

KOMMISSION VII ARBEITSGRUPPE VII-1

Jürgen Schade  
Abt. Luftbildmessung und Luftbildinterpretation  
Universität Freiburg Bundesrepublik Deutschland

EIN ZWEIPHASIGES STICHPROBENSYSTEM FÜR FORSTLICHE GROSSRAUM-  
INVENTUREN, GESTÜTZT AUF IRC-LUFTBILDER 1:50 000 UND ERGÄNZENDE  
TERRESTRISCHE MESSUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

Als Grundlage für die Lösung anstehender Probleme bei großräumigen Waldinventuren in Mitteleuropa erwies sich ein mehrphasiges Stichprobensystem als flexible, exakte und kostengünstige Methode. Durch Übertragen eines orthogonalen Stichproberasters auf die Luftbilder 1:50 000, die individuelle, detaillierte Ansprache der Luftbildmerkmale in wohldefinierten Punkten und die Herleitung von Regressionen zwischen Luftbildvariablen und terrestrischen Messungen erhielt jeder Punkt des flächendeckenden Stichproberasters einen kompletten Satz forstlich relevanter Daten. Als bester Luftbildparameter zur holzartenweisen Schätzung der Vorräte und des Zuwachses erwies sich das Produkt aus Kronenprozent und Alter. Die entsprechenden Korrelationswerte lagen für die Hauptholzarten um  $r = 0,9$ .

Das Verfahren läßt Aussagen auch für kleinere Befundeinheiten ab etwa 20 000 ha zu. Da jeder Punkt des flächendeckenden Netzes einen komplexen Datensatz hat, können durch Poststratifikation praktisch beliebig aufgeschlüsselte Daten ausgegeben werden.

SUMMARY

A TWO-PHASE SAMPLE DESIGN FOR LARGE AREA FOREST INVENTORIES,  
USING AERIAL PHOTOGRAPHS 1:50 000 AND ADDITIONAL GROUND  
MEASUREMENTS

As basis for the solution of current forest inventory problems in Central Europe a multi-phase sample system has been found to be a flexible, exact and expense saving method. The transferal of an orthogonal dot grid on the aerial photographs 1:50 000, the individual and detailed interpretation of the photo variables into well-defined dots, and the deduction of regressions between photo variables and ground measurements provides each dot of the area covering grid with a complete set of relevant data. The product of crown cover in % and age gave the best photo parameter for the estimate of standing volume and increment of each species. The corresponding correlation values for the main species were in the range of  $r = 0,9$ .

The method also can be used for small inventory units of 20 000 hectares and more. Since each dot of the area covering grid has received a complex data set, very detailed data can be compiled by post-stratification.

## MODELLHAFTES TESTGEBIET

Zur operationellen Anwendung des 2-phasigen Inventursystems wurde ein etwa 37 500 ha großes Gebiet im südlichen Schwarzwald (Süddeutschland) ausgewählt, der Waldanteil betrug 22 500 ha. Von der stark wechselnden Holzarten- und Altersstruktur her, den zwischen 400 m und fast 1500 m schwankenden Geländehöhen und den starken Reliefunterschieden her ermöglichte dieser Raum also nicht nur eine Anwendung unter "Laborbedingungen", sondern unter wirklich praxisrelevanten Umständen.

### PHASE 1 INTERPRETATION DER LUFTBILDER 1:50 000

Die Waldgebiete werden flächendeckend mit kleinmaßstäblichen IRC-Luftbildern befliegen. Auf die Luftbilder wird ein orthogonales, geometrisch korrigiertes Stichprobenraster analog der Gauss-Krüger Koordinaten gelegt (Kölbl 1978, Kölbl und Trachsler 1978). Die optimale Anzahl der nötigen Luftbildpunkte und der terrestrischen Stichproben, um einen akzeptierten Repräsentationsfehler der Inventurergebnisse unter ökonomischstem Mitteleinsatz zu erreichen, läßt sich über das Kostenverhältnis und die Korrelation zwischen Luftbildinterpretation und terrestrische Messungen kalkulieren (Loetsch und Haller 1964). Im vorliegenden Fall wurden etwa 1000 Luftbildpunkte interpretiert und 320 Bodenpunkte vermessen.

