksam genug erwiesen, dagegen ist die *mittlere quadratische Streuung* eine Maßzahl, welche den drei oben genannten Kriterien voll genügt. Ein beliebtes Maß ist ferner der Prozentsatz der mittleren quadratischen Streuung vom arithmetischen Mittel, welcher nach Pearson *Variationskoeffizient* genannt wird.

Es leuchtet ein, daß es in der Praxis in den wenigsten Fällen möglich ist, die gewünschte Kennzeichnung eines Kollektivs durch die Messung *jedes einzelnen* Gliedes zu erhalten. Die Kollektive der Technik und Wirtschaft sind meist derart umfangreich, daß eine Vollerhebung oft technisch unmöglich oder nur mit nicht vertretbaren Kosten durchzuführen wäre. Somit würden die Erkenntnisse der Kollektivmaßelehre für die Praxis nur eine beschränkte Bedeutung besitzen, wenn nicht die *Stichprobenmethode als geeignetes Hilfsmittel* der Erfassung von Großzahlen besonders in den letzten Jahrzehnten maßgeblich entwickelt worden wäre. A. Linder bezeichnet daher den methodischen Ausbau der Stichprobenverfahren mit vollem Recht als *eine der wichtigsten Aufgaben der mathematischen Statistik*. Ganz besonders auch für die Forstwirtschaft wird dieses Gebiet der mathematischen Statistik von entscheidender Bedeutung sein, weswegen wir uns im weiteren Verlauf des Vortrages fast ausschließlich mit ihm beschäftigen wollen.

Wenn man im oben erwähnten Beispiel des Tannenplenterwaldes von den tausend möglichen Teilflächen nur einen Teil, also jeweils 100, 50 oder 25, in zufälliger Auswahl herausgreift, so erhält man arithmetische Mittel, welche von dem der Grundgesamtheit verschieden sind. Die Abweichung wird mit sinkender Probenzahl größer. Diese Abweichung vom wahren arithmetischen Mittel läßt sich dadurch errechnen, daß man die gefundene mittlere Streuung der einzelnen Werte durch die Quadratwurzel der Probenanzahl dividiert. Damit erhält man einen *mittleren Fehlerrahmen* für die Stichprobe. Dieser aus den Streuungen berechnete mittlere Fehler hat jedoch nur eine Wahrscheinlichkeit von 68 %, d. h. bei wiederholten Stichproben aus dem gleichen Kollektiv haben nur zwei von drei derartigen Durchgängen die Wahrscheinlichkeit, mit ihrer Abweichung vom wahren Wert im Rahmen dieses errechneten mittleren Fehlers zu liegen. Eine solche Genauigkeitsangabe ist für die gesuchte Maßzahl eines forstlichen Kollektivs zweifellos als zu unsicher anzusehen. Es ist nun eine Angelegenheit der Konvention, welche Wahrscheinlichkeit als ausreichend erachtet wird. Multipliziert man bei genügender Probenanzahl die gefundene Standardabweichung des arithmetischen Mittels mit 2, so erhöht man die Wahrscheinlichkeit auf etwa 95 %, d. h. von 20 Stichproben des gleichen Charakters würden 19 in diesem nunmehr gefundenen Fehlerrahmen liegen und nur eine herausfallen. Im allgemeinen wird dieser Genauigkeitsrahmen für forstliche Stichproben als ausreichend erachtet. Eine Multiplikation des Standardfehlers mit 3 würde die Wahrscheinlichkeit auf fast 100 % erhöhen.

Es ist im Rahmen dieses Vortrages nicht möglich und auch nicht notwendig, auf die mathematisch-statistische Methodenlehre weiter einzugehen. Ich möchte hier unter der Vielzahl namhafter Forscher nur einige herausgreifen, die sich besondere Verdienste um die Erforschung der Stichprobenmethode in den letzten Jahrzehnten erworben haben. Es sind dies: R. A. Fisher, der die wertvolle Methode der Variantenanalyse fand, Yates, der die Vielzahl der verschiedenen Prüfteste in greifbare Form umgewandelt hat, und Daeves und Beckel, die die graphischen Methoden der Stratifikation weiter ausbauten. Die Anwendung auf forstliche Zwecke haben, um nur einige Namen zu nennen, besonders gefördert Schumacher, Chapman, Hasel, Finney, Ilvessalo, Näslund u. a.

Da die Wahrscheinlichkeitslehre ein wesentlicher Baustein für die Berechnung des Fehlerrahmens für Stichproben ist, muß als eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Stichprobenmethode gelten, daß auch *nur zufällig auftretende* und keine *einseitigen, systematischen Fehler* bei der Erhebung gemacht werden. Diese einseitigen Fehler sind die *gefährlichsten Feinde* des Statistikers. Sie können verschiedenen Quellen entspringen. Ich weise auf die bekannten Instrumentenfehler

hin. Auch die Wahl des Tarifs kann hierbei bedeutungsvoll werden. Besonders wichtig aber ist die *Art der Stichprobenerhebung*, die sog. *Probenahme*. Da aus ihrer Streuung der Fehlerrahmen resultiert, so muß ihr *Zufälligkeitscharakter in jedem Falle gewahrt werden, d. h. es muß jedes Glied des Kollektivs die gleiche Erfassungschance* haben. Da die Art der Probenahme gerade bei forstlichen Inventuren eine entscheidende Bedeutung besitzt, werden wir uns später noch eingehender damit befassen.

Die Stichprobenmethode, statistisch richtig angewendet, ist für den Ingenieur, den Volkswirt, den Unternehmer, den Naturwissenschaftler u. a. m. zum praktisch brauchbaren Erfassungsinstrument der kritisch zu beurteilenden Großzahlenkomplexe geworden. Überblicken wir kurz die *Vorteile*, die sie zu bieten vermag:

1. Die Erhebung kann mittels gut durchdachter Organisation und mit verhältnismäßig wenigen Kosten und Arbeitskräften durchgeführt werden.
2. Bei der Aufbereitung statistischer Erhebungen kann das Lochkartenverfahren weitgehend eingesetzt werden, so daß die zeitraubenden Errechnungen nur auf wenige Schlußzusammenfassungen beschränkt bleiben.
3. Die Steuerung des Genauigkeitsrahmens ist durch Stratifikation und Probenzahl weitgehend möglich. So ist zur Verringerung des Fehlerrahmens auf die Hälfte eine Erhöhung der Probenzahl auf das Vierfache nötig. Umgekehrt ermäßigt eine Verbreiterung des Fehlerrahmens auf das Doppelte die benötigte Probenzahl auf ein Viertel.

Kennt man annähernd das Ausmaß der Streuung, welches die zu untersuchenden Kollektive erwarten lassen, so ist *vor Beginn der Erhebung* bereits eine Abgleichung der gewünschten Genauigkeit mit den für die Erhebung bereitstehenden Mitteln möglich. Nach erfolgter Inventur kann durch die Fehlernachkalkulation die Glaubwürdigkeit der gefundenen Maßzahlen erhärtet werden.

