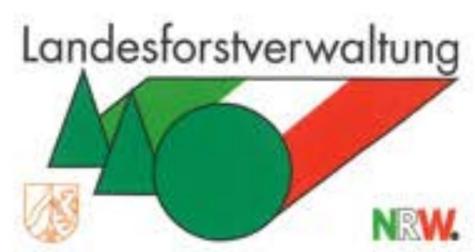


Testlauf zur
Landeswaldinventur
 -Konzeption, Verfahrenstest, Ergebnisse-



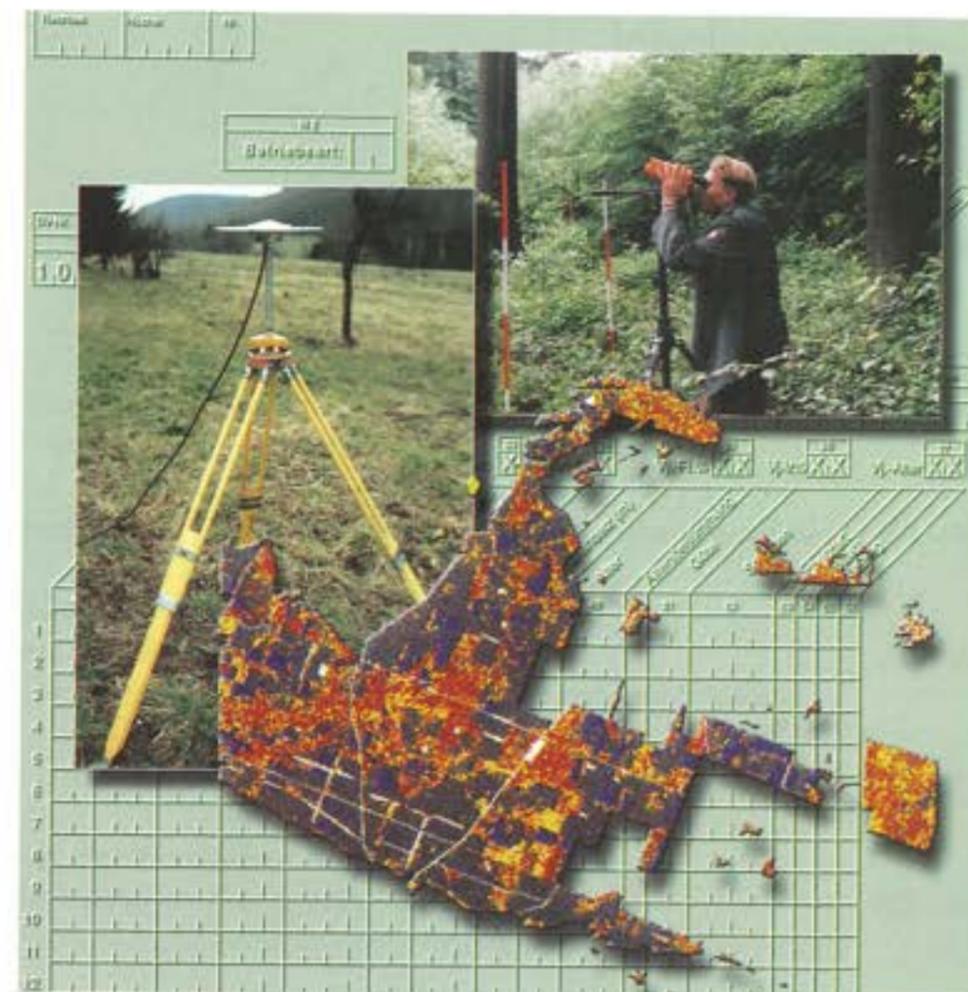
Landeswaldinventur

Herausgeber: Landesforstverwaltung NRW
Schwannstr. 3,
40476 Düsseldorf
Dezember 1997

Gestaltung: S.P.E.C.K.I.N
45481 Mülheim an der Ruhr

Druck: Becker Druck GmbH, Arnsberg

Gedruckt auf umweltschonendem Papier.
Es besteht zu je 50% aus Recyclingfasern und chlorfrei
gebleichten Zellstoffen.



Testlauf zur

Landeswaldinventur

-Konzeption, Verfahrenstest, Ergebnisse-

Heft 5
der Schriftenreihe der
Landesforstverwaltung Nordrhein-Westfalen

Inhaltsverzeichnis

	Seiten
Einleitung	
1. Überblick über nationale Waldinventuren in Europa Overview of European National Forest Inventories	8 - 19
2. Das Aufnahmeverfahren der Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen	20 - 29
3. Einsatz von GPS beim Testlauf zur Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen Application of GPS during the test run of State Forest Inventory Nordrhein-Westfalen	30 - 33
4. Erste Ergebnisse des Testlaufes zur Landeswaldinventur	34 - 51
5. Methodenerprobung der Finnischen Nationalen Multiquellen-Waldinventur in Nordrhein-Westfalen Testing Finnish Multi-Source National Forest Inventory Method in Nordrhein-Westfalen	52 - 67
6. Waldentscheid aus Orthophotokarten	68 - 78
7. Bundeswaldinventur II	79 - 89
8. Zusammenfassung der Bundes- und Länderaspekte	90 - 92
9. Testinventur der Wälder des Landes Nordrhein-Westfalen auf Basis von Satellitendaten, Ergebnisse	93 - 115
10. Verdichtung des Stichprobenrasters aus dem Testlauf für eine Betriebsinventur im Staatswald des Landes NRW	116 - 122
11. Anwendungsergebnisse des Testlaufes zur LWI im Staatswald	123 - 133
Danksagung	134

Einleitung

Die Forstbehörden des Landes haben mit der Neufassung des Landesforstgesetzes im Jahre 1995 den Auftrag bekommen, eine Forstinventur in Nordrhein-Westfalen durchzuführen.

Moderne Forstinventuren nutzen Daten unterschiedlicher Quellen (Multiquelleninventur). Diese Daten sollen nicht nur forst- und holzwirtschaftliche Unternehmen in die Lage versetzen, Antworten auf Fragen zu finden, die der Weiterentwicklung ihrer Betriebe dienen. Sie sollen auch der Gesellschaft und der Politik Rückschlüsse auf allgemeine forstwirtschaftliche aber auch auf ökologische Belange erlauben, insbesondere auf Fragen der nachhaltigen Bewirtschaftung, Nutzung sowie Entwicklung der Wälder. Biodiversität, Waldfunktionen und Funktionsüberlagerungen auf ein und derselben Fläche sind wichtige Stichworte. Die für forstpolitische Entscheidungen wichtigen Strukturen des Waldbesitzes, aber auch des Waldes selbst, sollen erkennbar werden.

Das Informationsbedürfnis kann auch hier nur mit einem begrenzten Aufwand befriedigt werden. Dazu sind unterschiedliche Inventurmethode miteinander verglichen worden. Die Dichte der Aufnahmepunkte - bezogen auf die jeweilige Aussageeinheit - wurde in einem Testlauf an terrestrisch erhobenen Daten des Staatswaldes, des Lippischen Landesverbandes und des Kommunalverbandes Ruhrgebiet überprüft. Zur Qualitätsprüfung wurden diese Ergebnisse mit den vorhandenen Forstplanungsdaten verglichen. Schließlich konnte mittels eines neuen Verfahrens, das von der Finnischen Forstlichen Versuchsanstalt entwickelt worden ist, geprüft werden, welche Informationsgehaltsverdichtung bei gegebenen Stichprobendichten bzw. welche Stichprobenpunktverminderungen bei vorgegebenem Informationsgehalt mittels der Nutzung von Fernerkundungsmethoden (Satelliteninventur) erreicht werden konnte.

Das vorliegende Heft zeigt anhand der Vorträge des Eröffnungssymposiums von Horn-Bad Meinberg die Inventurpraktiken in Europa auf, erläutert die Methodik von Nordrhein-Westfalen und stellt die gewonnenen Informationen, beispielhaft für den Staatsforst Nordrhein-Westfalen dar. Die Ergebnisse der Testläufe wurden genutzt, um den unmittelbar im Jahre 1997 noch anstehenden Beginn des Hauptlaufes der Landeswaldinventur zu konzipieren.

Allen Beteiligten gilt es für Ihr Engagement zu danken.



Überblick über nationale Waldinventuren in Europa^(*)

Versuch einer vergleichenden Gegenüberstellung

Prof. Dr. Jaques Rondeux^(**)

1. Einleitung

Alle Mitgliedsstaaten der Gemeinschaft verfügen über Waldflächeninventuren für ihre jeweiligen Staatsgebiete. Die zur Erstellung dieser Statistiken angewendeten Methoden bzw. Verfahren sowie Detaillierung, Genauigkeit und Aktualität der Informationen unterscheiden sich bisweilen von Land zu Land beträchtlich.

Es ist jedoch festzustellen, daß alle Inventuren immer mehr darauf bedacht sind, objektive und zuverlässige Daten über die vorhandenen Waldbestände und deren Produktivität zu liefern, um die Forstwirtschaft betreffende politische Entscheidungen auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene zu ermöglichen.

Diese Arbeit gibt einen Überblick über die Daten der forstwirtschaftlichen Ressourcen und die zu ihrer Erfassung herangezogenen Methoden in verschiedenen europäischen Ländern. Sie umfaßt außerdem Informationen über die Möglichkeiten einer vergleichenden Gegenüberstellung und einige für die Zukunft gedachte Empfehlungen.

2. Kurzbeschreibung der von den Mitgliedsstaaten benutzten Waldinventuren

Alle europäischen Länder arbeiten mit Forststatistiken bzw. nationalen Waldinventuren auf der Basis statisti-

scher Verfahren und gelegentlich ausgehend von Forsteinrichtungsinventuren.

Im allgemeinen hat die relative Bedeutung der Waldflächen in den verschiedenen Ländern einen wesentlichen Einfluß auf die Art und Weise, wie zusätzliche Informationen und Daten über die Waldressourcen erfaßt werden.

Wir haben Informationen über die nachfolgend genannten 15 EU-Länder gesammelt: Österreich, Belgien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Portugal, Spanien, Schweden und das Vereinigte Königreich (UK) (siehe Anhang 1).

Wie ersichtlich, wird in allen europäischen Ländern nach verschiedenen Methoden gearbeitet; Fragebögen, Datenbank-Aktualisierung und Inventuren auf der Basis von statistischen Erhebungen und mathematischen Berechnungen.

3. Beurteilung der vorhandenen Waldstatistiken

Ein Versuch, von getrennten Inventuren abgeleitete Waldstatistiken miteinander zu verschmelzen, wäre wirklich lohnenswert, jedoch sollten hierbei 3 Punkte untersucht werden:

- die Zuverlässigkeit
- die Aktualität
- die Vergleichbarkeit der Daten.

3.1 Zuverlässigkeit der Waldstatistiken

Die Mängel allein auf der Basis von Fragebögen erstellter Statistiken werden zu einem wesentlichen Teil von den Absichten und Ansichten der Befragten beeinflusst.

Wenn auch Waldstatistiken auf der Basis von auf der Betriebsebene erfaßten Daten für Zwecke der Forstverwaltung unstrittig eine wichtige Informationsquelle darstellen, so dürfte dennoch offensichtlich sein, daß die zusammengefaßten Forsteinrichtungsdaten im Hinblick auf Zuverlässigkeit nicht die Qualitätskriterien erfüllen, die bei regionalen und nationalen Waldstatistiken unerlässlich sind. Die Anwendung derartiger Ergebnisse muß auf die untersuchten einzelnen Forstwirtschaftsunternehmen beschränkt bleiben. Andererseits ist es erforderlich, daß regionale und nationale Statistiken über Waldreserven im Rahmen von zweckgebundenen, objektiven und statistisch fundierten Inventuren erstellt werden müssen.

In dieser Hinsicht verfügen nur einige Mitgliedsstaaten zur Zeit über „zuverlässige“ Waldstatistiken.

Zuverlässigkeit der Waldstatistiken

Belgien
Deutschland (alte Bundesländer)
Spanien
Frankreich
Griechenland
Italien
Niederlande
Österreich
Finnland
Schweden

3.2 Aktualität der Daten

Einige der Waldstatistiken, die den vorstehend erwähnten Zuverlässigkeitskriterien genügen, datieren leider bis in die 60er und 70er Jahre zurück und spiegeln die derzeitige Situation nicht wider. Angesichts der relativ langsamen Änderung der Waldreserven innerhalb der EU (im Gegensatz beispielsweise zu den sich für die Holzindustrie oder den Holzhandel negativ auswirkenden Schwankungen) wird bei den nationalen Waldinventuren allgemein von einer Periodizität von 10 Jahren ausgegangen.

Sieht man alle vor 1985 gesammelten Inventurdaten als unzuverlässig an, so kann davon ausgegangen werden, daß bei Zusammenfassung der Kriterien der Zuverlässigkeit und der Aktualität die nachstehend genannten Länder über geeignete Waldstatistiken verfügen.

Zuverlässigkeit und Aktualität

Geeignete Waldstatistiken

Deutschland (alte Bundesländer)
Spanien
Frankreich
Österreich
Finnland
Schweden

3.3 Vergleichbarkeit der Waldstatistiken

Die vergleichende Gegenüberstellung und eine Zusammenfassung von

Waldstatistiken auf der Basis verschiedener Inventuren sind nur unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- identische Definitionen des Gegenstands der Inventuren,
- kompatible Klassifizierungskriterien und
- konvertible Maßeinheiten.

1. Definition des Begriffs „Wald“

Tatsächlich gibt es keine gebräuchliche Standarddefinition des Begriffs „Wald“, obwohl eine objektive, praktische und eindeutige Definition des Begriffs „Wald“ im Rahmen einer Waldinventur wichtig ist. Die FAO empfiehlt die Anwendung von Schwellenwerten in Bezug auf Flächenausdehnung und Kronenüberschirmung: Wald wird als bewaldetes und forstwirtschaftlich verwaltetes Gelände definiert, das eine Größe von mindestens 0,5 ha hat und auf dem sich Bäume mit einer Kronenüberschirmung von mindestens 20 % befinden.

Obwohl die Definition des Begriffs „Wald“ in den Ländern fast gleich ist, variieren die Schwellenwerte beträchtlich:

- Mindestfläche von 0,05 ha bis 0,5 ha
- Abstand von Krone zu Krone: 10 m bis 30 m
- Kronenüberschirmung: 5 % bis 30 %.

Die Auswirkung abweichender Definitionen des Begriffs „Wald“ auf die Inventurergebnisse sollte nicht unterschätzt werden. Die bei den verschiede-

nen nationalen Waldinventuren berücksichtigten Walddefinitionen (Meßnormen) weichen so beträchtlich voneinander ab, so daß sich eine einfache Zusammenfassung der Ergebnisse von selbst verbietet.

2. Für Statistiken herangezogene Klassifizierungskriterien

Waldstatistiken beschränken sich in der Regel nicht nur auf Waldflächendaten. Allgemein werden die folgenden Klassifizierungskriterien herangezogen:

- Eigentumskategorien und Betriebsgröße
- Waldtypen und Betriebsarten
- Waldfunktionen.

Bei Eigentumskategorien und Betriebsgrößen wird in den Waldstatistiken fast aller Mitgliedsstaaten zwischen mindestens 3 klassischen Eigentumskategorien unterschieden: Staatsforsten, Forsten im Besitz von Gemeinden oder sonstigen öffentlichen Körperschaften, Forsten im Privatbesitz.

Die Aufschlüsselung der Waldfläche nach Betriebsgrößen liefert wertvolle Strukturdaten. Sie ist jedoch nur bei einigen nationalen Waldinventuren wie zum Beispiel denen in Deutschland, den Niederlanden, Finnland und Schweden möglich.