Die Luftbildinterpretation konzentrierte sich an den Stichprobepunkten auf wenige, aussagekräftige Merkmale, die auch auf den Bildern 1:50 000 klar zu identifizieren waren. Zur Abschätzung der Vorräte wurden die Parameter Kronenprozent (in 5%-Stufen) und Alter (6 Altersklassen) herangezogen. Unter Kronenprozent einer Holzart soll hier ihr über die beschirmte Fläche eingeschätzter Anteil an der Bestandesfläche verstanden werden. Zum Messen des Kronenprozent C wurde ein Raster mit 20 Punkten auf hochtransparenten Mikrofilm kopiert und über den Luftbildpunkt gelegt. Die endültigen Maße des Rasters betrug 1 x 0,75 mm entsprechend 50 x 37,5 m im Gelände. Unter dem Stereoskop wurde entschieden, wieviele Rasterpunkte auf den Kronen der einzelnen Baumarten lagen und welche in Bestandeslücken fielen. Dabei entsprach 1 Punkt einem C von 5%.

Die Ansprache der 6 Altersklassen auf dem Luftbild erfolgte unter dem Stereoskop nach visuellem Eindruck der Baumhöhe, der Stammzahl und der Kronengröße. Vorher wurde an etwa 100 Lernstichproben bekannten Alters die visuelle Klassifizierung trainiert.

Zur Charakterisierung der ökonomischen Zugänglichkeit der Bestände wurde die Rückentfernung jedes Stichprobepunktes zur nächsten LKW-befahrbaren Waldstraße und die Hangneigung des Bestandes erhoben.

Jeder Luftbildpunkt erhielt aus topographischen und thematischen Karten außerdem noch Angaben über Geländeverhältnisse, Waldbesitz und spezielle Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes.

## PHASE 2 TERRESTRISCHE STICHPROBEN

Die Anzahl der nötigen Bodenstichproben läßt sich nach Schätzung von Kostenverhältnis und Korrelation zwischen Luftbildmessung und terrestrischer Messung eines Stichprobepunktes kalkulieren. Im vorliegenden Falle wurden 320 zufällig ausgewählte Photostichproben mit Hilfe der top. Karte 1:25 000 und der Luftbilder zusätzlich im Gelände aufgesucht und vermessen. Vom lokalisierten Stichprobemittelpunkt aus wurden 2 Fluchtstäbe 15 m nach Nord und Süd ausgesteckt. Sie bildeten die Zentren für 2 Winkelzählproben.

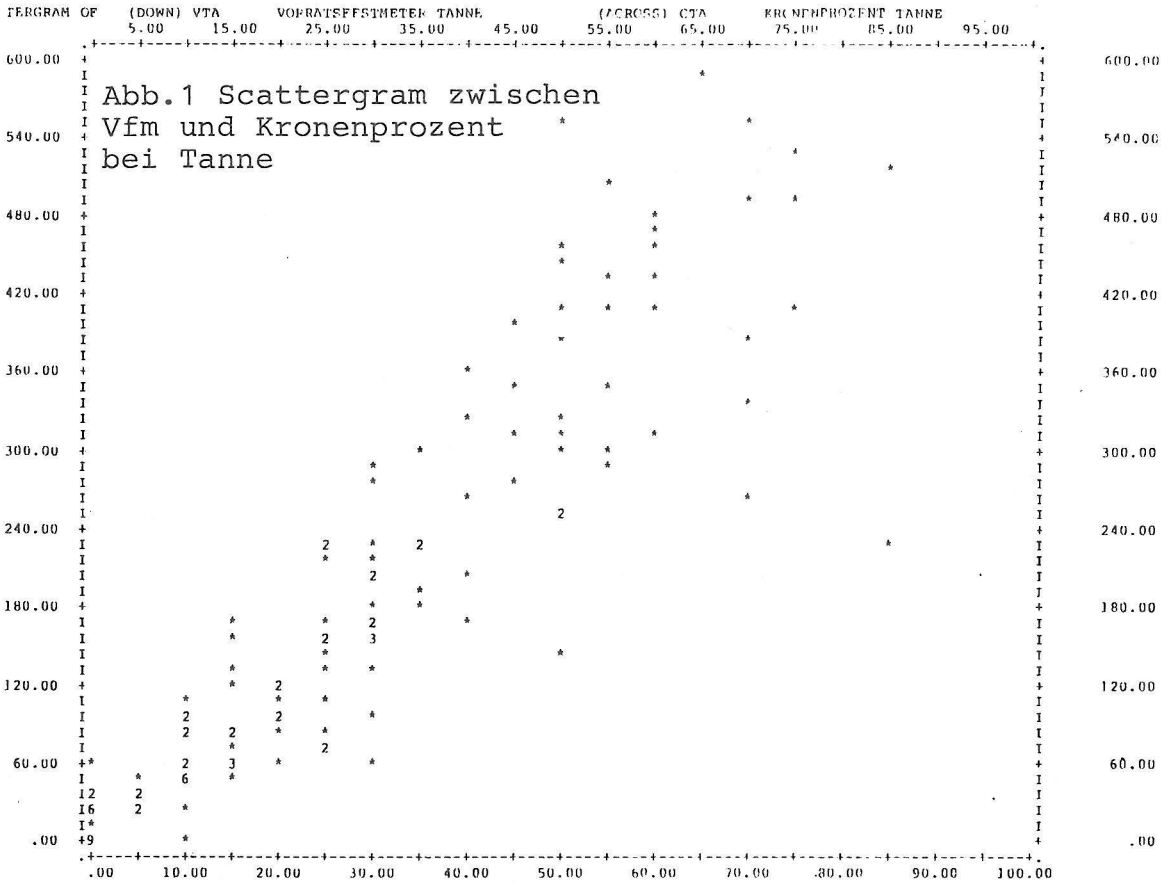
Die Winkelzählprobe ist methodisch das passende Verfahren zur nicht flächengebundenen Luftbildinterpretation. Luftbild- und Bodenflächen müssen sich natürlich entsprechen, ohne daß aber auf den Photos oder im Gelände exakte Grenzen der Probeflächen auszuscheiden sind.