Bei den auf Grund der statistischen Erhebungen erfolgenden Beurteilungen der Kollektive wird daher stets der *Fehlerrahmen die Grenze* sein, die Zuverlässiges von nur schwach Wahrscheinlichem trennt. Durch das *statistische Denken* wird die oft noch fälschlicherweise empfundene Ehrfurcht vor der keineswegs verbürgten Genauigkeit einer bis auf Kommastellen angegebenen Maßzahl entthront. Sie weicht einem gesunden, dem praktischen Wirtschaftsleben entsprechenden Empfinden für die *echten Grenzen*, die *allen* statistisch gefundenen Maßzahlen, also auch jenen der Vollerhebung, zugewiesen werden müssen.

II. Anwendungsmöglichkeit der mathematischen Statistik in der Forstwirtschaft

Welche *Anwendungsgebiete der mathematischen Statistik* können wir auf dem forstwirtschaftlichen Sektor finden?

Bevor ich auf das mir nächstliegende Anwendungsgebiet der Holzvorrats- und Zuwachsinventur eingehe, möchte ich aus der sich darbietenden Fülle nur einiges herausgreifen, um zu zeigen, welche wichtige Hilfswissenschaft die mathematische Statistik für verschiedene Zweige der Forstwissenschaft zu werden verspricht. Die Forstgenetik kann ohne statistische Beurteilung gefundener Häufigkeiten nicht mehr auskommen. Die Betriebswirtschaftslehre und die Forstpolitik müssen erhobene Unterschiede erst auf ihre Signifikanz hin prüfen, ehe sie Schlüsse daraus ableiten können. Die Auswertung forstlicher Versuche, die sich im wesentlichen bisher mit ungetesteten Durchschnitten begnügten, darf an der Entwicklung nicht mehr vorübergehen, die zum Beispiel durch R. A. Fisher, Mudra u. a. in der landwirtschaftlichen Versuchsanlage und -auswertung stattgefunden hat. Ein besonders weites Feld bietet sich in der forstlichen Ertragskunde. Die Beurteilung stochastischer Abhängigkeiten mit Hilfe der Korrelationsrechnung, das Auffinden der statistisch besten Ausgleichskurven zum Beispiel bei Aufstellung von Massen- und Ertragstafeln mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate u. a. m. sind hier zu nennen.

Einen eindrucksvollen Beweis dafür, daß es *ohne Anwendung der mathematischen Statistik* überhaupt nicht möglich ist, forstliche Messungen kritisch zu beurteilen, hat der aus der Schweiz hervorgegangene Professor der Forstwissenschaft am Pennsylvania State College, H. A. Meyer, mit seinem vor kurzem erschienenen Lehrbuch² über das Gebiet der *Holzvorrats- und Zuwachsinventur* erbracht. Das ganze Werk ist von Anfang bis Ende von statistischem Denken durchdrungen. Es stellt zurzeit wohl das Standardwerk dar, das die forstliche Weltliteratur auf diesem Gebiet besitzt.

Als Haupteinwand gegen die Anwendung jeder Art von Stichprobenerhebung bei forstlichen Inventuren wird in Mitteleuropa immer wieder betont, daß sie nicht exakt genug arbeite und damit der bei uns herrschenden intensiven Forstwirtschaft nicht entspreche. Es sollte immerhin zu denken geben, daß H. A. Meyer, hervorgegangen aus dem Land mit der wohl intensivsten Forstwirtschaft Europas, sich gerade diesem Gebiet so nachdrücklich und erfolgreich gewidmet hat.

Versuchen wir im folgenden selbst zu einem *kritischen Urteil* darüber zu kommen, inwieweit wir in Europa Nutzen aus der Anwendung von Stichprobenverfahren bei forstlichen Inventuren ziehen können.

² H. A. Meyer, «Forest Mensuration», Verlag Penns Valley Publishers, Inc., Pennsylvania, USA (1953).

Forstliche Inventuren haben vor allem das Ziel, Zahlenunterlagen über den Vorrat und den Zuwachs zu liefern. Diese Informationen dienen einmal der rückschauenden Beurteilung der durchgeführten wirtschaftlichen Maßnahmen (Leistungskontrolle, Erfolgsnachweis) und zum andern der vorausschauenden Planung (Forsteinrichtung bzw. forstpolitische Maßnahmen).

Sonach können die Erhebungen einmal für forstpolitische Zwecke durchgeführt werden und haben dann zum Ausgangspunkt etwa die Waldfläche eines ganzen Landes (Großrauminventur), zum andern sollen sie Unterlagen für die Forsteinrichtung erstellen und beziehen sich somit auf den einzelnen Betrieb (Intensivinventur für Forstamt, einheitlichen Waldbesitz).

A. Großrauminventur

Betrachten wir zunächst die *Großrauminventuren*. Bei Überprüfung der für die meisten europäischen Länder vorliegenden forststatistischen Unterlagen kommen wir zu einem überraschenden Ergebnis, welches sich mit dem *hohen Intensitätsgrad der europäischen Forstwirtschaft nicht recht auf einen Nenner bringen läßt*. So mußte zum Beispiel We c k bei seiner Beurteilung des FAO-Berichtes zur Lage und Entwicklung der europäischen forstlichen Verhältnisse erst kürzlich feststellen, daß außer den skandinavischen Ländern und der Schweiz kein europäisches Land eine in bestimmten Grenzen zuverlässige Aussage über die Holzvorräte und die Zuwachsleistung zu machen vermag. Er folgert aus dieser beschämenden Erkenntnis als erste und dringlichste Empfehlung zur Rationalisierung der europäischen Forstwirtschaft die Erfassung des forstwirtschaftlichen Tatbestandes für alle Wälder nach einer Methode, die vergleichbare Ergebnisse klar begrenzter Genauigkeit sichert. Nach seiner Meinung kann eine solche Erhebung mit wirtschaftlich tragbarem Aufwand *nur von einem Stichprobenverfahren in Kombination von Luftbild und terrestrischen Proben* erwartet werden.

Der Grund, weswegen die meisten zurzeit für europäische Länder vorliegenden Forststatistiken unzureichend sind, ist im wesentlichen folgender: Die Unterlagen für die Gesamtwaldfläche werden je nach Besitzkategorien mit verschiedener Intensität erhoben. Staats- und Gemeindewälder werden meistens nach den bisher üblichen bestandsweisen Aufnahmen, bei denen die Intensitätsgrade je nach Altersklasse von der groben Schätzung bis zur exakten Vollkluppung wechseln, inventariert, der Klein- und Kleinstprivatwaldbesitz oft nur nach Schätzungen vom grünen Tisch aus. Die gesamte statistische Masse wird dadurch *nach ganz verschiedenen Verfahren* erhoben, wobei auch die genauesten unter ihnen, zum Beispiel beim Staatswald, für forstpolitisch geforderte *Gegenwartsquerschnitte* nur bedingt brauchbar sind, weil die Einzelinventuren der Reviere innerhalb der letzten zwanzig und auch mehr

Jahre angefertigt worden sind und die während dieses langen Zeitraumes geschehenen Veränderungen durch die Fortschreibungen nicht genügend berücksichtigt werden können. Es ist nicht verwunderlich, daß die aus derartigen statistischen Erhebungen gewonnenen Maßzahlen der untersuchten Kollektive nicht brauchbar sind, vor allem aus dem Grunde, weil man *keinen nachprüfbaren Fehlerrahmen* für sie angeben kann.