Was die Waldtypen und Betriebsarten angeht, so besteht die Möglichkeit, die benutzten Kategorien einer der 3 wichtigsten Betriebsarten Hochwald, Niederwald und Mittelwald zuzuordnen. Leider ist dies im Hinblick auf Waldty-

^(*) Diese Arbeit wurde anlässlich des Symposiums zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (5./6. März 1996) in Horn-Bad Meinberg (Deutschland) vorgetragen.

^(**) Landwirtschaftliche Fakultät, Gembloux, Fachbereich Forstwirtschaft, Gembloux (Belgien)

pen ziemlich schwierig. Die Vorstellung hinsichtlich Struktur, Zusammensetzung, Ursprung und Entwicklungsstufe sind von Land zu Land sehr verschieden.

Die Waldfunktionen betreffend ist es schwierig, diese Funktionen objektiv und reproduzierbar zu beurteilen. Bei klassischen Waldinventuren besteht die Tendenz zur Vernachlässigung dieses Kriteriums, doch wird die Bewertung dieser Daten in der Zukunft angesichts der multifunktionalen Rolle der Forste und Wälder vor allem unter den Aspekten von Produktion, Erhaltung, Schutz und Aufforstung immer mehr an Bedeutung gewinnen.

3. Vorrat, Zuwachs und Nutzung

Diese Kriterien werden in der Regel je Baum errechnet, wobei die Baumvolumen häufig aus Volumentabellen auf der Basis von Durchmesser- und Höhenmessungen abgeleitet werden. Bisweilen erfolgt eine Berechnung auf der Grundlage einfacher Bestandsschätzungen.

Die den Zuwachs betreffenden Daten werden durch Stichproben (wiederholte Messungen an permanenten Probeflächen) oder durch Bohrungen (Spanien, Frankreich, Italien, Portugal) erfaßt. Durch wiederholte Messungen (Österreich, Finnland, Schweden) können nur der Gesamtwuchs oder der laufende durchschnittliche Jahreswuchs bestimmt werden.

Was die Nutzung angeht, so stehen zuverlässige Nutzungsdaten nur bei

Waldinventuren zur Verfügung, bei denen mit permanenten Stichproben gearbeitet oder zu Stumpfanalysen (Frankreich, Österreich, Finnland, Schweden) übergegangen wird.

4. Situation der Waldstatistik innerhalb der EU

Auf der Ebene der Gemeinschaft sind die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Statistiken über Waldressourcen und in einem gewissen Umfang auch der Bereich der Forst- und Waldwirtschaft unvollständig und sollten im Rahmen einer gemeinsamen Forstwirtschaftspolitik nur mit Vorsicht benutzt werden.

Die Informationen sind mit dem einen oder anderen der nachstehenden Mängel behaftet:

- ★ **Informationslücken:** diese sind auf sowohl territorialer als auch thematischer Ebene zu verzeichnen;
- ★ **fehlende Vergleichbarkeit:** die Gründe hierfür sind abweichende Definitionen des Begriffs „Wald“ als solcher, die herangezogenen Klassifikationskriterien und Beobachtungsparameter oder sehr unterschiedliche Inventurzeiträume;
- ★ **mangelnde Zuverlässigkeit:** nicht alle Mitgliedsstaaten arbeiten mit statistisch einwandfreien und objektiven Methoden. In keinem Fall ist die Genauigkeit (Standardfehler) der resultierenden Zahlen quantifizierbar.

4. Der Zukunft entgegen

Die Anwendung einer einzigen Inventurmethode innerhalb der Gemeinschaft wird wahrscheinlich ein Traum bleiben. Es gibt jedoch eine Alternative: das allgemein bekannte EFICS („European Forest Information Communication System“), dessen Zielsetzung es ist, im Rahmen nationaler und regionaler Waldinventuren bereits gesammelte Daten aufzubereiten, abzustimmen, zu klassifizieren und zu verarbeiten.

EFICS

Das geplante System ist dazu gedacht:

- ★ vorhandene Daten zu berücksichtigen, die vom Amt für Statistik der EU gesammelt wurden,
- ★ in den Mitgliedsstaaten zur Verfügung stehende Informationen und insbesondere Daten aus den nationalen Waldinventuren zu nutzen und
- ★ den Bereich der Forstwirtschaft und deren Entwicklung betreffende Daten zu sammeln, zu koordinieren, zu standardisieren und zu verarbeiten.

Eine europäische Waldinventur als Zielsetzung

- ★ Systematische und gleichmäßige Verteilung von systematischen Stichproben
- ★ Möglichkeit der Abstimmung der Probennahmehäufigkeit mit nationalen und regionalen Erfordernissen

- ★ Benutzung von zu Clustern zusammengefaßten Stichproben
- ★ Anwendung einer einheitlichen Inventurmethode
- ★ Benutzung identischer Inventurverfahren und Meßnormen
- ★ Möglichkeit der Integration von Daten über die Waldinfrastruktur, ökologischen Daten, ...
- ★ Benutzung genormter Algorithmen und statistischer Fehlerbestimmungsmethoden
- ★ Gleichschaltung der Inventurzeiträume.

Anhang Waldinventuren in Europa im Überblick



BELGIEN (WALLONISCHER TEIL)

INITIATOR
Landwirtschaftliche Fakultät Gembloux:
1980, 1990, ...
Fachbereich Natur & Forsten: 1996 ...

INVENTURGEGENSTAND
Waldflächen > 0,10 ha, lineare Bepflanzung, Pappeln

METHODE

- ★ Systematische Stichprobe
- ★ Rechteckiges Raster 1 km x 0,5 km (1 Punkt / 50 ha)
- ★ Luftaufnahmen (Infrarot, 1 : 25.000)
- ★ Karten 1 : 25.000 ,
- ★ 4 konzentrische Probekreise
R = 18 m, 9 m, 6 m, 2,25 m

VARIABLEN

c1,5, h, Alter
forstliche und ökologische Daten

STATUS

kontinuierlich, GIS
Zyklus von etwa 10 Jahren: 1994, 2004,
10 % / Jahr - Region



DÄNEMARK (1)

INITIATOR
NFS (Nationale Waldstatistik) (1990) /
Regierung

INVENTURGEGENSTAND
Eigentumsverhältnisse > 0,5 ha

METHODE

- ★ Fragebogen

VARIABLEN

Fläche, Baumarten, Altersklassen,
Ertragsklassen, Vorräte



DÄNEMARK (2)

INITIATOR

BLD (Bureau of Land Data = Amt für Landdaten) und NFNA (Nat. For. and Nat. Agency = Nationales Amt für Forstwirtschaft und Natur).

INVENTURGEGENSTAND

Waldflächen > 1 ha; 20 m Breite;
Bestandesdichte > 50 %.

METHODE

- ★ <<Inventur>>: 1979-1982
- ★ Analyse durch GIS unter Benutzung von Informationen, die von Unterabteilungsebenen stammen

VARIABLEN

Baumarten, Alter, Ertragsklasse

STATUS

Regelmäßige Aktualisierung
Verknüpfung mit Forsteinrichtung



DEUTSCHLAND

INITIATOR

1. Nationale Waldinventur (1986-1989)
<<Bundeswaldinventur>> - <<Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten>>

INVENTURGEGENSTAND

Alle Waldflächen in einer Größe von > 0,01 ha, 10 m Breite

METHODE

- Systematische Stichprobe
- quadratisches Raster 4 x 4 km (für <<Trakte>>)
- <<Trakt>> = Linientaxation entlang den Seiten eines Quadrats
 - Quadratseitenlänge 150 m
 - Winkelzählproben an den Ecken (BAF = 4 m² / ha)
 - konzentrische Probekreise an den Ecken von R = 4 m, 2 m, 1 m

VARIABLEN

Linientaxation; Eigentumsverhältnisse, Betriebsart, Waldtyp, alter, Wegedichte d, h Probeflächen an den Ecken

STATUS

Kontinuierlich (Zuwachs, Einwuchs, Mortalität, Nutzung)
Bundeswaldinventur II in naher Zukunft.



FINNLAND

INITIATOR

8. NFI (Nationale Waldinventur) (Erstmalig 1921)
The Finnish Forest Research Institute

INVENTURGEGENSTAND

Alle Waldflächen (potentieller Ertrag > 1 m³/ha/Jahr)

METHODE

- Kombination von terrestrischen Stichproben (seit 1992), Satellitenbildern (Landsat TM und SPOT) und digitalen Kartendaten
- Systematische Probennahme (<<Trakte>>) mit Verteilung innerhalb eines nach NS/OW ausgerichteten Rasters von 7 x 7 km
- Ein Trakt besteht aus 15 Winkelzählproben: Abstand 300 m entlang 2 angrenzenden Seiten eines Quadrats (Seitenlänge 2.100 m)
- 3 Winkelzählproben sind dauerhaft markiert
- An jedem 7. Musterbaum: detaillierte Messungen

VARIABLEN

d, h, Alter
ökologische und forstliche Parameter

STATUS

Kontinuierliche Aktualisierung nach einem Dynamisierungsmodell.



FRANKREICH

INITIATOR

IFN (Nationale Waldinventur) (1960, 1970, ...),
3. Zyklus, 1986

INVENTURGEGENSTAND

<<forêts>> > 4 ha, <<boqueteau>>

0,5 ha, <<bosquets>> > 0.05 ha ~

Waldflächen: Kronenüberschirmung > 10 %, mindestens N = 500, BHB = 7,5 cm + getrennte Inventuren (lineare Anpflanzungen, Pappeln, Einzelbäume, ...)

METHODE

- Dreiphasige Stichprobe
- ein Punkt / 30-40 ha (systematisch) anhand von Luftaufnahmen (1:15000 - 1:20.000, panchromatisch, Infrarot) anhand von Karten
- Stereoskopisch interpretierte Punkte
- Eigentumsverhältnisse, Landnutzung, Betriebsart,
- zufällig aus Phase 1 ausgewählte terrestrische Unterstichprobe (Validierung)
- 3 konzentrische Probekreise R = 15 m, 9 m, 6 m

VARIABLEN

cO, c, h, Alter, Rinde, 5jähriger Zuwachs, Stöcke, ökologische und forstliche Parameter

STATUS

kontinuierlich
Zyklen von etwa 10 Jahren
10 % / Jahr - Departement



GRIECHENLAND

INITIATOR

NFI (Nationale Waldinventur)

INVENTURGEGENSTAND

Waldflächen > 0,6 ha, 30 m Breite, Kronenüberschirmung > 10 %

METHODE

- Zweiphasige Stichprobe
 - Stereoskopische Interpretation (Punkte) anhand von Luftaufnahmen im Maßstab 1:20.000, 1:42.000
 - terrestrische Stichprobe (Zufallsauswahl)
- Cluster aus 10 Winkelzählproben (BAF: 10 m² / ha)
- VARIABLEN**
d, h, Rinde, 5jähriger Zuwachs

STATUS

?



IRLAND

INITIATOR

The Irish Forestry Board = Irische Forstverwaltung), <<Coillte Teoranta>> 1989

INVENTURGEGENSTAND

Waldflächen im Besitz der öffentlichen Hand (80 % der Waldflächen des Landes)

Waldflächen im Privatbesitz (letzte Erhebung 1973)

METHODE

- Aus der computerisierten und regelmäßig aktualisierten Datenbank auf

Unterabteilungsebene abgeleitete Waldstatistik.

VARIABLEN

Forstbetriebszwecke

STATUS

Verknüpfung mit dem Forstbetrieb



ITALIEN

INITIATOR

Ministro dell'Agricoltura e delle foreste (Ministerium für Landwirtschaft und Forsten)

IFN (Nationale Waldinventur) (1983-1984)

INVENTURGEGENSTAND

Waldflächen > 0,2 ha, 20 m Breite, Kronenüberschirmung > 20 %

METHODE

- Systematische Stichprobe (3 x 3 km UTM-Raster)
- Probekreise (600 m²)
- Zugeordnete Punkte: Eigentumsverhältnisse, Betriebsart, Waldtyp, Waldfunktionen

VARIABLEN

d, h, Alter, 5jähriger Zuwachs, Stöcke, ökologische Parameter

STATUS

Kontinuierlich.



LUXEMBURG

INITIATOR

Administration des Eaux et Forêts (Gewässer- und Forstverwaltung)
Jahresstatistiken (1989, ...) bieten eine stark zusammengefaßte Beschreibung der Waldressourcen

INVENTURGEGENSTAND

Eigentumsverhältnisse > 0,5 ha

METHODE

- Von den Außenstationen der Forstämter ausgefüllte Fragebögen
- Computerisierte Datenbank auf Unterabteilungsebene - Forstbetriebszwecke innerhalb der Wälder der öffentlichen Hand
- Nutzung von Luftaufnahmen und Felddaten für im Privatbesitz befindliche Wälder
- Struktur der Unterlagen wie bei Wäldern der öffentlichen Hand

VARIABLEN

Verwaltungstechnische Erfordernisse

STATUS

Regelmäßige Aktualisierung
Nutzung durch Gesetz eingeschränkt



NIEDERLANDE

INITIATOR

Staatsbosbeheer, 4. Nationale Waldinventur (1980 - 1983)
Überblick über die verschiedensten Waldfunktionen (Produktion, Schutz, Erholung usw.)

INVENTURGEGENSTAND

Waldfläche > 5 ha, 30 m Breite, Kronenüberschirmung > 20 %

METHODE

- Gliederung in Unterabteilungen (1:18.000 Panchromatic-Aufnahmen)
- Übertragung auf topographische Karten im Maßstab von 1:10.000
- terrestrische Erhebungen (Betriebsart, Waldtyp, Waldfunktionen, Baumarten, Alter, Volumen)
- zufällige Verteilung der Probe-flächen

VARIABLEN

d, h, Rinde, Alter
ökologische Parameter

STATUS

Kontinuierlich
Zyklen von 5 Jahren.



ÖSTERREICH

INITIATOR

NFI (Nationale Waldinventur) (1961) - 5. Ausgabe

INVENTURGEGENSTAND

Waldflächen > 0,05 ha, 10 m Breite, Kronenüberschirmung > 30 %

METHODE

- Systematische Stichprobe (2,75 km x 2,75 km)
- <<Trakt>> bestehend aus den folgenden Probennahmeelementen:
 - einer quadratischen Fläche von 200 x 200 m (—> Straßendichte)
 - 4 Winkelzählproben (Ecken); BAF = 4 m² / ha; D > 10,5 cm
 - 4 Probekreise (Ecken); R = 9,77 cm Eigentumsverhältnisse, Betriebsart, Waldfunktion, Alter
 - 4 Probekreise (Ecken); R = 2,60 m 5,0 < D < 10,5 cm

VARIABLEN

d, d0, 3h, her (erstes Mal, Regression), 5jähriger Zuwachs, ökologische und forstliche Parameter, Gesundheitszustände

STATUS

kontinuierlich

Inventurergebnisse werden jährlich aktualisiert
Progressive Zunahme der Probennah-meintensität
10 % / Jahr - Land



PORTUGAL

INITIATOR

Direcção - Geral Das Florestas
NFI (Nationale Waldinventur) (65-73, ...)