Bei den Winkelzählproben wurden sämtliche zur Vorrats- und Zuwachskalkulation nötigen Messungen durchgeführt, Bohrkerne entnommen, Schälschäden durch Rotwild registriert und die Ergebnisse für jede Bodenstichprobe holzartenweise zusammengestellt. Zum Aufstellen der Regressionen zwischen Luftbildvariablen und terrestrischen Messungen wurden die Vorrats- und Zuwachswerte der beiden Winkelzählproben je Bodenpunkt gemittelt. Die Vorräte je Hektar ließen sich über Formhöhentarif herleiten, der laufende Zuwachs über das jährliche Massenzuwachsprozent nach Bohrspänen (Landesforstverwaltung BaWü 1966).

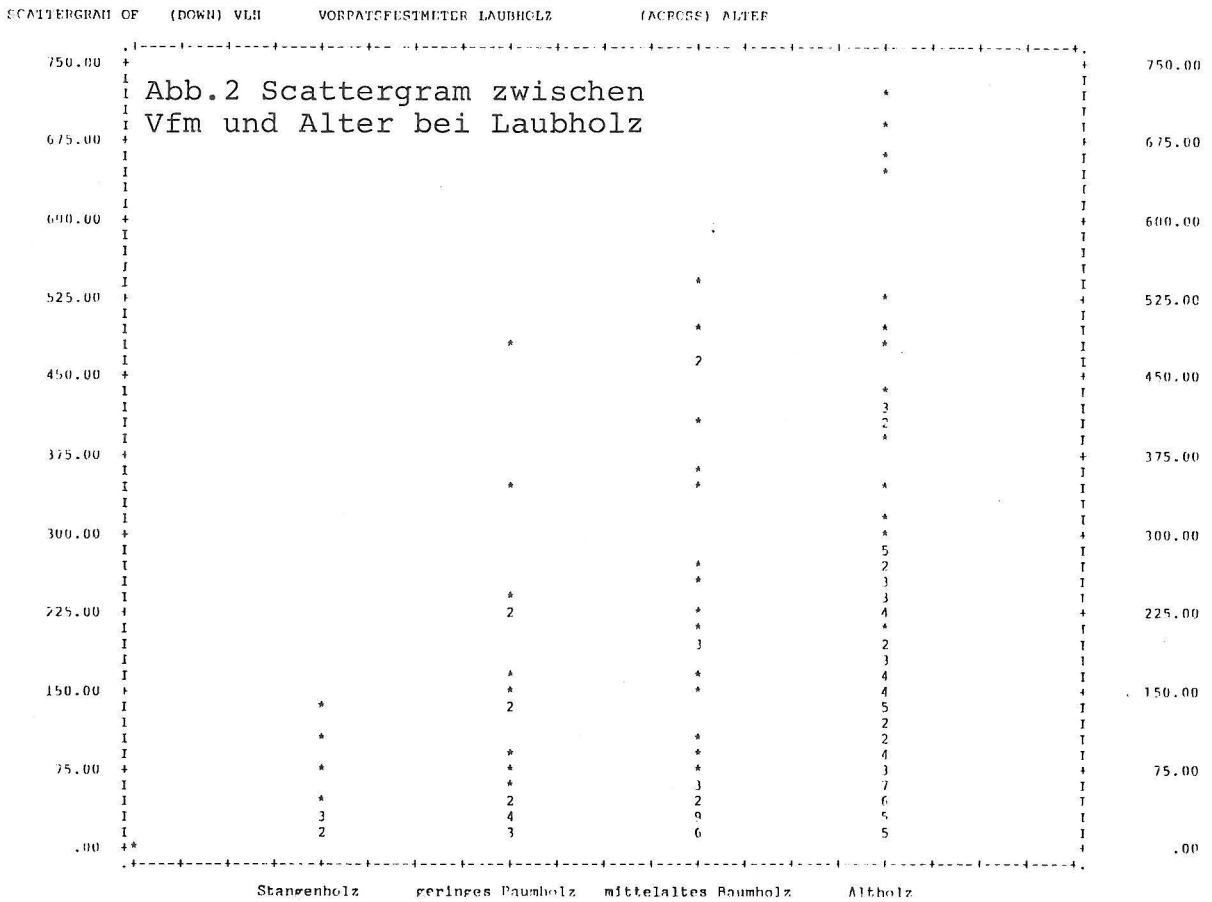
Diese Auswahl an Inventurkriterien sollte nur modellhaften Charakter haben. Das System ist flexibel für die Aufnahme weiterer betriebstechnischer Parameter oder Angaben über den Gesundheitszustand der Wälder.