Wie würde etwa ein statistisch richtiger Gegenwartsquerschnitt durch eine Großrauminventur mittels Stichproben ausgeführt werden müssen? Entsprechend den eingangs gemachten theoretischen Erwägungen ist es zunächst nötig, den *Umfang der Kollektive* und die *Argumente*, nach denen man sie gliedern will, festzulegen. Der Kollektivumfang wird im wesentlichen durch die *forstpolitische Fragestellung* bestimmt. Er kann zum Beispiel sowohl Besitzkategorien umfassen als auch durch Ländergrenzen gekennzeichnet sein. Desgleichen mag es erforderlich sein, Bewirtschaftungsarten vom extensiven Hochlagenwald an über Mittel- und Niederwälder bis zu intensiven Hochwäldern für Zwecke der Forstpolitik getrennt zu erfassen.

Die Argumente können einfacher Art sein (z. B. Holzarten, Altersklassen, Bonitäten nach ihren Flächenanteilen) oder kompliziertere Form haben, wie Massenhaltigkeit je ha und Zuwachsleistung je ha, womöglich noch unterschieden nach Qualitätsklassen.

Bei Großrauminventuren werden wir es wohl immer mit *stark geschichteten Kollektiven* zu tun haben. Eine entscheidende, der Erhebung *vorangehende* Arbeit wird es daher sein, die Schichten (Straten) ihrer Art und ihrem Umfang nach zu erkennen. Hier bietet sich das technisch brauchbare *Luftbild* als geradezu *ideales Hilfsmittel* an. Je nach gewünschter und möglicher Intensität der Inventur bildet man zunächst Klassifikationssysteme, deren variable Merkmale zum Beispiel die Holzart, die Baumhöhe, die Dichte der Bestockung u. a. sein können. Eine grobe Klassenbildung wäre also zum Beispiel die Einteilung in Laubholz, Nadelholz und Mischwald, und innerhalb dieser drei groben Klassen Sägeholzbestände, Stangenhölzer und Nachwuchsvorrat. Das Kollektiv würde dann in neun Schichten zerlegt werden. Mittlere Klassifikationen, die die Anzahl der Holzarten und der Höhenklassen vermehren und außerdem noch die Bestockungsdichteklassen verwenden, können bis zu 60—70 Straten ergeben. Für Großrauminventuren würde dies wohl schon eine obere Grenze darstellen, während für Intensivinventuren je nach Güte des vorhandenen Luftbildmaterials die Stratifizierung noch enger mit Erfolg durchgeführt werden kann.

Die Interpretation des Luftbildes³ besteht darin, daß anhand der auf der photographischen Aufnahme sichtbaren Unterschiede der Be-

³ Vgl. L o e t s c h, F.: Die Anwendung des Luftbildes als Grundlage von Vorratsinventuren in den USA und Folgerungen für eine deutsche Entwicklung. Forstarchiv, 8, 1—3, 1953.

stockung eine Einteilung in die eben erwähnten Klassen vorgenommen wird. Die Technik dieser Interpretation ist besonders in den USA und neuerdings auch in Schweden (W e l a n d e r) entscheidend weiter vervollkommen worden. Eine Minimalgröße der besonders zu kennzeichnenden Flächen auf dem Luftbild ist vorher je nach gewünschter Intensität festzulegen. In Amerika ist als Durchschnitt 0,5 bis 2,5 ha angegeben worden. Bei extensiven Inventuren gleichförmigen Charakters stellten 20 ha die untere Grenze dar. Für europäische Verhältnisse sollte meines Erachtens die Minimalgröße von 0,5 ha im allgemeinen nicht unterschritten werden.

In jedem Luftbild des zu untersuchenden Gebietes werden die gefundenen Stratengrenzen eingezeichnet und die Flächen der einzelnen Straten mit dem Planimeter bzw. dem durchsichtigen Kleinflächengitter errechnet. In gebirgigem Gelände läßt sich eine Übertragung der gefundenen Stratenflächen durch die bekannten photogrammetrischen Instrumente auf eine entzerrte Karte nicht vermeiden. Dieses Verfahren der Interpretation wird überall dort Anwendung finden, wo als Inventurergebnis gleichzeitig auch eine Waldkarte mit anfallen soll.

Da diese Arbeit besonders in reich gegliederten Wäldern, wie sie ja in Europa meist vorliegen, recht kostspielig sein würde, bedient man sich *bereits zur Feststellung der Straten* mit Erfolg der *Stichprobenmethoden*. Nach Wilson, Spurr u. a. wird dies mit Hilfe der Punktgittermethode durchgeführt. Man legt in den Mittenraum eines jeden Luftbildes ein Gitternetz aus gleichmäßig verteilten Punkten. Diese Punkte gelten als Mittelpunkte von Luftbildprobeflächen, welche entsprechend den Klassifizierungsgrundsätzen interpretiert werden. Zur Flächenermittlung der einzelnen Straten gilt dann folgende Proportion: Es verhält sich die Fläche des gesuchten Stratum zur Flächengröße des aufgenommenen Gebietes (welche also bekannt sein muß) wie die Anzahl der Proben im Stratum zur Anzahl der gesamten Proben.

Die *Anzahl* der Luftbildproben richtet sich nach der gewünschten Genauigkeit, nach der man das *bedeutungsvollste Stratum* inventarisieren möchte. Diese Methode ist nach mathematisch-statistischen Gesetzen somit in ihrem Fehlerrahmen lenkbar und nachprüfbar. Systematische Fehler, die durch falsche Interpretation entstanden sind, werden dadurch ausgemerzt, daß eine terrestrische Nachprüfung an einer gewissen Anzahl dieser Luftbildproben vorgenommen wird. Der zwischen der Photointerpretation und der terrestrischen Nachprüfung festgestellte Unterschied bei den einzelnen Straten wird als Korrektionsfaktor benutzt.

Ich glaube, daß gerade dieser Weg für unsere europäischen Verhältnisse brauchbare Ergebnisse zeitigen kann. Entsprechende Versuche sind sowohl in Österreich als auch in der Bundesforschungsanstalt für

Forst- und Holzwirtschaft in Zusammenarbeit mit dem International Training-Centre for Aerial Survey in Delft vorgesehen. Ich weise in diesem Zusammenhang darauf hin, daß man neuerdings auch in Frankreich diesen Dingen großes Gewicht beizulegen beginnt, wie die erst kürzlich erschienenen beiden Sonderhefte der «Revue forestière française» über «La photographie aérienne et ses applications forestières» und «La méthode statistique et ses applications en matière forestière» beweisen.