INVENTURGEGENSTAND

Waldfläche > 0,2 ha, 30 m Breite, Kronenüberschirmung > 10 %

METHODE

- Zweiphasige Stichprobe
- Gliederung in Wirtschafts- und Schutzwald unter Benutzung von farbigen Infrarot-Luftaufnahmen im Maßstab 1:15.000
- terrestrische Stichproben, Probekreise in einer Größe von 1 bis 20 ar je nach Station) bei zufälliger Verteilung

VARIABLEN

d, h, Alter, Rinde, 5jähriger Durchmesserzuwachs

STATUS

Verknüpfung mit Forstbetriebszwecken
Geplant: GIS



SCHWEDEN

INITIATOR

7. Nationale Waldinventur (Erstmalig 1923)
Institutionen für Skogstaxering

INVENTURGEGENSTAND

Alle für die Holzproduktion geeigneten Flächen
Potentieller Ertrag > 1 m³/ha

METHODE

- SPR (Sampling with Partial Replacement = Stichprobe mit teilweisem Ersatz)
- Systematische Stichprobe, Rasterweiten von 5 km bis 22,5 km je nach geographischer Lage; mit zunehmender Rasterweite von Süden nach Norden
- 50 % der Stichproben sind permanent (Messungen alle 5 Jahre)
- <<Trakt>> = Probekreise entlang den Seiten eines Quadrats
Traktseitenlänge 300 bis 1500 m
- <<Volumen>> Aufnahme (R = 10 oder 7,07 m)
- <<Verjüngungs>> Aufnahme (5 Teilflächen mit R = 1,78 m innerhalb von R = 20 m)
- <<Stock>>-Aufnahme (D = 7,07 m)

VARIABLEN

d, h, Stöcke, Alter
Forstliche und ökologische Parameter

STATUS
kontinuierlich
Zyklen von 10 Jahren.



SPANIEN

INITIATOR

NFI (Nationale Waldinventur) (1986, 1995, ...)

INVENTURGEGENSTAND

Eigentumsverhältnisse > 0,5 ha

METHODE

- Luftaufnahmen (Panchromatisch im Maßstab 1:30.000)
Unterteilung der Waldflächen (Kronenüberschirmung 5 %), Hauptbaumarten, Entwicklungsstadium
- Karten (Verwaltung, Topographie, Eigentumsverhältnisse, Produktionszonen) + GIS
- Systematische terrestrische Stichproben (1 x 1 km UTM-Raster)
- 4 konzentrische Probekreise; R = 25 m, 15 m, 10 m, 5 m

VARIABLEN

d, h, 5jähriger Zuwachs, unterschiedliche Höhen, Rinde

STATUS

Kontinuierlich / 10 Jahre



VEREINIGTES KÖNIGREICH (U.K.)

INITIATOR

Statistik der Forestry Commission (1965), letzte Erhebung (1979-1982)

INVENTURGEGENSTAND

Waldflächen > 0,25 ha, 20 m Breite, Kronenüberschirmung > 20 % (nur für <<andere>> Waldflächen im Privatbesitz)

METHODE

- Computerisierte Datenbank auf Unterabteilungsebene (39 % der nationalen Waldflächen) mit jährlicher Aktualisierung
- Gleiche Datenbank für Privatbesitzer (weniger ausführlich, weniger homogen) für die Genehmigung von forstwirtschaftlichen Konzepten
 - Sonstige Privatbesitzer (33 %)
 - Delinierung dieser Waldflächen auf einer topographischen Karte im Maßstab von 1:50.000 (6 Klassen) + Überprüfung anhand einer topographischen Karte im Maßstab von 1:10.000 und anhand von Luftaufnahmen
 - Einteilung in Unterabteilungen (Luftaufnahmen)

Beschreibung:
Betriebsart, Waldtyp, Baumarten,
Pflanzjahr, zufällig verteilte Probe
fläche oder Winkelzählproben zur
Erfassung von mittlerem Durchmes-
ser, Oberhöhen, Grundflächen
- Bestandsvolumen

VARIABLEN

Betriebliche Erfordernisse
Geeignet für Ertragstabellen, Volumenta-
bellen, ...

STATUS

Verknüpfung mit Forsteinrichtung
Ausarbeitung einer CFI nach statisti-
schen-mathematischen Grundlagen.

OVERVIEW OF EUROPEAN NATIONAL FOREST INVENTORIES ATTEMPT TO A COMPARISON (*)

Prof. Dr. Jaques Rondeux (**)

1. Introduction

All Member States of the Community avail of forest statistics for their national territories. The methods and/or procedures generally used to compile these statistics, as well as the level of detail, the accuracy and the up-to-dateness of the information, differ sometimes considerably from country to country.

However it can be seen that more and more all the inventories aim at supplying objective and reliable data about the existing forest resources and their productivity for regional, national and international forest policy-making.

This paper gives an overview on the forest resource data and methods for getting them which are available in the different European countries. It also provides information related to the possibilities of comparison and some proposals for the future.

2. Brief description of the forest inventories used by the Member States

All the European countries are concerned with forest statistics and/or national forest inventories based upon statistical procedures and sometimes on forest management inventories. From a general point of view the relative importance of the wooded areas in the different countries has a great influence on the way used to know more about the forest resources.

We have collected information about the 15 countries belonging to the UE and the countries concerned are Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Portugal, Spain, Sweden, United Kingdom (see Annex I).

As we can see various methodologies are used all around the European countries: questionnaires, data base compartment updating, inventories based upon statistical and mathematical procedures.

3. Appraisal of the existing forest statistics

It would be really a worthwhile attempt to merge forest statistics derived from separate inventories but 3 points should have to be examined:

- the reliability
- the up-to-dateness
- the comparability of the data.

3.1. Reliability of the forest statistics

The shortcomings of statistics only based on questionnaires are greatly influenced by the intentions and opinions of the respondents.

If the forest statistics based on sub-compartment data gathered for forest management purposes are undeniably an important source of information it is obvious that aggregated forest management data cannot fulfil the quality standards, in terms of reliability, that are required from regional and national forestry statistics. The applications of such results must be confined to the studied forest enterprises taken individually. On the other hand, it is necessary that regional and national forest resource statistics must be acquired in the framework of purposely conducted, objective and statistically sound inventories.

In this context, only a few Member States avail at present of „reliable“ forest statistics.

RELIABILITY OF THE FORESTRY STATISTICS

Belgium, Italy, Germany, Netherlands, (old „Länder“), Austria, Spain, Finland, France, Sweden, Greece

3.2. Up-to-dateness of the data

Some of the forest statistics that come up to the above mentioned reli-

bility standard unfortunately date back to the 60ies or 70ies and don't reflect the current situation. In the light of the relatively slow rate of change of the characteristics of the forest resources within the E.U. (in contrast, for instance with the fluctuation affecting the wood industries or the timber trade) the national forest inventories have generally adopted a periodicity of 10 years.

Considering all inventory data collected prior to 85 as non reliable we can consider that when combining reliability and up-to-dateness criteria, the following countries avail of suitable forestry statistics.

RELIABILITY + UP-TO-DATENESS Suitable forestry statistics

Germany, Austria (old „Länder“), Finland, Spain, Sweden, France

3.3. Comparability of the forest statistics

The comparison and possibilities of aggregation of forest statistics gained through separate inventories are only possible provided that:

- identical definitions of the object of the inventories,
- compatible classification criteria,
- convertible measurement units.

1. Forest definition

In fact there is no common and standard understanding of the term forest even if an objective practical and clear forest definition is essential in the framework of a forest inventory. FAO recommends the use of thresholds in terms of extent and crown cover: forest is defined as wooded land, managed for forest objectives comprising at least 0.5 ha in extent and including trees with a crown cover of at least 20 %.

While the forest definitions of the countries are nearly the same, the adopted thresholds vary in a wide range:

- extent from 0,05 ha to 0,5 ha,
- width from crown to crown: 10 m to 30 m,
- crown cover: 5 % to 30 %.

The impact of diverging forest definitions on the inventory results should not be underestimated. The forest definitions (measurement standards) adopted by the different national forest inventories diverge considerably, prohibiting any simple merger of the results.

2. Classification criteria used for area statistics

Forest statistics are usually not restricted to data forest areas only. The usual classification criteria used are:

(*) Paper presented at the Symposium zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (05-06 March 1996), Horn-Bud Meinberg (Germany).

(**) Faculty of Agriculture of Gembloux, Department of Forestry Gembloux (Belgium)

- ownership categories and size of holdings,
- silvicultural systems and forest types,
- forest functions.

According to the ownership categories and size of holdings, the forest statistics of nearly all Member States distinguish at least among the 3 classical ownership categories: state owned forests, forests owned by municipalities or other public corporations, private forests.

The breakdown of the forest area according to the size of the holdings gives precious structural information. It is however only available from some national forest inventories like Germany, the Netherlands, Finland and Sweden.

Considering the silvicultural systems and forest types, it is possible to relate the used categories to one of the 3 main silvicultural systems that are: high forest, coppice, coppice with standards. Unfortunately it is quite different regarding the forest types. The concepts of structure, composition, origin and development stage differ considerably from country to country.

In relation with the forest functions it is difficult to assess these functions objectively and reproducibly, classical forest inventories tend to neglect this classification criterion but it will be more and more important to assess such data in the future according to the multifunctional role of the forests especially in terms of production conservation, protection and recreation.

3. Standing volume, increment and cut

They are usually computed per tree and the tree volumes are often derived from volume tables based on diameter and height measurements. Sometimes, they are computed per stand based on simple estimates.

The data that concern increment are gained through field sampling (repeated measurements of permanent sampling units) or through increment boring (Spain, France, Italy, Portugal). Repeated measurements (Austria, Finland, Sweden) are only able to give total or current mean annual growth.

Regarding to the cut only forest inventories using permanent field sampling units or proceeding to stump inventories (France, Austria, Finland, Sweden) avail of reliable cut data.

4. Situation of the forest statistics within the Europe an Union

At the community level, the currently available forest resources statistics and, to a certain extent, the forest sector are incomplete and may be only used with caution in the framework of a common forest policy.

The information suffers from one or another of the following defects:

- the information gaps: they persist on both territorial and thematic levels;
- the lack of comparability: it is due to the use of diverging definitions of the forest itself, of the adopted classification criteria and of the observed parameters, or to greatly differing inventory periods;
- the lack of reliability: not all member states carry out statistically sound and objective methods. At any rate, the precision (standard error) of the resulting figures is not quantifiable.

5. Towards the future

To conduct an unique inventory methodology through out the Community is probably a dream. However an alternative way exists: the well known EFICS („European Forest Information Communication System“) whose objective is to condition, to harmonize, to classify and to proceed the data that have already been gathered in the framework of national and regional forest inventories.

EFICS

The planned approach is supposed to:

- take account of existing data compiled by the Statistical Office of the E.U

- make use of information available in the Member states, in particular data contained in NFT, and;
- collect, coordinate, standardize and process data concerning the forestry sector and its development.

TOWARDS A EUROPEAN FORESTINVENTORY

- Systematic and even distribution of systematic sampling unit
- Possibility to tune sampling intensity to national and regional needs
- Use of clustered field sampling units
- Adoption of a unique inventory method
- Use of identical inventory procedures and measurement standards
- Possibility to integrate data on forest infrastructure, ecological data,
- Use of standardized algorithms and statistical inference methods
- Synchronization of the inventory periods



Abb. 2: Vom Anbindungspunkt wird der Stichprobenmittelpunkt eingemessen

oben bietet. Hierfür kommen Wege, Schneisen, Blößen usw. in Frage. Dabei ist eine Anknüpfung an einen topographisch markanten und in der Karte enthaltenen Punkt ergänzende Bedingung, damit ein späteres Wiederauffinden keine Probleme bereitet.

An einer so ausgewählten Stelle wird dann die Antenne des GPS-Empfängers aufgebaut (Abb.1) Diese Stelle wird im Formular „Lagebeschreibung“ zweifach festgehalten. Zum einen wird sie möglichst exakt in den Kartenausschnitt eingezeichnet. Zum zweiten wird sie kurz verbal beschrieben. Im Gelände wird sie dauerhaft vermarktet. Dazu werden in der Regel 20 cm oder 25 cm lange, mit einer gehärteten Spitze versehene Stahlrohre verwendet. Sie werden bodeneben eingeschlagen und können in der Regel mit Metallsuchgeräten leicht wieder aufgespürt werden. Je nach den örtlichen Verhältnissen können als Alternative auch 10 cm lange Stahlnägels oder aber Ringmagnete eingesetzt werden. Wir bezeich-

nen diesen Punkt, für den mittels GPS die genauen Koordinaten ermittelt werden, als Anbindungspunkt (Abb. 2) Die vorgegebene Genauigkeit beträgt +/- 1 m.

Als nächstes werden aus dem Kartenausschnitt Azimut und Länge der Strecke zwischen Anbindungspunkt und Soll-Stichprobenzentrum ermittelt. Anhand dieser Daten wird dann der Ist-Stichprobenmittelpunkt, der in der Regel in einem mehr oder weniger dichten Bestand liegt, eingemessen. Dafür werden eine Handbussole und als Entfernungsmessgerät je nach örtlicher Situation ein Glasfaserbandmaß, ein Ultraschall-Entfernungsmesser oder ein Laserdendrometer eingesetzt. Der Stichprobenmittelpunkt wird ebenso wie der Anbindungspunkt markiert. Als Lagefehler dieses Einmeßschrittes werden bis zu +/- 2 m toleriert.

Wenn, wie im Testlauf praktiziert, die forstlichen Messungen und die GPS-Messungen von verschiedenen Personen durchgeführt werden, spielt die gute Zusammenarbeit zwischen ihnen eine entscheidende Rolle für die Datenqualität und den zügigen Ablauf der Arbeiten. Wesentlich ist dabei, daß das forstliche Aufnahmeteam über die Möglichkeiten und Grenzen des GPS-Signal-Empfangs orientiert ist, sofern es zuerst am Stichprobenpunkt tätig wird. Umgekehrt muß selbstverständlich die Person, die die GPS-Messung durchführt, dies möglichst nahe am Stichprobenzentrum tun, damit die Anschlußarbeiten reduziert und Fehlerquellen minimiert werden. Eine weitere wichtige Voraussetzung dafür ist eine gute Organisation, damit der durch das entkoppelte Verfahren erforderliche Austausch der Formulare „Lagebeschreibung“ nicht zu Verzögerungen führt. In diesem Bereich können sehr schnell Probleme auftreten, da dieselben Unterlagen auch noch für Kontrollaufnahmen benötigt werden.

Kontrollen wurden beim Testlauf sowohl firmenintern als auch unabhängig davon durch die LÖBF/LAFAO durchgeführt.

Im Nachgang werden die Koordinaten des Anbindungspunktes mit den anschließenden Meßschritten (Polygonzug) verrechnet. Somit wird zwar nicht genau das Soll-Stichprobenzentrum im Gelände gefunden, aber es wird sehr exakt festgestellt, welche Koordinaten das Ist-Stichprobenzentrum hat. Dadurch sind ein sicheres Wiederauffinden des Mittelpunktes für Wiederholungsaufnahmen und eine eindeutige Zuordnung bei der Auswertung von Satellitenbildern gegeben.

Die hohe Genauigkeit der GPS-Messung am Anbindungspunkt mit einer Abweichung von +/- 1 m läßt sich bei dieser Vorgehensweise auf das Stichprobenzentrum leider nicht übertragen. Doch hat die technische Entwicklung inzwischen schon wieder Fortschritte gemacht. Wir prüfen deshalb zur Zeit Alternativen. Interessant erscheint uns u. a. ein Verfahren, das die Bezeichnung RASANT trägt. Es wird gemeinsam vom Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen und dem WDR (Westdeutscher Rundfunk) angeboten.