### DATENVERARBEITUNG, ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN DEN VARIABLEN

Sämtliche Ergebnisse der Luftbild- und Karteninterpretation sowie der Bodenmessungen wurden stichprobenweise abgelocht. Die Datenverarbeitung erfolgte im Rechenzentrum der Universität Freiburg an einer UNIVAC 1100/81. Als Programmsystem wurde SPSS gewählt (Nie e.a. 1975). Zur Veranschaulichung des Zusammenhanges zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen diente die Statistik-Prozedur SCATTERGRAM. Hier werden jeweils 2 Variablen in einer zweidimensionalen Graphik einander gegenübergestellt und auf Korrelation überprüft. Die Abbildungen 1 + 2 zeigen Beispiele der ausgedruckten Scattergramme.



Korrelation r = 0,948



Korrelation r = 0,357

Im Anschluß an die Interpretation der Scattergramme wurde mit der Prozedur REGRESSION eine multiple schrittweise Regressionsanalyse durchgeführt. Bei dieser Prozedur wird derjenige Parameter zuerst in die Regressionsgleichung aufgenommen, der den größten Varianzanteil der abhängigen Variablen erklärt. Es ergaben sich Gleichungssysteme der Form  $y = a + bx_1 + cx_2 + \dots + kx_n$ . Eine Übersicht der schrittweise in die Regression aufgenommenen Parameter, ihre einfachen und multiplen Korrelationskoeffizienten zum Vorrat je Hektar und zum laufenden Zuwachs sowie des zusätzlichen Beitrags jeder Variablen zur Varianzaufklärung gibt Tab.1.

Tab.1 Übersicht der abhängigen und unabhängigen Variablen, ihre einfachen und multiplen Korrelationskoeffizienten

abhängige Var.	unabhängig. Var.	einf. r	mult. r <sup>+</sup>	mult. r <sup>2</sup>	$\Delta r^2$ ++
Vfm/ha Fichte	$C_{Fi} \times \text{Alter}$	0,869	0,869	0,756	0,756
	$C_{Fi}$	0,755	0,878	0,772	0,016
	$C_{Fi}^2 \times \text{Alter}^2$	0,865	0,881	0,776	0,004
Vfm/ha Fi, LÄ, Dg, Kie	$C_{Fi} \times \text{Alter}$	0,873	0,873	0,761	0,761
	$C_{Fi}$	0,757	0,881	0,776	0,015
	$C_{Fi}^2 \times \text{Alter}^2$	0,868	0,884	0,781	0,005
Vfm/ha Tanne	$C_{Ta} \times \text{Alter}$	0,955	0,955	0,913	0,913
	$C_{Ta}^3$	0,782	0,959	0,921	0,008
	$C_{Ta}^2$	0,833	0,962	0,926	0,005
	$C_{Ta}$	0,948	0,964	0,930	0,004
Vfm/ha Laubholz	$C_{Lh} \times \text{Alter}$	0,896	0,896	0,840	0,840
	$C_{Lh}^3$	0,706	0,905	0,818	0,014
	$C_{Lh}^3 \times \text{Alter}^3$	0,747	0,909	0,826	0,008
	$C_{Lh}^2 \times \text{Alter}^2$	0,828	0,911	0,830	0,004
Vfm/ha Buche	$C_{Lh} \times \text{Alter}$	0,828	0,828	0,685	0,685
	$C_{Lh}^3$	0,631	0,842	0,708	0,023
	$C_{Lh}^2$	0,706	0,843	0,711	0,003
	$C_{Lh}$	0,784	0,849	0,720	0,009
	$C_{Lh}^3 \times \text{Alter}^3$	0,668	0,859	0,738	0,018
lZ Fichte	$C_{Fi} / \text{Alter}$	0,750	0,750	0,563	0,563
	$C_{Fi}$	0,743	0,761	0,578	0,015
	$\text{Alter}^3$	-0,534	0,762	0,581	0,003