Hat man die Kollektive in ihren einzelnen Straten festgelegt, so beginnt die *Erhebung der Argumente*. Die einfacheren Argumente, wie Holzartenverteilung, Altersklassen usw., konnten bereits weitgehend aus dem Luftbild entnommen werden (Klassifikationsregister). Die Massenhaltigkeit je ha und besonders die Zuwachsleistung sind jedoch ohne terrestrische Messungen schwer zu erhalten. Es ergibt sich hieraus, daß die eigentliche Stichprobenahme bei Großrauminventuren sowohl aus Luftbildproben als auch aus terrestrischen Proben bestehen kann.

Die Anordnung der terrestrischen Stichproben erfolgt am besten durch die Zufallsmethode, jedoch unter Berücksichtigung der Stratengrößen (daher *beschränkt zufällige Methode* genannt). Die Anzahl der Proben wird errechnet unter Zugrundelegung des geforderten Genauigkeitsrahmens. Erwähnen möchte ich hierbei noch die von Bickford entwickelte interessante Variation, die auf die *doppelte Probenahme* des bekannten Statistikers Neyman zurückgeht. Doppelte Probenahme insofern, als die weit billigeren Luftbildproben und die sehr viel kostspieligeren terrestrischen Proben zur sinnngemäßen Erfassung der gesuchten Argumente kombiniert werden.

In Europa sind es die Länder Finnland, Schweden und Norwegen, welche stichprobenmäßige Großrauminventuren für forstpolitische Zwecke nach der bekannten *Linientaxation* zum Teil schon seit Jahrzehnten durchgeführt haben. Die Linientaxe hat sich für die nordischen Verhältnisse außerordentlich gut bewährt. Die Anordnung der Proben ist hier nicht dem reinen Zufall überlassen, sondern — entsprechend dem Liniennetz — als eine *systematische* zu bezeichnen. Da der Abstand der Proben auf der Taxlinie sehr viel geringer ist als derjenige zwischen den Linien, so ist die Probenahme *ungleichmäßig-systematisch* zu nennen, im Gegensatz zur gleichmäßig-systematischen Probenanordnung, auf die wir bei den Intensivinventuren noch näher eingehen werden. Die mathematische Behandlung dieser ungleichmäßig-systematischen Probenahme ist nicht ganz einfach und teilweise auch noch umstritten.

Ganz besonders interessant ist die Entwicklung, die die Methode der schwedischen Linientaxe unter der Leitung von E. Hagberg in allerletzter Zeit durchlaufen hat. Während früher pro Jahr nur ein

Land inventarisiert wurde und der Gesamtumlauf etwa 15 Jahre dauerte, werden jetzt in jedem Jahr *aus dem ganzen Reich* Stichprobeninventuren entnommen, so daß bereits *in fünf Jahresperioden* statistisch *gesicherte Maßzahlen* für Vorrat und Zuwachs *im Reiche* anfallen. Dies wird dadurch ermöglicht, daß jede Linie in kleine Abschnitte — einer Tagesleistung einer Taxationsgruppe entsprechend — aufgeteilt ist, von denen jährlich der zehnte Teil inventarisiert wird, so daß der Gesamtumlauf nunmehr in zehn Jahren beendet und innerhalb dieser Periode statistisch gesicherte Maßzahlen für die Länder anfallen. Diese Linienstücke werden nicht mehr in einer Geraden, sondern in Quadratform (sog. *Trakte*) mit der gleichen Umfangslänge wie das Linienteilstück inventarisiert.

Um neben dem Vorrat und Zuwachs gewissermaßen aus demselben Guß auch eine Statistik über den geführten Einschlag zu erhalten, hat H a g b e r g die *Stubbeninventur* entwickelt und eingeführt, die, nach den Ergebnissen des letzten Jahres zu urteilen, verblüffend genaue Resultate zu ergeben verspricht.

Aufschlußreich sind einige Organisationsdaten aus der schwedischen Reichstaxation. Die gesamten Erhebungen erfolgen durch nur zwölf Arbeitsgruppen mit je einem Leiter und sechs Gehilfen. Jede Gruppe nimmt pro Jahr im Durchschnitt etwa hundert Trakte auf. Die Gruppen sind mit den besten technischen Hilfsmitteln ausgestattet. Die Kosten der Reichswaldtaxation sind denkbar gering und betragen pro Jahr und Hektare produktiver Waldfläche 0,013 s. Kronen.

Die in der Organisation und Auswertung des Erhebungsmaterials nach dem Hollerith-Verfahren in Skandinavien gesammelten Erfahrungen werden für ganz Europa wegweisend sein.

Eine direkte Übertragung der Methodik der Linientaxe zum Beispiel für Länder mit kleinerem Bewaldungsprozent bzw. vorwiegend gebirgigem Charakter ist nicht zu raten, vielmehr wird sich jedes Land seiner Eigenart gemäß die passende Technik selbst entwickeln müssen, wobei die wertvollen amerikanischen und skandinavischen Erfahrungen nutzbar gemacht werden sollten. *Entscheidend* bleibt in jedem Fall, daß die gewonnenen Maßzahlen der Kollektive mit den *statistisch richtigen Fehlerrahmen gekennzeichnet werden*, damit die aus dieser Statistik zu ziehenden forstpolitischen Schlüsse auf einer gefestigten Unterlage ruhen.

B. Intensivinventur

Betrachten wir nunmehr die *Intensivinventuren*, die die gesicherten Unterlagen der Planung und der Leistungskontrolle für selbständige Wirtschaftsbetriebe erstellen sollen. Die den Wirtschaftler am meisten interessierenden Maßzahlen sind jene, welche *Vorrat* und *Zuwachs* kennzeichnen.

a) Vorratsinventur

Wir wollen uns zunächst mit der Vorratsinventur beschäftigen. Das wesentlichste *Argument* ist die Holzmasse. Hierbei interessiert oft nicht allein die Masse selbst, sondern auch ihre Aufgliederung nach Wertigkeitsstufen, wie zum Beispiel Stärkeklassen und Schaftqualitäten. Komponenten zur Massenberechnung sind der Durchmesser, die Höhe und die Form. Von ihnen ist der Durchmesser am leichtesten zu messen. Auf dem Weg über *Tarife* werden zunächst die beiden anderen Komponenten aus Erfahrungszahlen übernommen. Auf die interessante Frage, nach wieviel Höhenstufen man ein Tarifsysteem am zweckmäßigsten gliedert, kann ich hier nicht näher eingehen. Wichtig dabei ist, das Maß des systematischen Fehlers in tragbaren Grenzen und jederzeit erkennbar zu halten.