Dabei werden die notwendigen Korrekturdaten über die Rundfunksender des WDR zur Verfügung gestellt. Somit entfällt eine Nachbearbeitung. Möglicherweise kann damit in gewissen Grenzen auch unter Bäumen, also direkt am Stichprobenzentrum, gemessen werden. Allerdings müssen dann Abstriche bei der Genauigkeit hingenommen werden. Das bedeutet, daß der Fehler der GPS-Messung auf +/- 1 bis 3 m steigt. Dafür würde aber nicht nur der mit einem anschließenden Polygonzug verbundene Fehler entfallen, sondern auch die Problematik, die sich aus der voraufgehenden Kartenable-

sung ergibt. Das System ist neuerdings vom Prinzip her landesweit einsetzbar. Außerdem ist es eine sehr kostengünstige Lösung. Eine Erprobung unter schwierigen Bedingungen im Wald steht allerdings noch aus.

3. Aufnahme der Betriebsinventurdaten

Das Kernstück der Landeswaldinventur bildet das Verfahren der baden-württembergischen „Betriebsinventur auf Stichprobenbasis“. Die zugehörigen Programme für die Datenverarbeitung wurden von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg für die Zwecke einer landesweiten Erhebung nach unseren Bedürfnissen abgewandelt und in einigen Bereichen erweitert. Bei diesem Inventurverfahren werden die Bäume in Abhängigkeit von ihrem Brusthöhendurchmesser (BHD) auf verschiedenen großen Flächen in kon-

zentrischen Kreisen aufgenommen. Die Probekreisradien betragen für Bäume ab 15 cm BHD 12 m, für Bäume zwischen 10 cm und 15 cm BHD 3 m, für Bäume unter 10 cm BHD, die mindestens 1,30 m hoch sind, 2 m und für Bäume unter 1,30 m Höhe 1,50 m. Das Zentrum des 1,50-m-Kreises wird zur Vermeidung von Trittschäden, die unvermeidlich im Zuge der Aufnahmen entstehen, um 3 m nach

Norden verschoben. Hier wird also eine Ausnahme von der konzentrischen Lage gemacht.

Aufzunehmen ist jede Stichprobe, deren Mittelpunkt auf eine Waldfläche fällt. Innerhalb des Waldes wird nach Betriebsarten unterschieden. Grenzen zwischen den einzelnen Beständen spielen bei der Aufnahme keine Rolle.



Abb. 3: Kleinster Probekreis (1,50m Radius)



Abb. 4: Differenziert nach den Höhenstufen werden die Jungpflanzen ausgezählt.



Abb. 5: Ausgehend von dem Stichprobenzentrum werden in einem 2m-(Radius)-Kreis die Bäume über 1,3m Höhe bis zu einem BHD von 9,9cm aufgenommen.

In den Kopf des entsprechenden Aufnahmebeleges „BI-Aufnahme“ (Formular 2) werden zunächst ebenfalls die Stichprobenkennung und die Stichproben-Nummer eingetragen. Es folgt eine Angabe zur Betriebsart. Dabei wird eine Klassifizierung vorgenommen, die nach Holzboden und Nichtholzboden differenziert (Schlagweiser Hochwald, Pflenterwald, Nichtwirtschaftswald usw. bzw. Wirtschaftsweg, Wildäusungsfläche, Wasserfläche usw.). Weiter wird der Bestandestyp charakterisiert. Er wird jeweils nur für den Bestand bestimmt, in dem der Stichprobenmittelpunkt liegt. Maßgebend ist immer der 12-m-Kreis, und zwar auch dann, wenn die umgebende Bestockung völlig anders aussehen sollte. Ergänzend werden weitere Ordnungsdaten festgehalten.

Wie bereits erwähnt, wurden einige Aspekte neu in das Betriebsinventur-Verfahren eingebracht. Mit der Abfrage „Bodenschäden“ wurde der Versuch unternommen, Schädigungen des Bodens durch Befahren in das Konzept einzubeziehen. Die geforderte Eintragung besteht aus zwei Ziffern. Die erste gibt in 10-%-Stufen den Anteil der im 12-m-Kreis befahrenen Fläche an, die zweite in 10-cm-Stufen die maximale Tiefe der vorgefundenen Fahrspuren.

Als nächstes ist die natürliche Waldgesellschaft anzugeben. Zur Abgrenzung der 31 Verschlüsselungsmöglichkeiten steht den Aufnahmeteams eine Übersichtsliste über die jeweiligen Artenzusammensetzungen zur Verfügung.

Für Nordrhein-Westfalen wichtig ist darüber hinaus eine Information über



Abb. 6: Von jedem Baum werden im 3m-Kreis ab 10cm BHD und im 12m-Kreis ab 15cm BHD die Inventurdaten erfaßt.



Abb. 7: BHD-Messung



Abb. 8: Höhenmessung mit dem Laserdendrometer

den Biotopcharakter. Dazu ist nach 3 Prioritätsstufen zu unterscheiden. An erster Stelle stehen die Biotope nach § 62 des nordrhein-westfälischen Landschaftsgesetzes. Dabei handelt es sich um die kraft Gesetzes besonders geschützten Bereiche wie z. B. Moore und Wacholderheiden. An zweiter Stelle folgen die Biotoptypen nach den Definitionen der nordrhein-westfälischen Biotopkartierung. Alle übrigen Flächen fallen in die dritte Priorität, bei der im Gegensatz zu den beiden anderen Stufen nicht weiter unterschieden wird.

Die einzelbaumbezogene Aufnahme beginnt immer mit dem kleinsten Probekreis. Die Verjüngung bis 1,30 m Höhe im 1,50 m Kreis (Abb. 3) wird nach Baumart, Altersstufe und Höhenstufe getrennt ausgezählt. Als Altersstufe wird, wenn die aufzunehmende Pflanze dem Hauptbestand zuzuordnen ist, das Alter in 10-Jahres-Stufen notiert. Wenn sie zum Nebenbestand gehört, wird sie den Kategorien „Unterstand“, „Naturverjüngung unter Schirm“, „Voranbau unter Schirm“ oder „Überhalt“ zugerechnet. Es werden die Höhenstufen bis 20 cm, von 21 cm bis 50 cm (Abb. 4) und von 51 cm bis 130 cm unterschieden. Pflanzen, die nicht mindestens zweijährig sind, werden nicht erfaßt. Es wird zusätzlich nach Verbiß und nach den vorgefundenen Schutzmaßnahmen aufgegliedert. Unter Verbiß wird allein der Verbiß des Leittriebes, der innerhalb einer Zeitspanne einschließlich der zurückliegenden Vegetationsperiode erfolgt sein muß, verstanden.

Im 2-m-Kreis werden zu den Bäumen, deren Höhe über 1,30 m und deren

BHD unter 10 cm liegt, folgende Angaben notiert: Baumart, BHD-Stufe, Altersstufe, Schäden, Schutzart (Abb. 5).

Für die Bäume mit einem BHD ab 10 cm im 3-m-Kreis bzw. ab 15 cm im 12-m-Kreis werden ergänzende bzw. differenziertere Daten ermittelt. Vom Stichprobenzentrum ausgehend werden zunächst für jeden Baum der Nordwinkel und die Entfernung gemessen (Abb. 6). Der BHD wird auf Millimeter genau gemessen (Abb. 7). Bei Stammunregelmäßigkeiten in diesem Bereich wird eine abweichende Meßhöhe bestimmt und in den Beleg eingetragen. Als Baumhöhe werden zwei Oberhöhen je Baumart im Hauptbestand und eine Höhe je Baumart im Nebenbestand (Überhalt, Unterstand) gemessen (Abb. 8). Hinzu kommen Daten über das Baumalter, über die Holzqualität und eventuelle Schäden (Abb. 9).

Dabei werden auch abgestorbene Bäume und Baumstümpfe von mehr als 2 m Höhe erfaßt. Vollständig erhaltene Totholzbäume werden behandelt wie lebende Bäume. Wenn die Krone nicht mehr vorhanden ist, wird die Höhe des noch stehenden Stammstückes in eine für den Kronenansatz vorgesehene Spalte eingetragen. In Verbindung mit einer entsprechenden Angabe unter der Rubrik „Schäden“ kann dann das Volumen des stehenden Totholzes ermittelt werden.

Liegendes Totholz wird ebenfalls aufgenommen. Dieses Totholz wird jeweils so weit erfaßt, wie es sich innerhalb des 12-m-Kreises befindet. Dabei werden nur Stämme bzw. Stammteile

berücksichtigt, deren Minstdurchmesser am schwächeren Ende 25 cm und deren Mindestlänge 2 m beträgt. Für die spätere Voluminierung wird unter „Schäden“ „abgestorben, liegend“ verschlüsselt, unter „BHD“ der Mitterdurchmesser notiert und unter „Baumhöhe“ die Länge.

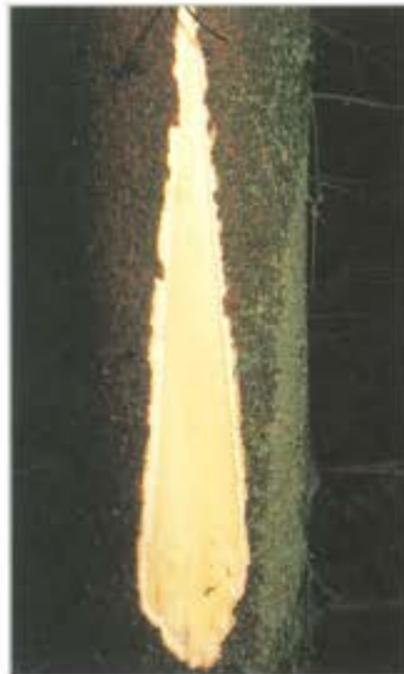
Weiter werden im 12-m-Kreis 15 wichtige Weiserpflanzen angesprochen. Darunter sind Heidekraut, Pfeifengras, Adlerfarn, Brombeere und Schmalblättriges Weidenröschen. Bis zu 11 Arten können einzeln erfaßt und mit ihrem Deckungsgrad verschlüsselt werden. Zusätzlich wird der Gesamtdeckungsgrad der Bodenvegetation angegeben.

Wenn Betriebsarten- oder Waldgrenzen den 12-m-Kreis durchschneiden, werden sie eingemessen. Dazu werden Azimut und Entfernung für zwei auf der Grenzlinie liegende Punkte ermittelt. Bei zwei sich schneidenden Grenzen werden drei Punkte eingemessen. Der Schnittpunkt der beiden Grenzen wird dann als erstes eingetragen.

Sämtliche Aufnahme- und Standortdaten werden sowohl auf Formular als auch auf Datenträger erfaßt und übergeben. Inhaltlich müssen beide Fassungen absolut identisch sein. Das bedeutet, daß bei späteren Korrekturen beides berichtigt werden muß.

Die Eingabe der Aufnahme- und Standortdaten in den PC ist Aufgabe des Aufnahmetruppführers. Er trägt die Verantwortung für die Vollständigkeit und Richtigkeit aller Daten. Die Erfassung wird möglichst tagesaktuell vorgenommen.

Sommerschältschaden



Schältschaden vom 01.06.96

Winterschältschaden

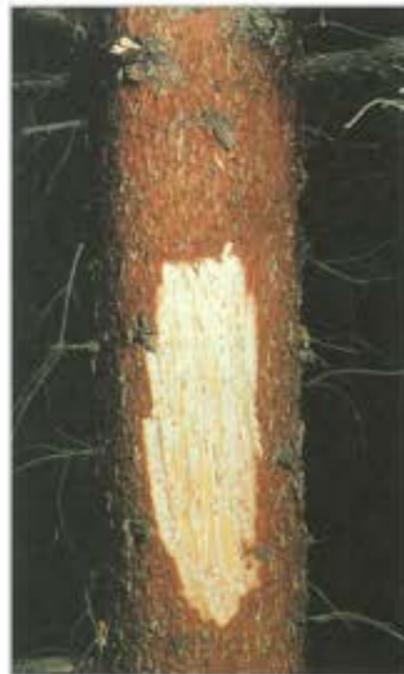
Schältschaden vom 01.10.95
im Alter von 6 Monaten

Abb. 9

Schältschaden vom 01.06.96
im Alter von 3 MonatenSchältschaden vom 01.10.95
im Alter von 12 Monaten

4. Zusätzliche Aufnahmen

Zusätzlich werden zunächst einmal Gelände- und Bewuchsmerkmale angesprochen (Formular 3), die für die Holzernte von Bedeutung sind. Unter den Geländefaktoren sind Gräben, Steine usw. und unter den Bewuchsfaktoren Reisig, Dornengewächse und ähnliches zu verstehen. In beiden Fällen ist der Flächenanteil von fünf möglichen Ausprägungen zu schätzen. Die Summe der für ein Merkmal notierten Stufen muß den Wert „fünf“ ergeben.

Im Zuge der beschriebenen „Betriebsinventur-Aufnahme“ werden, wie bereits erwähnt, zwei Oberhöhen je Baumart im Hauptbestand und eine Höhe je Baumart im Nebenbestand gemessen. Von diesen Bäumen werden weitere Daten erhoben. Es handelt sich dabei um Angaben zu den Bereichen EST (Erweiterter Sortentarif) und HKS (Handelsklassensortierung).

Entsprechend den Kriterien des EST werden für die untere Grenze des Dürstbereiches bzw. des Bereiches mit Wasserreibern, für die Untergrenze der Krone und für die Aufarbeitungsgrenze die jeweilige Höhe und der zugehörige Stammdurchmesser ermittelt. Unter dem Aspekt der HKS wird eine Güteklassifizierung vorgenommen. Die Schäfte werden, von unten beginnend, abschnittsweise einer Güteklasse zugeordnet. Zu der Güteklasse wird jeweils die Höhe angegeben, in der ein neuer Abschnitt beginnt. Für diese Messungen ist ein Laserdendrometer mit Stativ zu verwenden.

Das beim Testlauf der Landeswaldinventur eingesetzte Laserdendrometer war das LEDHA 100. Es war zu diesem Zeitpunkt gerade auf den Markt gekommen und wies anfangs noch kleine Schwächen auf. Sie wurden im Zuge der Inventur erkannt und beseitigt. Mittlerweile gibt es sogar schon eine neue Version.

Die Einbringung der HKS in das Inventurkonzept hat sich allerdings als nicht ganz unproblematisch erwiesen. Zum einen ist die Beurteilung der Güte am stehenden Stamm naturgemäß schwierig. Zum anderen darf nicht verkannt werden, daß die Handhabung der HKS regionalen Unterschieden unterliegt. Das bedeutet, daß zwar jede forstlich ausgebildete Person die HKS kennt, daß sich aber bei der Klassifizierung eines konkreten Stammes dennoch je nach der individuellen, örtlichen Erfahrung erhebliche Auffassungsunterschiede zeigen. Das Ziel besteht aber in einer landesweit einheitlichen Datengrundlage. Der Interpretationsspielraum kann nur durch eine intensive Abstimmung ausreichend begrenzt werden. Bezeichnend ist, daß die Güteklassifizierung bei den Kontrollaufnahmen diejenige Angabe war, deren Bewertung als „richtig“ oder „falsch“ am schwersten fiel.

Über die eigentliche Landeswaldinventur hinaus wird an denjenigen Aufnahmepunkten, die gleichzeitig Stichprobenpunkte (Ecken A) der Bundeswaldinventur im Raster 4 x 4 km sind, eine Zusatzaufnahme anderer Art durchgeführt (Formular 4). Dort wird die damalige Winkelzählprobe mit dem Relaskop unter Verwendung des Zährefaktors 4 wiederholt. Da die Verschlüsselung mit der Erstaufnahme übereinstimmen muß, wird hierfür ein gesondertes Schlüsselverzeichnis verwendet. Hiermit sollen erste Testdaten für die Dokumentation von Veränderungen des Waldes gewonnen werden. Beim Testlauf waren davon rund 80 Punkte betroffen.