+ mult. r gibt den gemeinsamen Korrelationswert aller bis dahin aufgelisteten Parameter zum Vorrat/ha bzw. lZ an

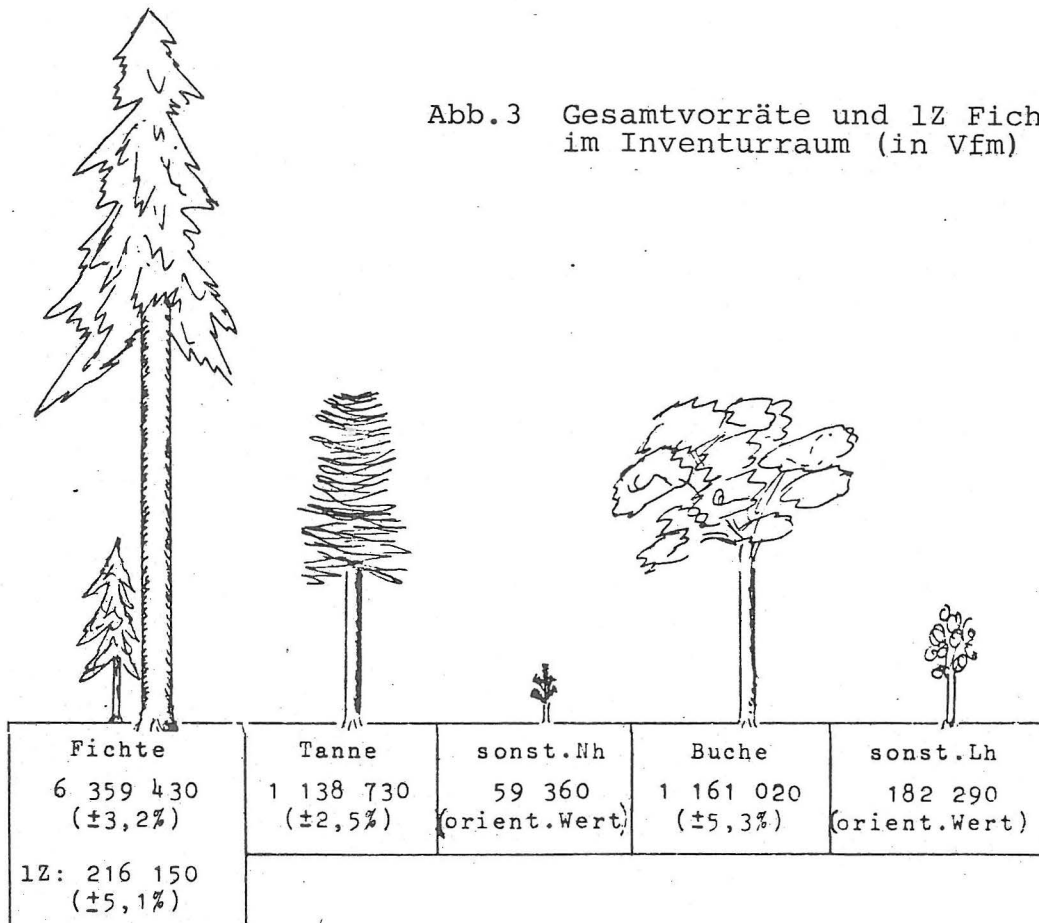
++  $\Delta r^2$  gibt an, inwieweit die neu in die Regressionsgleichung aufgenommene Variable zusätzlich zur Varianzaufklärung beiträgt

Wie Tab. 1 zeigt, waren die Vorräte am straffsten mit dem Parameter Kronenprozent x Alter korreliert ( $r$  zwischen 0,83 und 0,96), der laufende Zuwachs Fichte mit Kronenprozent/Alter ( $r=0,75$ ). Diese Parameter allein klären den Löwenanteil der Varianz, die anderen angeführten Variablen leisteten nur mehr oder weniger bescheidene Beiträge.