Bedeutungsvoll ist ferner die Inventarisierung nicht nur nach fm schlechthin, sondern die Erfassung der *Schaftqualitäten* des stehenden Vorrats. Hierzu lassen sich ebenfalls verschiedene Wege beschreiten: Man kann zum Beispiel die qualitativen Gliederungen der Holzmeßanweisungen zugrunde legen. Es wird dann die augenblickliche Verkaufsqualität des Stammes angesprochen (*statische Methode* z. B. nach v o n A r n s w a l d t), wobei man sich auch auf ein unteres Schaftstück beschränken kann, dessen Länge entweder absolut oder auch in Relation zur gesamten Schaftlänge festgelegt werden kann. Dort, wo der Waldbau ganz besonders auf eine vorratspflegliche Entnahme des schlechteren Materials zugunsten des besseren ausgerichtet ist, wird eine laufende Erfolgsüberprüfung durch qualitative Vorratserhebungen unumgänglich werden. Hierbei kann auch eine *dynamische* Merkmalsbildung von Bedeutung werden, nach der man die Stämme etwa in drei Hauptklassen einteilen kann:

- α) Wertholz,
- β) gesundes Holz, aber mit technischen Fehlern behaftet,
- γ) krankes Holz.

Die Klassen können nach Bedarf weiter aufgegliedert werden. Da die Merkmale für diese Klassenbildungen nicht *gemessen* werden können, sondern jeder Stamm nach Augenschein unter Anwendung klarer Merkmalsdefinitionen taxiert wird, müssen die Definitionen so weit wie möglich nachprüfbar sein.

Eine solche Klasseneinteilung ist deswegen *dynamisch* zu nennen, weil ein wegen vielleicht geringfügiger Faulschäden bereits als γ-Schaft angesprochener Stamm zwar zur Inventurzeit noch als α-Holz verkauft werden kann, jedoch infolge des zunehmenden Schadens in Zukunft statt eines Wertzuwachses eine Wertminderung erwarten läßt.

Die Art der Stichprobenerhebung nach diesen Argumenten wird nach skandinavischen, amerikanischen und deutschen Erfahrungen am besten in der Form eines *Probenflächensystems* durchgeführt. In dem eingangs erwähnten Bestand eines Tannenplenterwaldes hatten wir das Kollektiv in 10 a große Teilflächen geteilt. Wird das Kollektiv in 1 a große Teilflächen aufgegliedert, so ist die Streuung dieser kleineren Flächen um den arithmetischen Mittelwert größer als jene der 10-a-Flächen, bei denen der größere Flächeninhalt eine bessere Ausgeglichenheit bewirkt. Je kleiner die Probefläche ist, umso höher ist der Variationskoeffizient und umso größer muß die benötigte Anzahl der Proben sein, um den gewünschten Genauigkeitsrahmen der Maßzahl zu gewährleisten. Auf der anderen Seite sind Probengröße und Kosten pro Probefläche ziemlich straff korreliert. Es ergibt sich somit für die praktische Durchführung aus diesen beiden Gegenüberstellungen ein *Optimum* für die *Probengröße*, welche je nach Zusammensetzung des Kollektivs (Stammzahlhaltigkeit, Durchmessergrößen) nach bisherigen Untersuchungen etwa zwischen 0,25 und 10 a liegt.

Als technisch am leichtesten zu vermessende Form derartig kleiner Probenfläche hat sich im allgemeinen die *Kreisprobe* gezeigt. Gut hat sich ferner die *Doppelkreisprobefläche* bewährt. Wenn zum Beispiel die optimale Probeflächengröße 6 a beträgt, so werden zwei Kreise von je 3 a aufgenommen, deren Mittelpunkte 20 m voneinander entfernt sind. Im ersten Kreis inventarisiert man alle vorkommenden Grenzstämmen, im zweiten Kreis läßt man sie heraus. Dadurch wird der bei den Grenzstämmen leicht entstehende systematische Fehler vermieden. Will man direkt das Argument Kreisfläche je ha ermitteln, stellt die von B i t t e r l i c h entwickelte Winkelzählprobe ein ausgezeichnetes Hilfsmittel dar.

Die *Anordnung der Proben* ist von entscheidender Bedeutung. Während bei der Großrauminventur die zufällige bzw. auch die ungleichsystematische Methode vorherrschen wird, ist die gleichmäßig-systematische Probenverteilung von besonderer Wichtigkeit bei der Intensivinventur. Bei einem engen Probennetz, etwa zwischen ein bis vier Proben je ha, ist das Auffinden der Proben im Gelände anhand einer Taxlinie bedeutend zeitsparender als das jeweilige Heranmessen an die nach dem Zufallscharakter verstreut liegenden Probeflächen. In Schweden ist die gleichmäßig systematische Verteilung bereits seit langem bei Intensivinventuren gebräuchlich. Auch in den USA (H. A. M e y e r, H a s e l u. a.) und in England (F i n n e y) hat man erkannt, daß eine gleichmäßige Verteilung von Proben die genauesten Querschnitte vermittelt. Da jedoch die mathematisch-statistische Fachwissenschaft bisher aus Prinzipgründen jegliche Beeinflussung der Probenahme ablehnte und nur den reinen Zufallscharakter der Stichprobe gelten ließ, hat man bisher, trotz den erkannten praktischen Vorteilen, der gleichmäßig-syste-

matischen Methode nicht das ihr gebührende Vertrauen entgegengebracht. Neue Untersuchungen⁴ haben rein induktiv die statistische Brauchbarkeit der systematischen Methode bewiesen. In einem Altersklassenwald von 100,8 ha wurden sämtliche vorhandenen 1680 Teilflächen von 6 a Größe inventarisiert. Dadurch lagen wahrer Wert und Variationskoeffizient fest. Mit verschiedenen zwischen 4,0 und 11 liegenden Aufnahmeprozentsen wurden nunmehr systematische Stichproben nach dem Argument Masse/ha in insgesamt 50 Durchgängen ausgeführt und die dadurch erhaltenen 50 Maßzahlen mit den statistisch errechenbaren Fehlerrahmen unter Benutzung der den Fehlerrahmen stark verengenden Streuungszerlegung versehen. Die Streuungszerlegung mit ungleichen Blöcken schaltet jene Streuungen aus, die zwischen den Blöcken (forstlich: Befundeinheiten) bestehen und den Fehlerrahmen des Ergebnisses zu unrecht belasten. Der Vergleich dieser errechneten Fehlerrahmen mit den tatsächlich erzielten Abweichungen vom wahren Wert ergab folgendes Bild:

Die tatsächlich festgestellten Abweichungen bei Flächenaufnahmeprozentsen zwischen 4 und 11 % lagen bei 34 von 50 Durchgängen im Bereich des einfachen Standardfehlers (statistisch errechnete Wahrscheinlichkeit 34,13 Fälle) und bei 47 von 50 Durchgängen im Bereich des doppelten Standardfehlers (statistisch errechnete Wahrscheinlichkeit 47,5 Fälle). Weitere in dieser Arbeit enthaltene Versuchsreihen, auch an einem amerikanischen Waldobjekt, bestätigen dieses Resultat. Dies ausgezeichnet übereinstimmende Ergebnis dürfte als ein empirisch gefundener Beitrag zum Berechtigungsnachweis der statistischen Fehlerrahmenberechnung bei der gleichmäßig systematischen Probenverteilung in forstlichen Inventuren anzusehen sein.