Abb. 10: Sondererhebung der Vegetation im 12m-Kreis

Einsatz von GPS beim Testlauf zur Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen^(*)

Paul Lüke (**)

1 Allgemeines

NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging -Global Positioning System) ist ein von den Streitkräften der USA für militärische Zwecke entwickeltes Ortungssystem. Es ist deshalb in erster Linie ein Waffenführungssystem. Allerdings gehörte es mit zu den Zielen, dieses System auch zivilen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Mit diesem System hat ein GPS-Nutzer extrem genaue Informationen über seine dreidimensionale Position überall auf der Erde (unabhängig von Wetterbedingungen) zur Verfügung. Seit 1993 ist das System (26 Satelliten) auf der gesamten Erde uneingeschränkt einsetzbar. Da es sich hierbei um ein passives System handelt, können beliebig viele Nutzer gleichzeitig auf die Informationen zugreifen.

Jeder dieser 26 Satelliten sendet permanent elektromagnetische Signale auf zwei Frequenzen:

$$L_1 = 1575,42 \text{ MHz } (\lambda_1 = 0,19 \text{ m})$$

$$L_2 = 1227,60 \text{ MHz } (\lambda_2 = 0,24 \text{ m}).$$

Dem Benutzer des Systems wird die genaue Bahn und die Weltzeit vom beobachteten Satelliten mitgeteilt, indem Zeitmarken und aktuelle Bahnparameter einer der Sendefrequenzen aufmoduliert und ständig ausgestrahlt werden. Ein Netz von Bodenstationen überwacht die Satellitenbahnen, eine Zentrale berechnet laufend die Bahnparameter, die in bestimmten Zeitabständen dem Satelliten über Funk zur Erneuerung der Speicherdaten übermittelt werden. Zur Messung der Entfernung zu den einzelnen

empfangenen Satelliten ist es notwendig eine sehr genaue Zeitinformation zur Verfügung zu haben. Aus diesem Grund besitzen alle GPS-Satelliten zwei Cäsium- und zwei Rubidiumuhren mit einer Genauigkeit von 10-13 (Zeitabweichung pro Zeiteinheit). Das ist ein Tausendstel Sekunde Abweichung in Tausend Jahren.

Die prinzipielle Möglichkeit seine Position im Meter- oder Submeterbereich zu bestimmen ist allerdings dadurch eingeschränkt, das die amerikanischen Militärs dem zivilen Nutzer verfälschte Bahn- und Zeitdaten übermitteln. So kann man mit einfachen Empfängern nur eine Genauigkeit zwischen 30 und 100 Metern erreichen. Diese Verfälschung der Position kann man nur mit mindestens zwei hochwertigen geodätischen Empfängern wieder eliminieren, wobei die Position des einen Empfängers (der Referenzstation, Abb. 1) bekannt sein muß. Dieses sogenannte differenzielle GPS-Verfahren kann dabei in Echtzeit, mittels Funkverbindung, oder erst anschließend bei der Berechnung der Daten zum Einsatz kommen. Bei dem Testlauf zur Landeswaldinventur NRW war vom Auftraggeber ein differenzielles GPS-Verfahren mit Postprocessing vorgeschrieben worden.

2.0 Geodätisches Netz

Da sämtliche Arbeiten, auch die Durchführung der GPS-Messungen, nach Möglichkeit durch Mitarbeiter der Deutschen Forstservice GmbH durchgeführt werden sollten und Probleme bei der GPS-Beobachtung im Wald erwartet

werden konnten, war man auf die Hilfe eines geodätisch ausgerichteten GPS-Spezialisten angewiesen. Dort wurden moderne Ashtech Z-12 Empfänger mit der entsprechenden Auswertesoftware „GPPS“ angemietet. Desweiteren wurden Schulungen und die Betreuung der geodätischen Arbeiten über die gesamte Projektdauer vereinbart.

Zur Anwendung kam ein differentielles, statisches GPS-Verfahren unter Verwendung temporärer Permanentstationen (Polarverfahren). Ein Echtzeitsystem kam nicht zum Einsatz, da die Übermittlung der Korrekturdaten mittels Funkmodem in den bewaldeten und zum Teil bergigen Gebieten nicht zuverlässig genug erschien.

2.1 Durchführung der GPS-Messung

Bekannt sind in der Fachwelt die Schwierigkeiten bei der Durchführung von GPS-Messungen in Waldgebieten. Erstens ist der Satellitenempfang durch die Abschattung der Bäume eingeschränkt, und zweitens kann es durch die Blätter oder Nadeln der Blume zu Mehrwegeeffekten der Satellitensignale (Multipath) kommen. Da die Inventur im Winter begann, wurden zuerst vorrangig die Laubwaldgebiete bearbeitet, um den Vorteil des besseren Signalempfanges bei den blätterlosen Blüten zu nutzen.

Bei den Nadelbäumen spielt dieser jahreszeitliche Aspekt durch die ganzjährige Benadelung bekanntlich keine Rolle.

In unseren Breiten stehen aufgrund ihrer Bahnen im Norden kaum GPS-Satelliten zur Verfügung. Deshalb wurden die Anbindungspunkte in der Regel so gewählt, daß möglichst ein Wege- oder Schneisenkreuz mit relativ freier Himmelssicht nach Ost-West und Süden vorhanden war, um die ohnehin eingeschränkte Satellitensichtbarkeit auf ein Maximum zu erhöhen.

Je nach Anzahl der empfangenen Satelliten und der von der Satellitenkonstellation abhängigen Positionsgenauigkeit (PDOP = Position Dilution of Precision) betragen die Beobachtungszeiten in der Regel zwischen 15 und 25 Minuten. Kurzzeitige Signalunterbrechungen zu einzelnen Satelliten (Cycle Slips) führten allerdings zu verlängerten Aufnahmezeiten an den Anbindungspunkten. Diese Cycle Slips traten besonders häufig bei windigem Wetter und daraus folgenden starken Baumbewegungen auf. Als problematisch erwiesen sich hierbei besonders die jüngeren, stammzahlreichen Laubholzbestände. Feuchte Witterung und daraus folgender Tropfenanhang an Nadeln und Blättern führte in der Regel zu einem verminderten Satellitenempfang und somit auch zu längeren Standzeiten. Zur Optimierung der Auf- und Abbauzeiten wurden bei der Besetzung der Vermessungspunkte Prismenstäbe mit Schnellstativen verwendet. Außerdem konnte so durch eine maximale Antennenhöhe von über 3 Metern in manchen Fällen die Satellitensichtbarkeit erhöht werden.

Bearbeitet wurden jeweils lokale Waldgebiete mit einem Radius von 10-15 km zur jeweiligen Referenzstation,



Abb. 1: Aufbau der GPS-Feststation

die bei geeigneten (möglichst geringe Abschattung) Dienstgehöften der Landesforstverwaltung oder auf einem Trigonometrischen Punkt (TP) aufgestellt wurde. Die jeweilige Referenzstation wurde zwecks besserer Lagerung im geozentrischen Koordinatensystem der GPS-Satelliten WGS84 (World Geodetic System) von einem TP mit bekannten WGS84 Koordinaten eingemessen. Zur Berechnung der Transformationsparameter wurden 4 bis 6 TP's um das jeweilige Waldgebiet beobachtet. Dabei erfolgte die Messung zu jeweils 2 bis 4 TP's gleichzeitig, mit einer Beobachtungsdauer von 45 bis 60 Minuten. Die Gebrauchskoordinaten dieser TP's lagen hierfür entweder im Netz der Preußischen Landesaufnahme oder im Netz 77 vor.

Aufgrund der gewählten hohen Aufzeichnungsrate - das Beobachtungsintervall lag bei 5 Sekunden - und der damit verbundenen großen Datenmengen wurden die Rohdaten der Referenzstation mit der Ashtech-Software „DATALOGR“ online auf einem Laptop gespeichert. Am Ende eines jeden Beobachtungstages wurden die Daten der 2 bis 4 bewegten Empfänger (Rover) ausgelesen und auf dem Laptop gespeichert.

2.2 Auswertung der GPS-Messungen

Die Auswertung der Basislinien erfolgte mit Hilfe der Software „GPPS“ der Firma Ashtech auf einem Pentium

(*) Diese Arbeit wurde anlässlich des Symposiums zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (5./6. März 1996) in Horn-Bad Meinberg (Deutschland) vorgetragen.

(**) Landesinventurleiter der Fa. Deutsche Forst Service GmbH, Feldkirchen



Abb. 2: Außer der Antenne gehören zur Feststation ein GPS-Receiver, der die von der Antenne empfangenen Signale auswertet, und ein Computer, der diese Daten kontinuierlich speichert.

90 PC mit 2 Gigabyte Plattenspeicher. Zur schnellen Wertung der einzelnen Neupunktmessungen wurde das Programm „EXOF“ (Examine Output-Files) der Firma GEOsat verwendet. Damit können für jeden Punkt die zweidimensionalen Genauigkeiten für die einzelnen Lösungen der verschiedenen Auswerteschritte (float oder fixed) im WGS 84-Netz sichtbar gemacht und der jeweils genaueren Lösung der Vorrang eingeräumt werden. Für Ergebnisse, die sich nicht in dem geforderten 1 Meter-Genauigkeitsbereich bewegten, erfolgte eine erneute Berechnung der Basislinie mit veränderten Parametern (Herausnahme von Satelliten, Wechsel des Referenzsatelliten, Beschneidung der Aufnahmezeit, Herabsetzung der Mindestepochenanzahl der beteiligten Satelliten). Nur wenn auch die wiederholten Neuberechnungen nicht den Genauigkeitsansprüchen genügten, erfolgte eine erneute GPS-Vermessung des jeweiligen Punktes. Mittels der Netzausgleichungssoftware „FILLNET“ (ebenfalls Ashtech) wurde für die TP's und die Tageslösun-

gen der Neupunkte eine Netzausgleichung durchgeführt.

Die als Ergebnis der Netzausgleichung erhaltenen WGS84-Koordinaten sollten nun mittels einer 7-Parameter-Helmert-Transformation in Gauß-Krüger-Koordinaten (Netz 77 bzw. Preußische Landesaufnahme) überführt werden. Dazu wurden als Software verschiedene TR-Routinen der Firma GEO++ verwendet. Nach der Bestimmung der lokalen Transformationsparameter anhand der beobachteten TP's erfolgte die Überführung der Neupunkte und der TP's vom WGS84 in Gauß-Krüger-Koordinaten mit anschließendem Vergleich der amtlichen und der neu bestimmten TP-Koordinaten.

Die gesamte Datenmenge der 5.640 Punkte umfaßte nach der Auswertung ca. 8 Gigabyte, so daß es notwendig wurde, die bei den verschiedenen Auswertungsschritten angefallenen Roh- und Zwischendaten anschließend wieder aus dem Plattenspeicher zu löschen.

3. Schlußbetrachtung

Es zeigt sich, daß die Entwicklung der GPS-Empfängertechnologie zur Zeit rasend schnell verläuft. Die im November 1994 für diesen Testlauf gewählte Vorgehensweise muß für die Durchführung des Hauptlaufes gegebenenfalls wieder überdacht werden.

Große und kleine Empfängerhersteller bieten Echtzeitsysteme in unterschiedlichsten Auslegungen an, und es ist zu erwarten, daß die zur Zeit noch recht hohen Preise in Zukunft durchaus sinken werden. Doch bleibt das Problem der Übermittlung der nötigen Korrekturdaten. Die durch das BAPT (Bundesamt für Post und Telekommunikation) vorgegebenen Rechtsvorschriften, z.B. für die zulässige Sendeleistung, lassen keine hohen Reichweiten zu.

Der Aufbau eines flächendeckenden Netzes von Referenzstationen, ob in privater oder öffentlicher Hand, hat in einigen Bundesländern schon begonnen. Für Echtzeitanwendungen im 1 bis 5 Meter Genauigkeitsbereich werden schon in Kürze Korrekturdaten über UKW (RDS) oder Langwelle zu empfangen sein. Auch ist es schon heute möglich, GPS-Rohdaten fest installierter Permanentstationen zur eigenen Weiterverarbeitung „einzukaufen“.

Diese neuen Systeme werden sich in Bezug auf Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Kosten in der Praxis mit den herkömmlichen GPS-Verfahren messen lassen müssen.

Application of GPS During the Test Run of State Forest Inventory Nordrhein-Westfalen

NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Time And Ranging - Global Positioning System) was developed by the Armed Forces of the USA for positioning and guiding of weapons. This system of high accuracy determination of positions is also made available for private users. Since it is a passive system, where 26 satellites emit permanently radio signals on two frequencies, an infinite number of users can employ it simultaneously.

High accuracy positioning for private users is limited by the adulteration of emitted orbit and time information

by US-Military. To amend this shortcoming, private users have to apply a differential system for high accuracy positioning. Two geodesy receivers, one base station at a well-known position and one mobile receiver, record simultaneously the satellite information. The recorded data are processed in either real-time or post mission to determine the position of the mobile receiver. Post processing DGPS was prescribed for the test run of state forest inventory in Nordrhein-Westfalen.

The equipment used was Ashtech Z12 receivers and Ashtech „GPPS“ and „FILLNET“ and GEOsat „EXOF“ software for postmission dataprocessing. To optimise the signal reception conditions (trees and other obstacles

eclipse the signal wave, tree leaves are causing multipath effects) connecting points for each inventory point were laid on road junctions and forest-aisle crossings. The observation time at a connecting point varied from 15 to 25 minutes, depending on PDOP and occurring cycle slips. To cope with the difficulties of transformation from WGS 84 System to the system of „Preußische Landesaufnahme“ or „Netz 77“ limited forest areas of 10 - 15 km radius were treated from one basestation. The transformation itself was done in a 7-Parameter Helmert-Transformation using software from GEO++. The total amount of computerised data of the 5640 connecting points mounted to 8 Gigabit, making partial deleting of data during the processing necessary.

Erste Ergebnisse des Testlaufes zur Landeswaldinventur^(*)

Günter Spelsberg (**)

1. Einleitung

Information prägt zunehmend unser politisches, wirtschaftliches und soziales Handeln. Kurz: Wir leben in einer Informationsgesellschaft. Information ist zum vierten Produktionsfaktor geworden. Diese Entwicklung macht auch vor der Forstwirtschaft nicht Halt: Forsteinrichtung und Ertragstabellen reichen längst nicht mehr aus und verlieren an Stellenwert, neue Informationsbedürfnisse entstehen.

Einige Schlaglichter dazu: Wegen steigender Holzvorräte statt Holznot verliert die Nachhaltsregelung der Holzproduktion an Bedeutung, die Wertigkeit anderer Nachhaltigkeitsfelder steigt. Aktuelle Stichworte sind Biotopschutz, Prozeßschutz. Der Holzmarkt hat sich vom Verkäufer- zum Käufermarkt gewandelt. Just-in-time ist auch in der Forstwirtschaft kein Fremdwort mehr. Im Staatswald bestehen in mehreren Bundesländern Überlegungen, die Kameralistik zu ergänzen durch Methoden der Budgetierung und kaufmännischen Buchführung. Alles Schritte, starre Planungen zu ersetzen durch flexibles Handeln, das durch Informationen gestützt werden muß.

Nicht nur der Forstbetrieb, auch die Forstpolitik muß rascher reagieren. Kahlschlaglose Wirtschaftskonzepte verändern die Waldstruktur. Wir stehen erst am Anfang dieser Entwicklung. Es ist eine spannende Frage, ob erste Veränderungen bereits erkennbar sind.