Das Produkt aus Kronenprozent und Alter erwies sich als so überzeugender Luftbildparameter zur Vorratsschätzung, daß diese beiden Variablen generell bei mehrphasigen luftbildgestützten Vorratsinventuren aufgenommen werden sollten, unabhängig von der jeweiligen Holzartenstruktur und geographischen Lage des Inventurgebietes. Außerdem konnte demonstriert werden, daß sich durch stichprobenweise Interpretation der kleinmaßstäblichen Luftbilder 1: 50 000 für die Praxis völlig ausreichende Regressionen zwischen Luftbildparametern und Vorrats- und Zuwachswerten aufstellen lassen.

#### GESAMTVORRÄTE DER EINZELNEN HOLZARTEN UND LAUFENDER ZUWACHS FÜR FICHTE IM INVENTURGEBIET

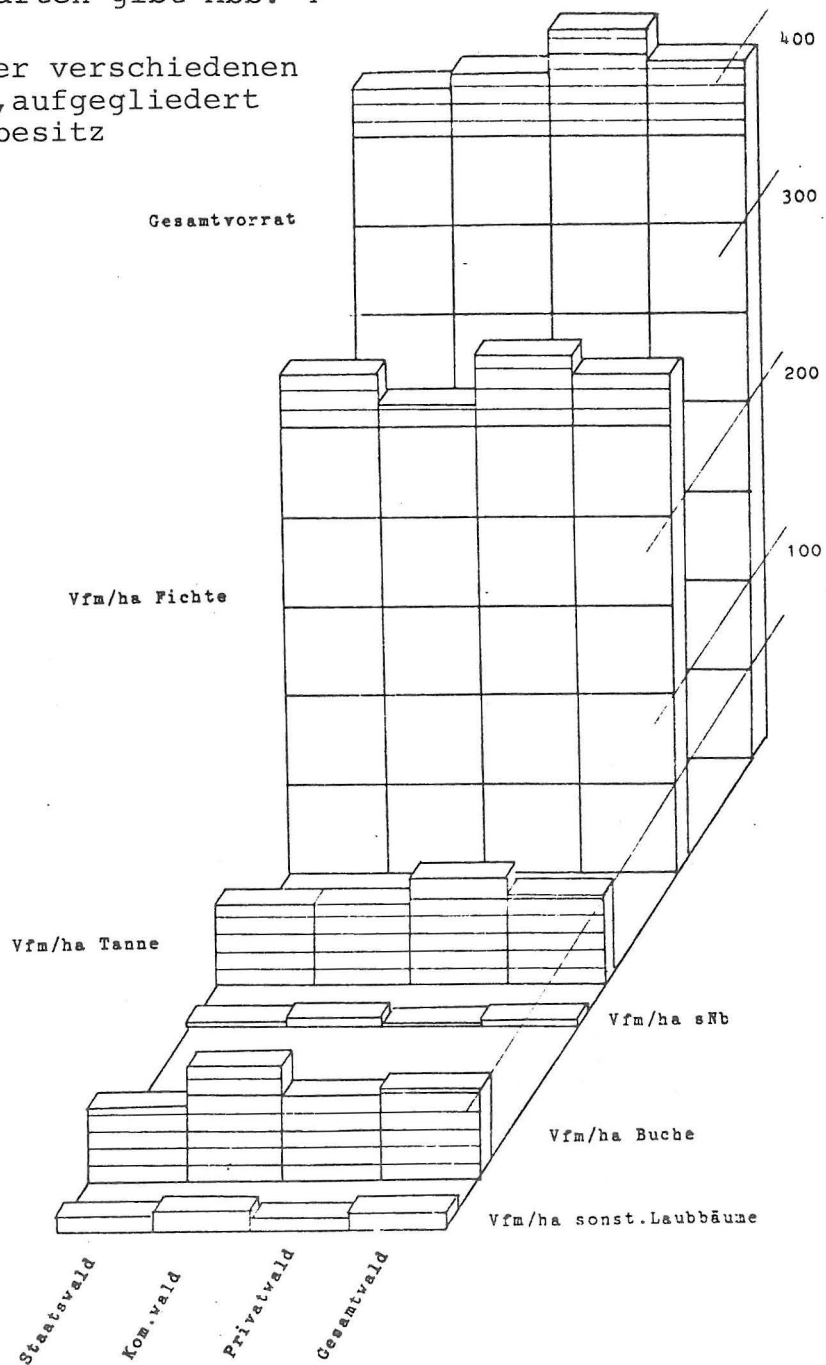
An Hand der aufgestellten Regressionen wurde für jeden Luftbildpunkt holzartenweise der Vorrat/ha und für Fichte der LZ/ha berechnet. Eine Übersicht der Gesamtvorräte und des LZ Fichte im Untersuchungsraum gibt Abb. 3. Die Streuungsberechnungen erfolgten nach den von Loetsch und Haller (1964) für 2-phasige Verfahren aufgestellten Formeln.