Vielleicht regt dieser Versuch die mathematisch-statistische Fachwissenschaft an, sich erneut deduktiv mit der systematischen Probenahme zu beschäftigen. Die endgültige Klärung des Problems wäre dann ein Beispiel echter Integration der Forschung und würde rückwirkend für die Forstwissenschaft von besonderer Bedeutung sein.

Wie bei der Großrauminventur wird auch bei der Intensivinventur der Charakter und der *Umfang des Kollektivs* durch die Forderungen der Forstwirtschaft bestimmt. Sie setzt fest, von welchem Waldteil Maßzahlen gebraucht werden und mit welchem Genauigkeitsrahmen sie versehen sein müssen. Die Fragestellung nach dem Umfang der Kollektive führt an die *Grenzen*, die der Stichprobenerhebung bei Vorratsinventuren gesetzt sind, und zeigt auch ihre *Entfaltungsmöglichkeiten* auf diesem Sektor.

⁴ J. G. H a s e n k a m p : Die Genauigkeit der systematischen Stichprobenahme bei forstlichen Vorratsinventuren. (Ein methodischer Beitrag zur internationalen Waldbestandsaufnahme.) Dissertation, Hamburg 1954, erscheint demnächst als «Mitteilung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft», Reinbek.

Wie wir sahen, kann die Genauigkeit der Erfassung über ein höheres Flächenaufnahmeprozent gesteigert werden. Nach H. A. Meyer ist eine Probeflächenaufnahme von über 30 % der Waldfläche wirtschaftlich nicht mehr tragbar.

Überblicken wir an einem Beispiel die Genauigkeitsleistung der Stichprobenverfahren. Das Aufnahmeprozent sei 6 % bei 1 Probe je ha, das untersuchte Argument Gesamtmasse/ha. Unterstellen wir einen mittleren Variationskoeffizienten von 40 %. Mit 95 % Wahrscheinlichkeit erhalten wir die nachfolgenden Fehlerrahmen bei folgenden Flächengrößen der Kollektive: ± 15 % bei zirka 30 ha, $\pm 7\frac{1}{2}$ % bei zirka 120 ha, $\pm 2\frac{1}{2}$ % bei zirka 1000 ha und ± 1 % bei 6500 ha. Will man Maßzahlen nur für Teile der Gesamtmasse, also zum Beispiel einzelne Holzarten, Stärkeklassen, Qualitätsklassen, mit demselben Genauigkeitsrahmen haben, erhöhen sich jeweils die Flächengrößen, und zwar um so mehr, je geringer der gesuchte Anteil an der Gesamtmasse ist. Aus diesem Zahlenbeispiel kann man ersehen, daß die *Vorteile der Stichprobeninventuren* bei der Anwendung auf größere Objekte stärker zum Tragen kommen. Je kleiner der Umfang des Kollektivs wird, um so ungünstiger wirkt sich der Fehlerrahmen der Stichprobenmethoden aus.

Bei forstlichen Inventuren erscheint es am wichtigsten, das betreffende Waldobjekt in seiner Gesamtheit zu betrachten, denn Gesamtvorrat und Zuwachs sind die wichtigsten Stützen der Hiebssatzplanung und Nachhaltskontrolle. Diese Auffassung wird auch in Schweden vertreten und daher die Intensivinventur primär auf den *gesamten Waldvorrat* hin abgestellt. Nach Hagberg geht man davon aus, daß der mittlere Fehler der Totalkubikmasse ± 2 % nicht überschreiten darf und hat als untere Grenze einer nach dem Stichprobenverfahren zu inventarisierenden *Betriebsgröße* 50 ha gefunden. Teilkollektive des gesamten Waldvorrats können etwa Förstereien oder auch Standorteinheiten, Bestockungstypen, örtlich zusammenhängende Waldparzellen oder andere sein. Da der mitteleuropäische Wald meist in Distrikte aufgeteilt ist und diese wiederum je nach waldbaulicher Behandlung in Bestände verschiedener Altersklassen, Holzarten usw., wird als das Ziel einer intensiven forstlichen Inventur vielfach die möglichst genaue Erfassung der Vorratsstruktur *dieser einzelnen Distrikte* angesehen. Im Altersklassenwald Mitteleuropas, vornehmlich in Deutschland, findet man darüber hinaus als Zielsetzung der Inventur gewünschte Zahlenangaben bis zu *einzelnen Beständen* oft mit Flächengrößen von Hektare-Bruchteilen, wobei der Genauigkeitsrahmen um so kleiner sein soll, je wertvoller die Bestände sind.

Diese Forderung allerdings kann die Stichprobeninventur nur unzulänglich erfüllen. Nur exakte Vollaufnahmen können in diesem Falle die gewünschten Genauigkeiten im Argument «Durchmesser» vermitteln.

Ich möchte in dem Zusammenhang die interessante Frage aufwerfen, ob eine intensivere Wirtschaft wirklich eine höhere Genauigkeit von Vorratsinventuren kleiner Bestände erfordert. Ist es nicht viel wesentlicher, von größeren Flächen, etwa dem ganzen Revier, Zahlen zu haben, die mit abgrenzbarer Genauigkeit Auskunft über die Massenhaltigkeit, die qualitative Beschaffenheit und die Zuwachsleistung geben? Ist es nicht dem Intensitätsgrade der Wirtschaft entsprechender, das gesamte Wirtschaftsobjekt mit der größtmöglichen Genauigkeit zu erfassen, weil letzten Endes der jährliche Einschlag, getrennt nach Sortimenten und Qualitäten, die wichtigste aller forstlichen Maßnahmen überhaupt und weil die Grundlage jeder forstlichen Erfolgsrechnung immer der ganze Betrieb ist?

Es scheint fast, als sei in Mitteleuropa die besonders stark entwickelte forstliche Tradition der Forsteinrichtungsmethodik im Augenblick als ein gewisses Hemmnis diesen Gedankengängen gegenüber anzusehen. In dem forstlich hochentwickelten Schweden, dessen südliche Teile sich von der Waldstruktur Norddeutschlands und Dänemarks nicht unterscheiden, hat die intensive Forstwirtschaft weit später als in Mitteleuropa eingesetzt und ist dadurch von einer Tradition nicht so beeinflußt. Vielleicht ist das ein Grund, weswegen dort diese Gedankengänge bis zum Ende durchdacht und erfolgreich in die Praxis umgesetzt wurden. Die Intensivinventur Schwedens betrachtet — wie schon angeführt — als ursprüngliches Kollektiv den Gesamtbetrieb und stellt dementsprechend auch die Stichprobeninventur mit dem geforderten Fehlerrahmen dafür zusammen. Die im Walde vorgefundenen Einzelteile, Bestände, Hiebssklassen usw. werden im Arealexterieur nur taxatorisch, neuerdings auch unter Zuhilfenahme der Winkelzählprobe, behandelt. Dies reicht als Unterlage für die Verteilung des Hiebssatzes auf die einzelnen Forstorte, die sogenannte waldbauliche Einzelplanung, nach dortigen Erfahrungen aus.