Ein weiterer Aspekt: Im Kleinprivatwald (für NRW eine bedeutende Wald-

besitzkategorie) steigt die Entfremdung der Waldbesitzer von ihrem Wald durch Orts- und Branchenferne. Es ist zu befürchten, daß davon ein zunehmender Teil trotz intensiver Bemühungen von der Betreuung nicht mehr erreicht wird. Die Folge: Ungeplante Extensivierung bis hin zur Flächenstilllegung. Es ist aber unbekannt, welchen Umfang diese Entwicklung hat. Daneben tritt die geplante Extensivierung aus ökologischen Gründen (Arten-, Biotop- und Prozeßschutz) und ökonomischen Gründen (defizitäre Standorte und Sortimente).

Will man in Forstpolitik und Forstbetrieb trotz der komplexen Entwicklungen den Überblick behalten, Veränderungen rechtzeitig erkennen und steuernd eingreifen können, braucht man dafür - wie eingangs dargestellt - Informationen. Sieht man über den Horizont des Forstbereiches hinaus, soll dies das „Grüne Informationssystem“ (GRIS) leisten. Ein Baustein für das GRIS ist die Landeswaldinventur. Die Informationen werden nicht nur auf Landesebene benötigt, sondern auch für den Raum der unteren Verwaltungsebenen: Landkreise und Forstämter.

2. Das Konzept

Die Landeswaldinventur ist als Multiquelleninventur angelegt. Es werden Daten, die von anderen Dienststellen erhoben und verwaltet werden, übernommen, möglichst digital. Fernerkundungsdaten aus Luftbildern und Satellitenszenen sind in die Inventur einbezo-

gen. Ziel ist es, nur solche Daten terrestrisch zu erheben, die anderweitig nicht gewonnen werden können.

Hinsichtlich des Inventurverfahrens konnte auf Bewährtes zurückgegriffen werden. Zur Diskussion stand das Verfahren der Bundeswaldinventur (BWI) sowie der Betriebsinventur Baden-Württemberg. Das Abwägungsergebnis fiel zugunsten der Betriebsinventur Baden-Württemberg aus, weil bei der BWI

- die Traktecken nicht unabhängig voneinander sind (in NRW liegen 26 % der Ecken nicht in getrennten Beständen);
- die Linientaxation aufwendig ist, verglichen mit ihrem zusätzlichen Informationsgewinn;
- bei der guten Walderschließung in Mitteleuropa eine Klumpung von Stichproben unnötig ist;
- die Winkelzählprobe (WZP) zwar sehr effizient ist für die Vorratsermittlung, aber keine feste Bezugsfläche aufweist für ökologische Parameter;
- bei der WZP die Probebäume unterschiedliche Auswahlwahrscheinlichkeiten haben, was die Nutzung für dendrometrische Untersuchungen erschwert, z.T. ausschließt;
- die Nachbarschaftsverhältnisse der Probebäume unbekannt bleiben, was die Verwendung von positionsabhängigen Einzelbaum-Wuchsmodellen unmöglich macht.

In einer weiteren Vorüberlegung war zu entscheiden, in welches der landesweit vorhandenen Raster die Landeswal-

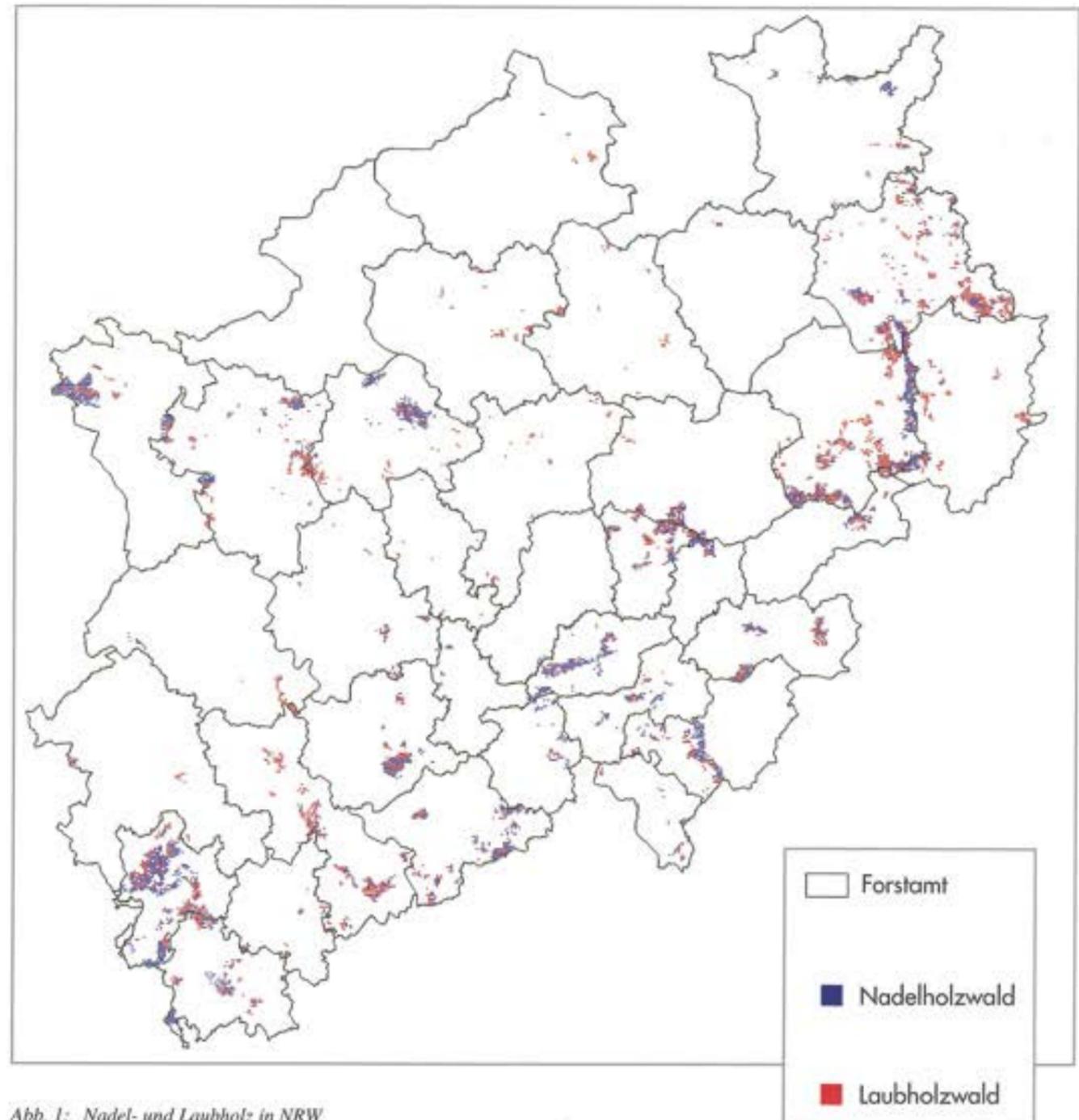


Abb. 1: Nadel- und Laubholz in NRW

(*) Diese Arbeit wurde anlässlich des Symposiums zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (5./6. März 1996) in Horn-Bad Meinberg (Deutschland) vorgetragen.

(**) Leiter des Dezernates Forstinventuren, Management und Planung in der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung NRW, Recklinghausen

inventur eingehängt wird: in das Raster der Bundeswaldinventur oder das der Waldschadenserhebung (WSE). Die Entscheidung fiel gegen die WSE weil

- die WSE offen markiert ist, was dem Konzept einer permanenten Inventur widerspricht;
- seit der Anlage der WSE 1983/84 die WSE-Punkte wahrscheinlich waldbaulich anders behandelt wurden und daher nicht mehr repräsentativ sind;
- die WSE-Bestände nicht streng am vorgegebenen Koordinatenschnittpunkt liegen, sondern bei der Anlage vermutlich Nadelholz bzw. Altholz bevorzugt wurde (seinerzeit stärkere Waldschäden);
- die Handhabung von Karten bei der WSE sehr erschwert ist, da das 1 x 1 km-Raster zu Dreiviertel auf dem Blattschnitt der Deutschen Grundkarte liegt.

Die Rasteranbindung erfolgte daher an der Ecke A (Südwestecke) der BWI.

3. Testlauf im Staatswald

Um das vorgesehene Aufnahmeverfahren sowie die eingesetzte Technik zu testen und um eine Datengrundlage zur Kalkulation der notwendigen Rasterdichte zu erhalten, wurde 1995 ein Testlauf im Staatswald durchgeführt. In den Testlauf einbezogen sind dankenswerterweise die beiden größten kommunalen Waldbesitzer: Landesverband Lippe und Kommunalverband Ruhrgebiet.

Die terrestrischen Aufnahmen erfolgten zwischen Anfang Januar und Anfang Dezember 1995 durch die Deutsche Forstservice GmbH. Die endgültige Datenabgabe war am 15. Dezember 1995.

Die anschließenden Berechnungen wurden ausgeführt mit dem Programm zur Betriebsinventur Baden-Württemberg. Die dadurch erzeugten Daten sowie die über die BI hinausgehenden Daten wurden eingestellt in eine Access-Datenbank. Alle Auswertungen erfolgten mit dem BI-Programm sowie MS-Office 4.0. Die geographische Graphik wurde mit WinCAT 2.2 erzeugt.

4. Ergebnisse

In der Kürze der Auswertungszeit (10 Wochen) und der Kürze der Präsentationszeit ist es nur möglich, einige Hauptergebnisse vorzustellen und die

Baumart	FE in %	LWI in %	BWI in %
Eiche	12,8	12,6	17,7
Buche	27,3	25,3	23,0
ALh	4,1	5,3	4,1
ALn	5,7	8,5	8,1
Laubholz	49,9	51,7	52,9
Kiefer	8,2	7,0	6,3
Lärche	3,8	4,2	4,7
Fichte	36,2	35,2	34,4
Douglasie	1,9	1,8	1,7
Nadelholz	50,1	48,2	47,1

Abb. 3: Vergleich LWI, BWI und Forsteinrichtungen; Flächenanteile der Baumartengruppen

Vielfalt der Nutzungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Am Anfang steht ein Überblick über die Lage der Inventurpunkte auf der Basis der Karte der neuen Forstamtsgrenzen NRW (Abb. 1). Die Farbe zeigt, ob die Volumenmehrheit im Laub- oder Nadelholz liegt (blau = Nadelholz, rot = Laubholz). Zu erkennen sind die Schwerpunkte des Staatswaldes, aber auch der Streubesitz. Mit dargestellt sind der KVR und der Landesverband Lippe. Der Besitz des Landesverbandes ist vergrößert dargestellt. Der Landesverband weist überwiegend Laubholz auf (Abb. 2).

Das leitet zur Frage über: Welches Laub/Nadelholzverhältnis haben wir im Staatswald? Wie ist dieses in der Inventur im Vergleich zur Forsteinrichtung? Im Vergleich zur Bundeswaldinventur (Abb. 3)? Zur Bundeswaldinventur gibt es nur eine eingeschränkte Vergleichbar-

Baumartengruppe	Verfahren	Altersklasse								Alle
		0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 140	> 140	
Eiche	FE	1 855	730	1 057	1 320	2 247	2 522	1 456	2 180	13 365
	LWI	1 368	830	1 224	1 433	2 035	2 470	1 467	2 322	13 148
	+ ha	184	144	174	188	223	246	190	238	536
Buche	FE	2 962	3 982	4 734	4 411	2 503	2 209	2 708	4 909	28 418
	LWI	3 197	3 516	4 552	3 754	2 588	2 206	2 489	4 096	26 397
	+ ha	280	291	330	301	251	232	246	314	702
ALh	FE	845	1 305	698	549	381	332	118	28	4 256
	LWI	1 032	1 634	1 166	699	425	391	113	97	5 557
	+ ha	160	201	170	132	103	99	53	49	363
ALn	FE	651	1 487	1 722	463	182	69	13	1	4 587
	LWI	1 644	2 176	2 239	636	208	27	3	1	6 933
	+ ha	202	231	234	126	72	26	8	6	402
Pappel	FE	163	776	392	5	-	-	-	-	1 336
	LWI	396	952	462	28	3	1	-	-	1 843
	+ ha	99	154	107	26	9	5	-	-	213
Kiefer	FE	219	915	3 774	1 477	1 142	583	319	138	8 566
	LWI	281	699	3 389	1 234	833	493	257	156	7 341
	+ ha	84	132	286	175	144	111	80	62	413
Lärche	FE	248	1 850	1 485	289	71	27	7	7	3 982
	LWI	319	1 800	1 844	330	59	4	32	25	4 412
	+ ha	89	210	213	91	38	10	28	25	325
Fichte	FE	2 532	10 811	10 607	6 792	4 562	1 704	537	136	37 681
	LWI	2 450	9 825	10 831	6 461	4 795	1 696	535	107	36 701
	+ ha	246	472	493	389	338	204	115	52	771
Douglasie	FE	793	906	255	19	25	20	1	-	2 018
	LWI	603	919	298	26	47	-	-	-	1 893
	+ ha	122	151	86	25	34	-	-	-	216
Alle	FE	10 269	22 762	24 724	15 323	11 112	7 465	5 158	7 398	104 211
	LWI	11 289	22 352	26 003	14 600	10 992	7 289	4 896	6 805	104 225
	+ ha	517	663	699	560	496	412	342	399	-

Abb. 4: Vergleich der Holzbodenfläche von Forsteinrichtung und LWI; (Staatswald ohne Sondervermögen)

keit (Unterschiede im Staatswaldbegriff, in der Baumartengruppierung, zu geringer Stichprobenzahl der BWI). Interessant ist hingegen der Vergleich zur Forsteinrichtung (Abb. 4). Verfahrensbedingt sind in der Forsteinrichtung die Hauptbaumarten überbetont, Misch- und Nebenbaumarten hingegen unterrepräsentiert, weil sie erst ab einem Anteil von 5 % zahlenmäßig erfaßt werden. So ist erklärlich, daß die LWI bei ALn und ALh ca. 4% mehr Fläche ausweist. Auch die Lärche profitiert.

Ein kurzer Hinweis auf die Altersstruktur: Die Flächenausstattung der ersten Altersklasse beträgt nur die Hälfte der nächstälteren Klasse. Ist die geringe Fläche des ganz jungen Waldes eine Folge der Umstellung auf kahlschlaglose Wirtschaft?

Die Darstellung der Flächenstruktur verlangt nach einer Diskussion des Flächenfehlers (Abb. 5). Dazu ist der absolute Flächenfehler gegenüber der Fläche aufgetragen. Diesen eindeutigen

Zusammenhang kann man auch als relativen Fehler auftragen, d.h. als Fehlerprozent (Abb. 6).

Zurück zur Baumartenstruktur. Wie sieht diese in der Verjüngung bzw. im Jungwuchs aus? Der überwiegende Teil der erfaßten Verjüngung zählt nicht zum Hauptbestand, sondern bildet die Verjüngungsreserve (Abb. 7). Betrachtet wird nachfolgend nur der Hauptbestand. Hier zeigt sich im Jungwuchs eine sehr starke Dominanz des Laubholzes (Abb. 8).