## VORRATSSTRUKTUR DER EINZELNEN WALDBESITZARTEN

Der Staatswald nahm im Testgebiet mit 7 675 ha 34,1% der Waldfläche ein. Auf den Kommunalwald entfielen 6 450 ha entsprechend 28,7%, auf privaten Waldbesitz 8 375 ha entsprechend 37,2%. Die Gesamtvorräte verteilten sich etwa proportional der Waldanteile auf die einzelnen Besitzarten, wobei die ha-Werte im Staatswald mit 381 Vfm/ha am niedrigsten, im Kommunalwald mit 390 Vfm je Hektar etwas höher und im Privatwald mit 414 Vfm/ha am höchsten lagen. Der Grund ist beim hohen Anteil vorratsreicher Altbestände im Kommunal- und Privatwald zu suchen. Einen orientierenden Überblick über die Vorratsstruktur bei den einzelnen Besitzarten gibt Abb. 4

Abb.4 Vorräte der verschiedenen Holzarten, aufgliedert nach Waldbesitz



## STAFFELUNG DER VORRÄTE NACH RÜCKEENTFERNUNG UND HANGNEIGUNG

Zum Abschätzen der Rückekosten, der Höhe des ökonomisch zugänglichen Vorrats und der Notwendigkeit eventueller Wegeneubauten sind Informationen über die Aufgliederung der Vorräte auf Rückedistanzen von großem Wert. Eine Staffelung der Vorräte (in Vfm) der wichtigsten Baumarten nach Rückeentfernung gibt Tab. 2:

	<100 m	100-200m	200-300m	300-400m	400-500m	>500 m
Fichte	3 182 310	1 766 360	656 650	345 150	242 650	166 320
Tanne	557 590	300 370	85 840	92 790	56 900	45 080
Laubh.	579 720	450 070	137 490	107 190	48 720	20 000

Bei Fichte lagen 3 182 300 Vfm entsprechend 50% des Gesamtvorrates innerhalb einer Rückedistanz von 100m. Nur 22% der Fichtenvorräte sind weiter als 200 m von der nächsten Waldstraße entfernt. Bei Tanne war die prozentuale Verteilung ähnlich. Nur bei Laubholz war die durchschnittliche Rückeentfernung etwas länger. Hier lagen 579 700 Vfm gleich 43% innerhalb einer Distanz von 100m. Das ist erklärlich, denn Laubholz stockt im Schwarzwald meist auf den etwas weniger erschlossenen Steillagen.

Aufgegliedert nach Waldbesitzarten ergab sich folgendes Bild der durchschnittlichen Rückeentfernung:

Staatswald	125 m
Kommunalwald	122 m
Privatwald	181 m

Im Staatswald und im Kommunalwald war die Erschließung etwa gleich gut, im Privatwald dagegen deutlich schlechter.

Für die Kalkulation der Holzwerbungskosten und der Menge des unter vertretbarem Aufwand nutzbaren Holzes interessieren auch Angaben über die Hangneigung. Die Vorräte der Hauptholzarten wurden deshalb im Tab. 3 nach Neigungsstufen aufgelistet (in Vfm)

	0 - 5°	6 - 10°	11-20°	21-30°	31-45°	>45°
Fichte	697 100	1 529 130	2 130 060	1 487 890	312 500	22 750
Σ %	11 %	35 %	71,3 %	94,7%	99,6%	100%
Tanne	43 760	127 500	359 910	374 090	207 980	25 490
Σ %	3,8%	15 %	46,6 %	79,5	97,8%	100%
Laubh.	26 550	63 450	392 510	536 940	285 480	38 380
Σ %	2,0%	6,7%	35,9 %	75,9%	97,1%	200%

Bei der Aufgliederung der Holzvorräte auf Hangneigungen ließ sich ein deutliches Vorherrschen der Fichte in ebenen und leicht geneigten Lagen erkennen, während sich Tanne und vor allem das Laubholz auf die steileren Lagen konzentrierten. Auf Hängen unter 20 Grad Neigung stockten 71,3% der Fichtenvorräte, aber nur 46,6 % der Tannen- und 35,9 % der Laubholzvorräte.



## ERFASSUNG VON WALDSCHÄDEN, DARGESTELLT AM BEISPIEL DES SCHÄLSCHADENS DURCH ROTWILD

Als Beispiel für eine Erfassung von Schäden sowie weiterer negativer oder positiver Qualitätsmerkmale wurden die Schälsschäden an jungen Fichtenbeständen im von der Inventur erfaßten Teil des Rotwildgebietes Südschwarzwald abgeschätzt.