In Deutschland liegen für einige größere Privatwaldungen derartige Inventuren vor. Die Genauigkeitsrahmen bei dem Argument Gesamtmasse bewegten sich je nach Reviergröße zwischen 1 und 3 %. Teilkollektive, wir nennen diese Befundeinheiten, in der Größenordnung zwischen 20 und 250 ha haben je nach Probenzahl einen Fehlerrahmen von etwa 5 bis 15 %. Da die einzelne Probefläche im Wald getrennt aufgenommen und verbucht und danach lochkartenmäßig gesondert behandelt wird, ist eine gewünschte Aufgliederung in Teilkollektive, zum Beispiel Standortseinheiten usw., auch nachträglich leicht möglich. Dieses Vorgehen hat den Vorzug großer Elastizität. Da die Erhebung außerdem technisch sehr leicht durchführbar ist, können Aufnahmezeiten und Kosten der Inventur weit niedriger gehalten werden als bei bestandesweisen Inventuren. Die bisherigen Erfahrungen zeigten, daß

die Inventuren auf die den Waldbesitzern wichtigen Fragen ausreichende und oft bessere Auskunft geben als die bisher üblichen Methoden.

b) Zuwachsinventur

Betrachten wir nun die *Zuwachsinventur*. Das wichtigste Kriterium für die forstliche Wirtschaft ist neben Höhe und Qualität des Vorrats der Zuwachs. Um von der ertragstafelmäßigen Einschätzung der Zuwüchse loszukommen, wird das bekannte Verfahren der Vorratsdifferenz nach $Z = V_E - V_A + N$ angewandt. Da der Zuwachs hierbei durch die Differenz zweier mit Fehlern behafteter Größen abgeleitet wird, ist von vornherein eine sehr große Fehlermöglichkeit gegeben, die nur durch entsprechende Größe der Waldfläche und Länge der Periode vermindert werden kann. Außerdem ist die *Nutzung*, also jene Größe, die durch *Vorrats- und Zuwachsvergleich* schließlich beurteilt werden soll, als Komponente bei der Zuwachsberechnung beteiligt. Dieser Umstand vermag einer logischen Überprüfung des Verfahrens nicht standzuhalten. Weiterhin gestattet es Aussagen über den Zuwachs frühestens bei der Zweitinventur.

Will man den Zuwachs gleich bei der Erstinventur erhalten, bietet sich die *Bohrspanstichprobe* hierzu besonders an.

Wiederum ist es H. A. M e y e r, der diese Methode in den letzten Jahren besonders weit entwickelt hat. Die M e y e r sche Zuwachsgerade stellt die stochastischen Beziehungen des Bruthöhendurchmessers zum Stärkezuwachs dar und kann mit jedem gewünschten Genauigkeitsrahmen gemäß Anzahl der Bohrspäne erhalten werden. Die Proben lassen sich in einem Arbeitsgang zusammen mit der Vorratsinventur entnehmen.

Bedient man sich zur Umwandlung der Durchmesserzuwüchse in die gesuchten Massenzuwüchse der *Tariffdifferenzmethode*⁵, deren Unterlagen bei der Vorratsaufnahme mit anfallen, braucht man als lästige Fehlerquellen nicht mehr wie bisher den Anfangsvorrat der Periode und vor allem die Nutzung einzusetzen.

Die Frage, ob die mathematisch-statistische Fehlerberechnung auch für die Bohrspanprobe brauchbar sei, wurde ebenfalls kürzlich untersucht⁶. Von einem Kollektiv von 470 Kiefernstämmen waren sowohl der Stärke- als auch der Massenzuwachs jedes einzelnen Baumes und damit der wahre Zuwachs des Kollektivs bekannt. In 108 verschiedenen Durchgängen wurden Stichproben mit zwischen 19 und 42 schwankenden Probenzahlen aus diesen 470 Stärkezuwüchsen gewonnen und die jewei-

⁵ Vgl. L o e t s c h, F.: Die Tariffdifferenzmethode zur Massenzuwachsermittlung. Ihre Anwendung in der forstlichen Praxis und im Versuchswesen, Hefte 3/4 und 5, Jahrgang 1954, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen.

⁶ Vgl. L o e t s c h, F.: Massenzuwachsermittlung durch Bohrspanproben unter Anwendung mathematisch-statistischer Methoden. Z. F. W., 16, 3, 1953.

lige Zuwachsgerade nach der Methode der kleinsten Quadrate errechnet. Für jeden Durchgang wurden die Fehlerrahmen bestimmt. Von den 108 Durchgängen waren es nur zwei, deren wirkliche Abweichungen die errechneten Fehlerrahmen übertrafen, während es bei einer Unterstellung von 95 % Wahrscheinlichkeit etwa fünf Fälle hätten sein können. Also zeigt sich auch hier die *Brauchbarkeit der statistischen Fehlerkalkulation*. Als Nebenergebnis stellte sich bei dieser Untersuchung heraus, daß eine Schichtung des Kollektivs der Zuwachsträger in *Kronenklassen* für die Zuwachsinventur sehr wirkungsvoll ist.

Da die Fehler des Vorrats und die Fehler bei der Bohrspanprobe sich nach der *Fehlerfortpflanzung* zum Zuwachsfaktor summieren, ist auch der Genauigkeitsrahmen für die Zuwachsinventur feststellbar.

In den von der Bundesforschungsanstalt inventarisierten Revieren bewegten sich die Zuwachsfehler je nach Größe der Befundeinheiten bzw. des Reviers in einem Rahmen zwischen 2 und 10 %, genügten also durchaus jenen Anforderungen, die H. A. M e y e r an eine Leistungskontrolle stellt. Der *tragende* Gedanke der *Leistungskontrolle*, als dessen Schöpfer B i o l l e y anzusehen ist, scheint durch statistische Stichprobenmethoden *gesicherter verwirklicht* werden zu können als mit der Zuwachsberechnung über die Vorratsdifferenzen. Sollen Massenzuwächse nach der Vorratsdifferenzmethode errechnet werden, so ist eine Anwendung der Stichprobenmethode bei Kollektiven, die kleiner als 1000 ha sind, fehlermäßig untragbar. Da die Tariffdifferenzmethode ohne die fehlermäßig ungünstige Vorratsdifferenz auskommt, kann bei der Inventur des *Gegenwartsvorrats* die bisher benötigte und nur durch exakte Vollaufnahme zu erreichende Genauigkeit geringer sein, ohne daß ein nicht mehr tragbarer Anstieg des Zuwachsfehlers befürchtet werden muß. Hierdurch eröffnen sich rückwirkend von der Zuwachsinventur aus erweiterte Anwendungsgebiete für die Stichprobeninventur des Vorrats. So rückt das Element Massenzuwachs durch die Möglichkeit technisch leicht durchführbarer statistischer Erhebung mehr als bisher in den Kreis *praktischer forstlicher Beurteilungsfähigkeit*.