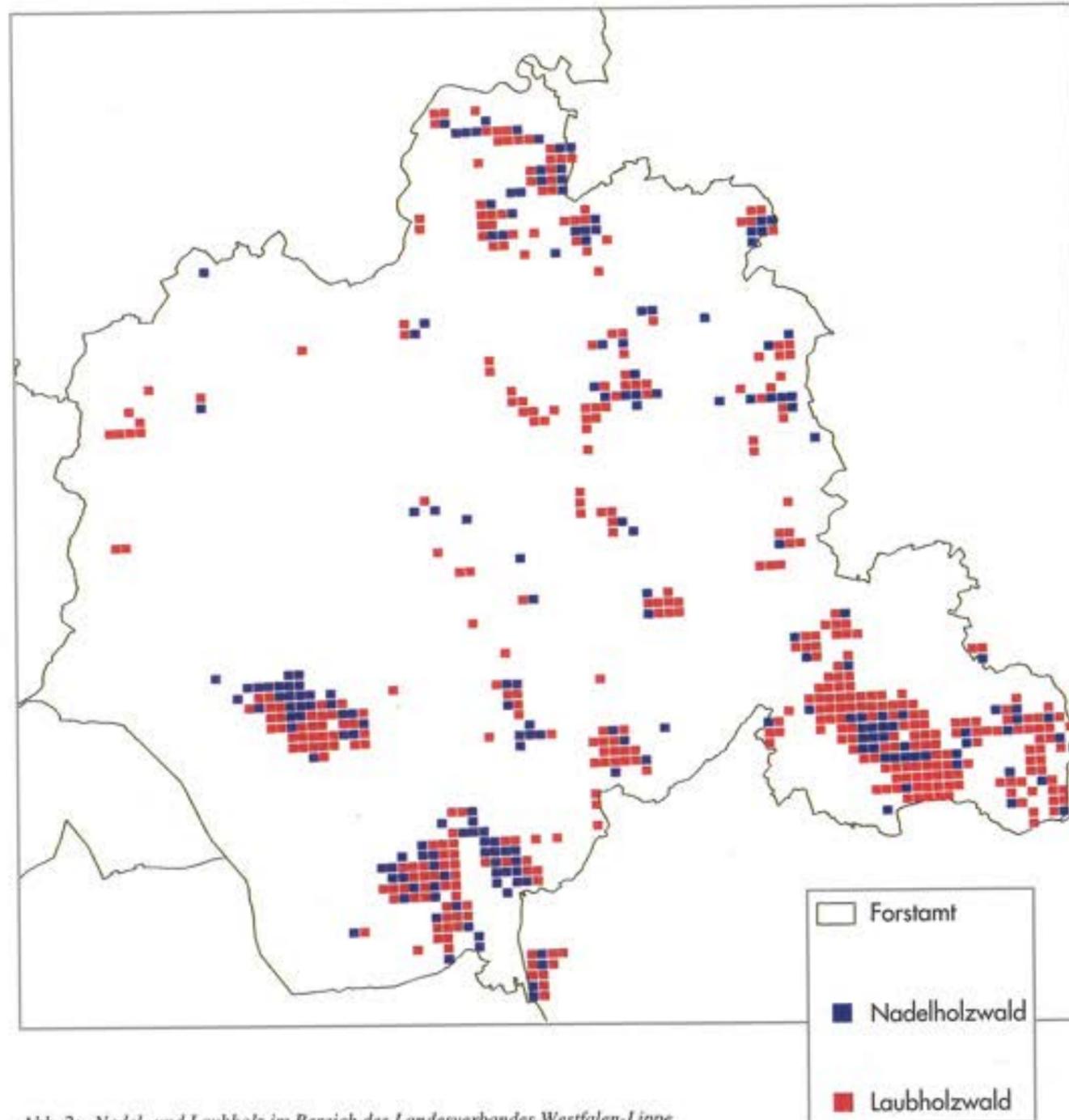


Abb. 2: Nadel- und Laubholz im Bereich des Landesverbandes Westfalen-Lippe

Ein anderes Schlagwort ist der Mischbestand. Für den Testlauf wurde einmal ausgewertet, wieviel Baumarten pro Stichprobe vorkommen (ab 10 cm BHD; Abb. 9). Im Ergebnis bestehen etwa 43 % der Stichproben aus nur einer Baumart. Umgekehrt weisen 57 % der Stichproben mehr als eine Baumart auf.

Von der Baumartenstruktur nun zu den Vorräten je ha. Im Vergleich zur Forsteinrichtung ergibt sich in der Inventur ein um 17 Efm höherer Vorrat (Abb. 10). Bei einigen Baumarten ist der Vorrat geringer, bei der Fichte liegt er praktisch gleichauf. Eine überraschend hohe Differenz weist die Buche auf. Der Unterschied findet sich durchgängig in allen Altersklassen. Wegen ihres hohen Flächenanteils und wegen der Höhe des Mehrvorrates von mehr als 60 Efm wird die Buche genauer analysiert.

Aber vorher soll ein kurzer Blick auf den Vorratsfehler geworfen werden. Die Abbildung 11 zeigt, daß der prozentuale Vorratsfehler nicht von der Vorratshöhe abhängt. Bezieht man den Fehler hingegen auf die zugehörige Fläche (Abb. 12), wird ein straffer Zusammenhang deutlich.

Aus der Fläche und dem Vorrat je Flächeneinheit ergibt sich der Gesamtvorrat (Abb. 13). Hier ist wiederum die Buche hervorzuheben. Trotz geringerer Fläche als in der Forsteinrichtung ist der Vorrat um 1,3 Mio. Efm höher. Insgesamt sind es im Laubholz 2,25 Mio. Efm mehr, im Nadelholz hingegen 0,5 Efm weniger. In der Gesamtsumme saldiert sich dies zu einem Plus von 1,75 Mio. Efm.

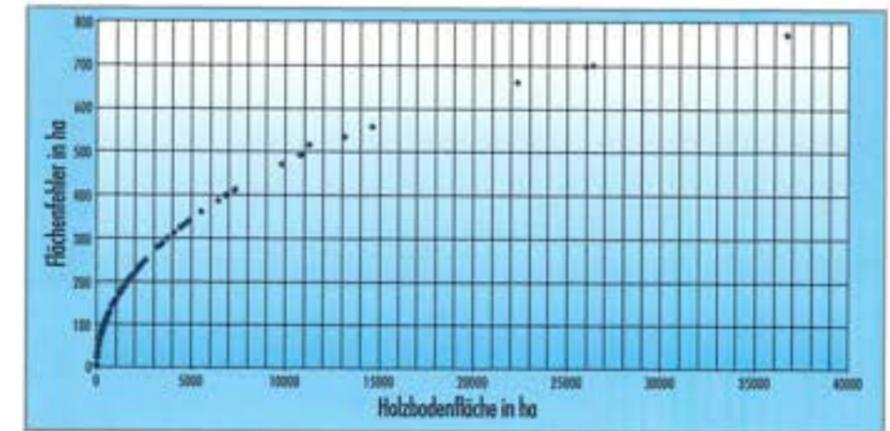


Abb. 5: Flächenfehler im Testlauf der Landeswaldinventur

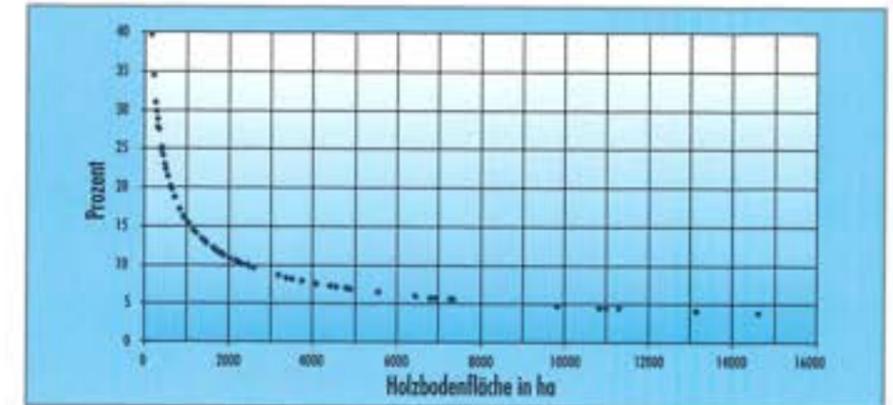


Abb. 6: Prozentualer Flächenfehler im Testlauf der Landeswaldinventur

Stufe	Radius m	erfaßte Anzahl	davon Hauptbestand		Hauptbestandsfläche ha
			Anzahl	%	
0 - 20 cm Höhe	1,5	15.583	1.149	7	853
21 - 50 cm Höhe	1,5	5.770	627	11	790
51 - 130 cm Höhe	1,5	2.769	419	15	1.139
0 - 6,9 cm BHD	2,0	5.592	2.546	46	5.291
7 - 9,9 cm BHD	2,0	699	429	61	2.541
10 - 14,9 cm BHD	3,0	1.697	1.356	80	6.614

Abb. 7: Verjüngungs- und Jungwuchsanalyse im Staatswald

Stufe	Eiche	Buche	ALh	ALn	Pappel	Laubb.	Kiefer	Lärche	Fichte	Douglasie	Nadelh.
0 - 20 cm	5	18	11	17	-	51	0	0	49	0	49
21 - 50 cm	6	38	11	17	2	74	0	-	24	2	26
51 - 130 cm	15	42	10	9	3	79	-	0	19	2	21
0 - 6,9 cm	15	39	9	15	4	81	2	1	12	4	19
7 - 9,9 cm	13	31	8	10	1	63	4	2	27	4	37
10 - 14,9 cm	8	28	8	10	0	54	3	4	35	4	46
Altersklasse 2	4	16	7	10	4	41	3	8	44	4	59
Altersklasse 3	5	17	4	9	2	37	13	7	42	1	63
Altersklasse 4	10	26	5	4	0	45	9	2	44	0	55
Altersklasse 5	19	23	4	2	0	48	8	0	44	0	52
Altersklasse 6	34	30	6	0	0	70	7	0	23	-	30
Gesamt	13	25	5	7	2	52	7	4	35	2	48

Abb. 8: Baumartenstruktur des Staatswaldes

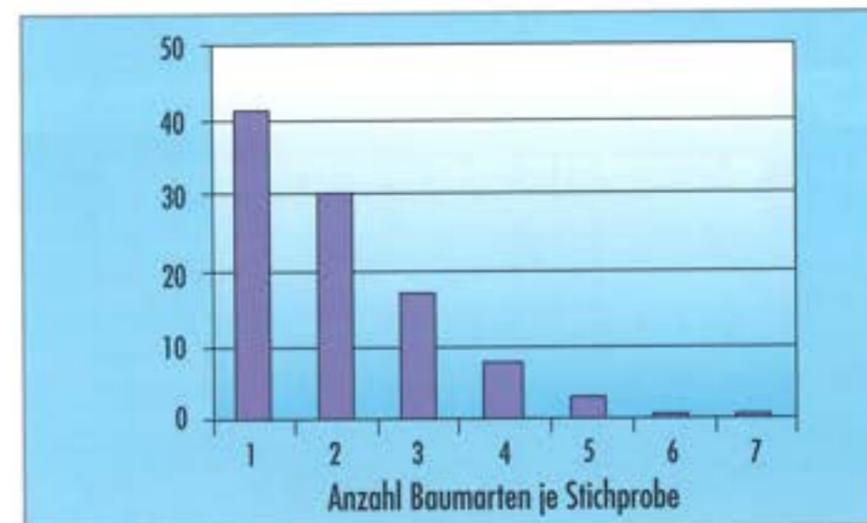


Abb. 9: LWI-Testlauf: Anteil Rein bzw. Mischbestände

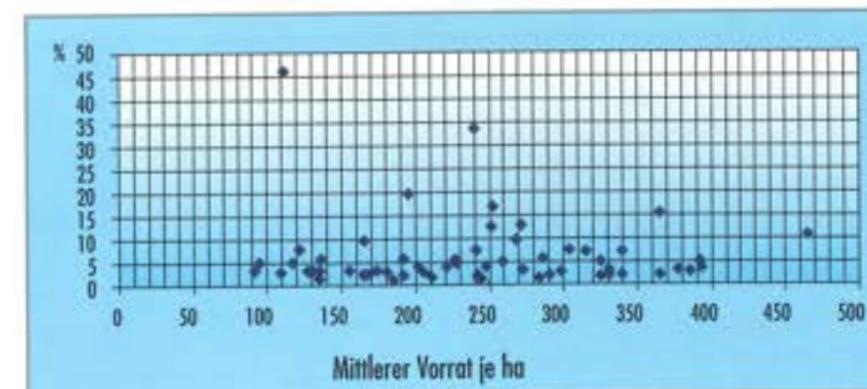


Abb. 11: Prozentualer Vorratsfehler im Testlauf der Landeswaldinventur

Auch hier darf eine Fehlerbetrachtung nicht fehlen. Aus den schon geschilderten Fehlerkomponenten ergibt sich der Gesamtvorratsfehler. Wegen seiner Höhe dominiert der Flächenfehler den Gesamtfehler und damit auch die Straftheit des Zusammenhangs zur Flächenausstattung der betrachteten Auswerteeinheit. Aus der Grafik 14 kann man ablesen, mit welchem Fehler der Gesamtvorrat behaftet ist. Da hier ein Raster von 500 m x 500 m zu Grunde liegt, ergäbe sich beim vorgesehenen Raster des Hauptlaufes von 1 km x 1 km etwa der doppelte Fehler. Aus der Grafik abgelesen: Bei 10.000 ha ergeben sich im Testlauf etwa 5 % Gesamtfehler. Daraus folgt, daß die Vorgabe eines Gesamtvorratsfehlers von 10 % für eine solche Flächengröße (Landkreise bzw. Forstämter) im Hauptlauf eingehalten werden wird.

Die vorstehenden Fehlerbetrachtungen beinhalten lediglich den Stichprobenfehler. Mögliche Meßfehler sind nicht berücksichtigt. Deswegen wird unter diesem Gesichtspunkt die Buche näher betrachtet. Da sowohl in der LWI als auch in der Forsteinrichtung die aufnehmenden Personen regional gearbeitet haben, wird der Buchenvorrat forstamtsweise verglichen. Bis auf eine Ausnahme übersteigt der Buchenvorrat der Inventur die Ergebnisse der Forsteinrichtung. Ein regionaler und damit möglicherweise personenbedingter Schwerpunkt ist nicht erkennbar (Abb. 15). Insgesamt beträgt der Mehrvorrat ca. 22 %.