In den meisten Fällen sind Stammschäden oder dadurch verursachte Vitalitätsunterschiede nicht auf den Luftbildern erkennbar. So konnte auch bei dieser Inventur kein verlässlicher Luftbild-Parameter gefunden werden als Indiz für Schälsschäden. Das Luftbild leistete jedoch gute Dienste bei der Ausscheidung und flächenbestimmung potentiell geschädigter Stangenhölzer und geringen Baumhölzer im Rotwildgebiet.

Von den insgesamt 1225 ha durch Bodenstichproben erfaßten Stangenhölzern und jungen Baumhölzern wiesen 400 ha + 8% Schälsschäden auf. Die Streuung wurde nach der von Zöhler (1978) für regelmäßige Punkteraster empirisch entwickelten Tabelle ermittelt. In den geschädigten Beständen waren durchschnittlich 44,4% der Stämme geschält. Im Durchmesserbereich unterhalb des Grundflächenmittelstammes wiesen 47,3% aller Stämme Schäden auf, darüber nur 37,2%. Der Hauptbestand war also etwas weniger geschält als der Nebenbestand. Sämtliche Werte beziehen sich nur auf die durch terrestrische Stichproben erfaßte Bestände.

Der Schälsschaden konnte auf Grund des relativ geringen Stichprobeumfangs mit gutem Gewissen nicht weiter nach Alter und Schwere differenziert werden. Wünscht man für ein bestimmtes Gebiet oder ein Inventurmerkmal wie die Rotwildschäden intensivere Aufnahmen, ließe sich die Anzahl der Stichprobepunkte entsprechend verdichten.

Gegebenenfalls lassen sich auch durch regionales oder objektbezogenes Verdichten der terrestrischen Stichproben nicht-luftbildsichtbare Merkmale mit beliebiger Genauigkeit aufnehmen.

### SCHLUSSBEMERKUNGEN

An den hier aufgeführten Beispielen ließ sich demonstrieren, daß eine 2-phasige luftbildgestützte Waldinventur durchaus in der Lage ist, auch den detaillierten komplexen Informationswünschen einer mitteleuropäischen Forstwirtschaft gerecht zu werden. Die Liste möglicher Inventurkriterien ließe sich beliebig ergänzen, das System ist offen für weitere Merkmale von forstlichem oder überhaupt vegetationskundlichem, an der Erhaltung natürlicher Ressourcen orientiertem Interesse.

Durch Vorschalten einer Interpretation von Landsat MSS Daten des Inventurraums als zusätzliche Inventurphase, Auswahl einiger Flächen davon als Sekundärstichproben (zweckmäßigerweise pps-Auswahl proportional zur Waldfläche) und Konzentration der Befliegung, Luftbildinterpretation und terrestrischen Stichproben auf diese Sekundärstichproben ließe sich die Effektivität dieses Mehrphasen-Systems sicher noch steigern.

## LITERATUR

- HILDEBRANDT, G., 1964: Forstliche Großrauminventuren, AFZ S. 100 - 107
- HILDEBRANDT, G., 1973: Zum Einsatz von Erderkundungssatelliten für supranationale Inventuren der Wälder und landwirtschaftlichen Nutzflächen. Raumfahrtforschung, 17, S. 164-168
- KÖLBL, O., 1978: Realistische Landnutzungserhebungen. BuL 1, S. 4 - 11
- KÖLBL, O., und TRACHSLER, H., 1978: Großräumige Landnutzungserhebungen mittels stichprobenweisen Auswertungen von Luftbildern. Dokumentation des ORL-Institutes der ETH Zürich, DISP Nr. 51
- LANDESFORSTVERWALTUNG Baden-Württemberg, 1966: Hilfstabellen für die Forsteinrichtung, Teil 1 und 2, Stuttgart.
- LOETSCH, F. und HALLER, E., 1964: Forest Inventory, Vol.1, München, Basel, Wien
- NIE, N. e.a., 1975: SPSS, Statistical Package for the Social Sciences. Mc. Graw-Hill Book Company
- POSO, S., 1972: A method of combining photo and field samples in forest inventory. Com. Inst. For. Fenn. Nr. 76.1, Helsinki
- SCHADE, J., 1978: Entwurf eines mehrstufigen Stichprobenmodells für großräumige Waldinventuren mit Hilfe von Fernerkundungsaufzeichnungen. Proc. ISP und IUFRO-Symp. Freiburg
- ZÖHRER, F., 1978: On the precision of dot grid estimates. Resources Inventory Notes. USDI, BLM-12