Schlußbetrachtung

Wir sahen, daß mit dem Thema eine Vielfalt von Problemen verknüpft ist. Nach dem derzeitigen Stand von Forschung und praktischer Erfahrung kann festgestellt werden, daß bei Vorrats- und Zuwachsinventuren die mathematisch-statistischen Erfahrungen, insbesondere die Stichprobenmethodik, mit Gewinn anzuwenden sind.

Ihre grundsätzlichen Wesenszüge lassen sich abschließend kurz wie folgt zusammenfassen:

Bei *Großrauminventuren* mit forstpolitischer Zielsetzung führen Stichprobenverfahren unter weitgehender Ausnutzung des Luftbildes

am schnellsten und mit den geringsten Kosten zu Ergebnissen mit verbürgter Genauigkeit. Sie werden bei zukünftigen europäischen Forsterhebungen eine entscheidende Bedeutung erlangen.

Für *Intensivinventuren* sind die Stichprobenverfahren mit Erfolg dort anwendbar, wo die Befundeinheit ausreichende Größe besitzt. Die forstliche Überlieferung Mitteleuropas fordert primär Inventurergebnisse für einzelne kleine Waldteile. Unter diesem Blickwinkel können Stichprobenverfahren für die Vorratserhebung rationell nur in begrenztem Umfang, für die Zuwachsermittlung jedoch auch in weitem Maße Anwendung finden.

Sinnvoller ist es, *primär den Waldvorrat in seiner Gesamtheit* mit größtmöglicher Genauigkeit zu inventarisieren und, vom Großen ins Kleine übergehend, *sekundär* die einzelnen Waldteile zu erfassen; denn der Gesamtbetrieb bildet den Rahmen für nachhaltige Holzerzeugung und Erfolgsrechnung.

Unter einer solchen Grundeinstellung bieten sich für Intensivinventuren des Vorrats, vor allem auch hinsichtlich qualitativer Erfassung, und ebenso für Zuwachsermittlung erfolgversprechende Anwendungsmöglichkeiten der Stichprobenverfahren.

Lassen Sie mich zum Schluß einen Gedanken Ortega y Gassets aussprechen, der mir auch für die Weiterentwicklung forstlicher Inventurmethode wesentlich erscheint:

«Eine Kultur erschöpft sich, wenn sie sich in Ermangelung eigener Leistungen mit einem Kult der Tradition befaßt. Eine Tradition wird jedoch überall dort fruchtbar sein, wo sie den Geist nicht hemmt, ihm hingegen einen festen Halt bietet, von dem aus er zu den neuen Eroberungen fortschreiten kann.»

Résumé

La méthode statistique et son application à l'économie forestière, spécialement aux inventaires de peuplements et aux calculs d'accroissement

Dans la première partie de son exposé, l'auteur donne un bref aperçu de la méthode statistique qui a pour objet la récolte des observations, leur rassemblement et leur présentation sous une forme facilement compréhensible. Il y souligne tout spécialement l'importance de l'échantillonnage en matière forestière.

La seconde partie est consacrée à l'application de la méthode statistique, en particulier de l'échantillonnage, aux inventaires forestiers et à la détermination de l'accroissement. L'auteur termine son analyse par les conclusions suivantes:

Le niveau actuellement atteint par la recherche et l'expérience permet d'affirmer que la méthode statistique, et en particulier l'échantillonnage, peut être appliquée avec succès aux inventaires et à la détermination de l'accroisse-

ment. Son application exige cependant la prise en considération de certains principes.

Lors d'inventaires nationaux destinés spécialement aux besoins de la politique forestière, les différentes méthodes d'échantillonnage alliées à une large utilisation de la photographie aérienne donnent rapidement et avec un minimum de frais des résultats suffisamment exacts. Ces méthodes acquerront lors des futurs relevés européens une importance toute spéciale.

Les méthodes d'échantillonnage sont également applicables avec succès aux inventaires de détail pour autant que l'ensemble ou fraction d'ensemble considéré soit suffisamment grand. Cependant, la structure forestière de l'Europe moyenne exige en premier lieu des inventaires individuels de petites parcelles de forêt. Les méthodes d'échantillonnage appliquées aux relevés de volumes sur pied ne peuvent, dans de telles conditions, être utilisées rationnellement que d'une façon limitée. En revanche, elles sont largement applicables à la détermination de l'accroissement.

Il est préférable de déterminer d'abord, aussi exactement que possible, le volume sur pied d'un ensemble et ensuite d'étudier chaque parcelle séparément, car l'ensemble constitue à la fois le cadre de la production et du contrôle. Sous cette réserve, l'application des méthodes d'échantillonnage offre à l'inventaire de détail du volume sur pied, en particulier à sa détermination qualitative et à celle de son accroissement, de vastes possibilités.

Farron

MITTEILUNGEN · COMMUNICATIONS

Prof. Dr. Hermann Knuchel siebzigjährig!

Am 15. Oktober wurde Prof. Dr. H. Knuchel 70 Jahre alt. Der Jubilar hat sich unmittelbar nach seinem Rücktritt vom Lehramt in San Nazzaro im Kanton Tessin niedergelassen. Gleichzeitig zog er sich aus allen leitenden Stellen forstlicher und holzwirtschaftlicher Vereinigungen zurück. Vielenorts hat dieser Schritt Erstaunen erregt, wurde doch angenommen, daß Professor Knuchel seine großen Kenntnisse und seine reiche Erfahrung auch künftig der bis anhin so leidenschaftlich vertretenen Sache leihen werde. Wer sich jedoch daran erinnert, wie er während seiner aktiven Berufstätigkeit Entschlüsse zu fassen pflegte und welcher Art dieselben waren, dem erscheint das jüngste Verhalten durchaus charakteristisch. Spontan und konsequent, ohne ängstliche Rücksichtnahme und ohne falsche Sentimentalität hat Professor Knuchel je und je gehandelt, auch bei seinem Rücktritt von der Professur für Forsteinrichtung, Forstbenutzung und Waldwertrechnung an der Forstabteilung der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich! Und gerade diese Charaktereigenschaften haben seine zahlreichen Schüler während der 30jährigen Lehrtätigkeit besonders schätzen gelernt. Ja, es darf behauptet werden, daß seine ganze Forscher- und Lehrtätigkeit entscheidend durch sie beeinflusst wurde. — Die schweizerische