In einer weiteren Analyse werden die ertragskundlichen Kenngrößen Grundfläche und Mittelhöhe miteinander verglichen (Abb. 16). In den jüngeren

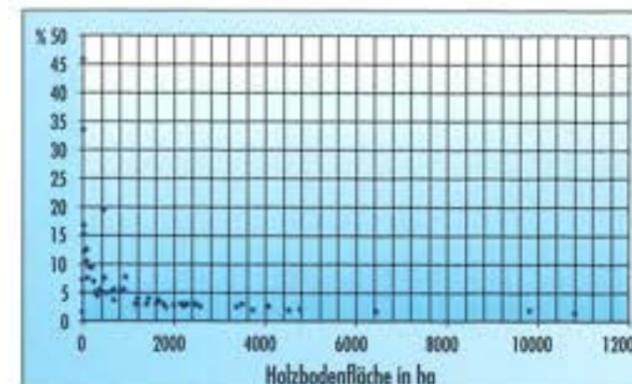


Abb. 12: Prozentualer Vorratsfehler im Testlauf der Landeswaldinventur

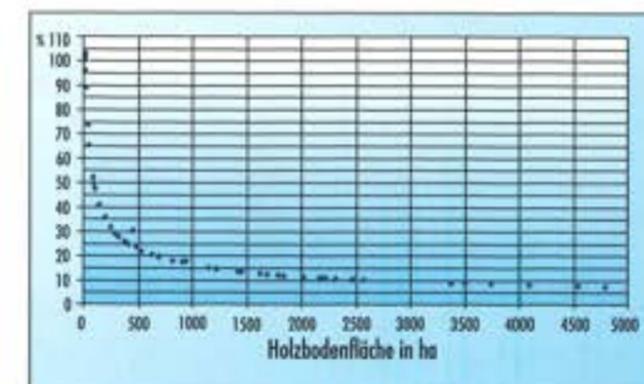


Abb. 14: Prozentualer Gesamtvorratsfehler im Testlauf der Landeswaldinventur

Baumartengruppe	Verfahren	Altersklasse								Alle
		0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 140	>140	
Eiche	FE	-	25	102	151	183	215	226	232	157
	LWI	26	99	126	156	182	200	234	271	177
	+ Efm	-	7	5	7	7	8	14	12	3
Buche	FE	-	19	110	186	265	299	294	287	174
	LWI	16	103	186	250	316	357	372	378	237
	+ Efm	-	5	5	6	9	12	14	12	3
ALh	FE	1	24	113	177	224	259	244	267	98
	LWI	18	108	183	214	273	318	427	546	162
	+ Efm	-	6	7	11	17	20	30	40	4
ALn	FE	6	75	114	126	170	-	-	-	90
	LWI	13	80	119	129	177	-	-	-	87
	+ Efm	-	4	4	9	20	-	-	-	2
Pappel	FE	74	150	195	205	-	-	-	-	152
	LWI	21	122	147	91	-	-	-	-	108
	+ Efm	-	12	45	94	-	-	-	-	13
Kiefer	FE	-	114	161	204	219	248	266	237	178
	LWI	52	164	155	213	257	218	310	253	189
	+ Efm	-	10	5	11	16	23	25	30	4
Lärche	FE	25	139	202	258	259	281	277	286	167
	LWI	44	130	162	223	278	362	215	323	148
	+ Efm	-	6	6	16	47	29	63	30	4
Fichte	FE	8	116	242	369	407	397	367	321	242
	LWI	27	147	236	324	359	379	387	461	239
	+ Efm	-	4	5	8	11	19	26	62	3
Douglasie	FE	22	154	272	408	468	-	-	-	126
	LWI	37	163	234	363	325	-	-	-	141
	+ Efm	-	11	17	19	75	-	-	-	7
Alle	FE	6	93	183	264	299	286	279	276	188
	LWI	25	128	192	263	301	298	330	341	205
	+ Efm	-	3	3	5	7	9	10	9	2

Abb. 10: Vergleich der Vorräte je ha von Forsteinrichtungen und LWI; (Staatswald ohne Sondervermögen)

Baumartengruppe	Verfahren	Altersklasse								Alle
		0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 140	> 140	
Eiche	FE	1	18	108	186	410	541	328	505	2 097
	LWI	36	83	154	223	371	494	344	629	2 334
Buche	FE	-	76	519	821	664	661	796	1 406	4 942
	LWI	52	363	845	940	817	787	926	1 539	6 268
Alh	FE	-	31	79	97	85	86	29	8	415
	LWI	19	177	214	150	116	124	48	53	901
Aln	FE	3	111	196	58	31	11	2	-	413
	LWI	21	174	265	82	37	16	4	2	600
Pappel	FE	10	117	77	1	-	-	-	-	204
	LWI	8	116	68	3	3	1	-	-	198
Kiefer	FE	-	104	606	301	250	144	85	33	1 524
	LWI	44	114	525	262	214	107	80	39	1 386
Lärche	FE	6	256	300	74	18	8	2	2	666
	LWI	14	234	298	74	16	1	7	8	653
Fichte	FE	17	1 257	2 564	2 503	1 857	676	197	44	9 114
	LWI	66	1 443	2 561	2 095	1 721	643	207	49	8 786
Douglasie	FE	17	139	69	8	12	10	-	-	255
	LWI	22	150	70	9	15	-	-	-	267
Alle	FE	54	2 109	4 518	4 049	3 327	2 137	1 439	1 997	19 630
	LWI	283	2 853	5 000	3 837	3 310	2 174	1 616	2 319	21 392

Abb. 13: Vergleich der Vorräte (1000 Efm o.R.) von Forsteinrichtung und LWI; (Staatwald ohne Sondervermögen)

Beständen der Buche ist die Bonität der Inventur deutlich besser als nach Forsteinrichtung. Im Altholz ist die Situation umgekehrt, aber längst nicht in dem Ausmaß. Über alle Altersklassen gleichgerichtet ist jedoch der Vorsprung in der Grundflächenhaltung. Drückt man die Grundflächendifferenz in Prozent aus und wichtet sie mit der Fläche, so sind alleine dadurch 15 % Mehrvorrat erklärt. Hinzu kommt die bessere Bonität und der Vorrat in der ersten Altersklasse, der in der Forsteinrichtung überhaupt nicht ausgewiesen wird. Insgesamt kann so der enorme Unterschied plausibel erklärt werden.

Am Beispiel des Landesverbandes Lippe wurde eine vergleichende Analyse des Buchenvorrates von Staatwald und Landesverband vorgenommen (Abb. 17). Die Summenkurve zeigt, daß der Anteil des Starkholzes über 60 cm BHD im Staatwald um ca. 7,5 % höher liegt

Forstamt	Vorrat (Efm o.R.) Forsteinrichtung	Vorrat (Efm o.R.) Landeswaldinventur
Kleve	201.388	251.855
Wesel	150.620	209.108
Hürtgenwald	300.909	455.373
Bergisch Gladbach	117.437	169.536
Schleiden	339.701	378.853
Bonn	204.112	302.053
Eitorf	141.411	239.807
Hilchenbach	317.604	352.848
Schmallenberg	325.431	394.416
Attendorn	69.527	118.734
LenneStadt	46.412	38.809
Arnsberg	538.037	589.178
Münster	81.340	120.946
Paderborn	1.217.162	1.365.189
Bad Driburg	946.206	1.107.845
Minden	128.807	152.280
Staatwald	5.126.104	6.246.830

Abb. 15: Vergleich der Buchenvorräte von Forsteinrichtung und LWI

als beim Landesverband. Dies ist sicher eine für betriebswirtschaftliche Vergleiche wichtige Größe.

Neben einer Betrachtung für den gesamten Staatwald ist natürlich auch eine Differenzierung des Vorrates nach Forstämtern möglich (Abb. 18). Hervorzuheben ist der Buchenschwerpunkt in Ostwestfalen-Lippe: Paderborn, Bad Driburg und Landesverband mit zusammen ca. 4,5 Mio. Efm Buche.

Viel interessanter ist m.E. die Betrachtung des Industrielozes (Abb. 19). Und wieder ist die Buche im Blickfeld: Sie alleine stellt die Hälfte des Industrielozes, das Laubholz insgesamt 80 %. Die Zahlen unterstreichen die schon vielfach diskutierte Notwendigkeit für weitere Verwertungsmöglichkeiten dieser Problemsortimente.

Ein weiterer Blick soll der Sortenstruktur der Fichte gewidmet werden (Abb. 20). Markiert wurde einmal der Fichtenschwerpunkt in der Eifel mit dem Sortenschwerpunkt in der Klasse 1B einerseits, und der Fichtenschwerpunkt im Hochsauerland mit Stärkeschwerpunkt in 2A/2B andererseits. Die Erklärung liegt in der weitgehenden Zerstörung des Eifelwaldes im 2. Weltkrieg und dem daraus folgenden jungen Durchschnittsalter. Logischerweise schlägt sich dies auch in einer anderen Kennzahl nieder, nämlich im Mittelstammvolumen (Abb. 21). Das Durchschnittsvolumen der Fichte im Hochsauerland ist ca. 50 % höher als in der Eifel. Bei der Eiche fallen die vergleichsweise

Baumart	Altersklasse	Grundfläche (m ² /ha)		Mittelhöhe (m)	
		FE	LWI	FE	LWI
Eiche	II	17,0	14,7	8,6	13,4
	III	18,6	21,1	14,6	16,9
	IV	20,3	22,7	18,0	19,4
	V	21,6	23,2	20,8	21,5
	VI	22,2	23,5	23,5	23,6
	VII	22,3	24,7	25,2	26,3
	> VII	19,7	26,5	26,2	27,2
Buche	II	13,6	18,7	7,5	14,2
	III	21,2	24,2	15,8	18,2
	IV	23,3	25,8	21,5	22,3
	V	26,4	28,3	25,8	24,9
	VI	27,6	28,3	28,2	27,6
	VII	25,3	29,3	29,6	29,3
	> VII	26,3	29,0	30,1	29,7
Kiefer	II	25,3	25,4	12,6	15,3
	III	24,5	25,1	16,2	18,0
	IV	25,9	27,9	20,7	22,1
	V	26,0	31,7	22,9	23,6
	VI	25,4	27,8	24,6	23,8
	VII	27,3	36,2	26,6	24,9
	> VII	23,9	30,3	26,1	25,2
Fichte	II	27,7	27,4	11,0	15,0
	III	33,3	34,6	18,6	20,1
	IV	38,4	39,6	24,9	25,7
	V	39,3	40,3	27,6	28,6
	VI	33,9	41,1	30,3	30,0
	VII	31,2	42,2	31,6	30,6

Abb. 16: Vergleich ertragskundlicher Kenngrößen

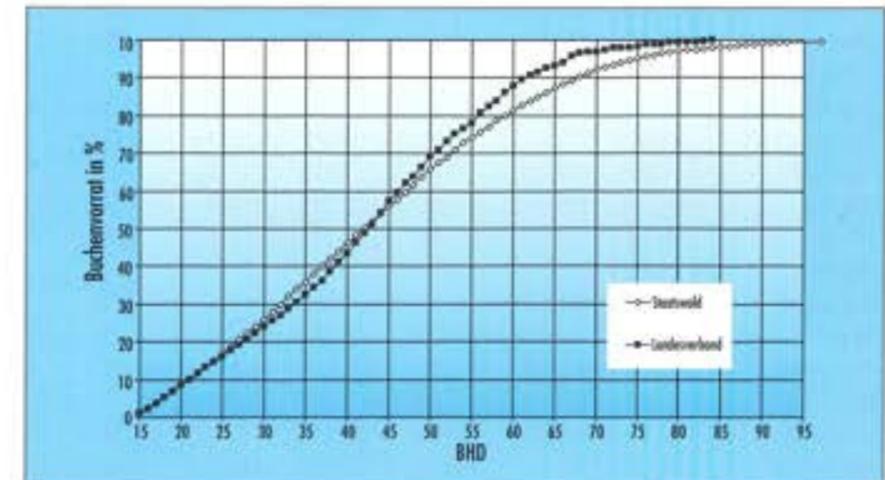


Abb. 17: Summenkurve des Buchenvorrats

Forstamt	Eiche	Buche	ALh	ALn	Pappel	Kiefer	Lärche	Fichte	Douglasie	Alle
Kleve	105.390	251.855	9.111	32.059	274	297.349	104.143	110.221	52.573	962.975
Wesel	157.207	209.108	23.739	91.708	1.230	241.704	40.467	37.575	12.829	815.565
Hürtgenwald	232.880	455.373	52.505	84.270	1.821	85.260	32.658	1.511.670	34.116	2.490.554
Bergisch-Gladbach	176.295	169.536	48.632	46.551	2.394	164.098	27.701	388.230	44.520	1.067.956
Schleiden	116.190	378.853	39.477	30.433	2.640	29.277	10.191	618.781	10.154	1.235.996
Bonn	351.777	302.053	223.836	71.125	130.562	130.787	48.412	215.995	13.560	1.488.107
Eitorf	185.337	239.807	71.026	48.448	19.862	113.925	31.084	685.583	20.693	1.415.764
Hilchenbach	64.481	352.848	10.357	6.277	534	264	14.075	747.669	16.652	1.213.156
Schmallenberg	10.369	394.417	12.745	1.342	131	406	3.741	442.916	3.330	869.397
Attendorn	77.150	118.734	12.001	27.889	471	1.517	78.495	893.232	1.166	1.210.655
Lennestadt	28.007	38.809	4.335	7.649	75	1.940	14.250	328.633	3.263	426.961
Arnsberg	222.424	589.178	23.917	42.829	336	9.166	57.766	963.180	22.094	1.930.890
Münster	190.479	120.946	65.635	28.451	8.763	24.711	10.783	38.507	419	488.694
Paderborn	133.554	1.365.189	145.133	21.410	4.503	8.963	47.372	862.112	9.431	2.597.668
Bad Driburg	155.318	1.107.845	121.016	23.405	2.166	7.372	83.388	806.200	9.688	2.316.398
Minden	118.877	152.280	38.477	18.681	928	235.409	43.413	70.293		678.358
Staatswald	2.325.735	6.246.829	901.941	582.526	176.690	1.352.149	647.938	8.720.798	254.486	21.209.094
Horn	172.764	838.025	84.780	37.790	10.343	82.102	55.009	512.248	10.136	1.803.197
Schieder	123.080	1.165.408	51.594	28.174	7.357	9.669	58.954	370.660	17.617	1.832.514
KVR	158.541	189.072	69.601	273.453	61.095	432.936	63.611	148.531	152	1.396.992

Abb. 18: Vorrat (Efm o. R.) nach Baumartengruppen

Forstamt	Eiche	Buche	ALh	ALn	Pappel	Kiefer	Lärche	Fichte	Douglasie	Alle
Kleve	45.130	145.110	7.340	21.024	245	15.808	4.952	7.345	9.988	256.942
Wesel	43.930	109.060	10.905	61.368	735	16.513	1.960	4.138	391	249.000
Hürtgenwald	86.565	212.211	36.719	52.318	945	7.304	4.916	161.209	4.997	567.183
Bergisch-Gladbach	61.956	105.037	35.184	31.584	792	31.546	5.548	17.145	5.944	294.736
Schleiden	49.442	162.013	26.305	21.968	1.221	6.019	1.952	84.720	1.159	354.800
Bonn	106.436	174.032	147.400	41.853	47.732	11.697	9.367	26.553	1.854	566.926
Eitorf	74.846	124.695	37.454	22.248	5.527	11.453	6.031	64.446	6.896	353.597
Hilchenbach	20.563	177.098	4.558	3.869	391		3.730	80.062	5.196	295.468
Schmallenberg	1.488	162.703	4.190	586	121	94	657	44.335	1.186	215.360
Attendorn	33.819	71.507	7.677	18.601	276	139	10.526	93.833	925	237.305
Lennestadt	11.854	29.493	2.820	4.210	71	58	4.197	23.727	2.013	78.444
Arnsberg	64.219	315.606	12.188	30.337	306	943	9.017	70.542	3.209	506.368
Münster	54.019	57.397	34.180	22.507	4.514	1.796	1.525	2.628	66	178.634
Paderborn	31.985	566.252	64.950	16.297	2.125	1.879	6.828	77.803	1.524	769.642
Bad Driburg	37.656	448.313	65.025	14.263	925	1.746	15.525	80.897	1.371	665.722
Minden	34.929	64.943	21.344	10.743	886	56.853	9.817	8.444		207.958
Staatswald	758.838	2.925.470	518.241	373.775	66.815	163.851	96.548	847.826	46.720	5.798.084
Horn	56.255	389.620	47.111	26.002	2.327	12.078	10.710	46.682	610	591.396
Schieder	40.094	525.557	28.490	17.916	3.353	703	14.141	37.235	902	668.391
KVR	61.535	99.847	45.352	196.674	18.943	49.054	8.727	9.206	61	489.399

Abb. 19: Industrieholzvorrat (Efm o. R.) nach Baumartengruppen

Forstamt	X-Holz	Industrieh.	1A	1B	2A	2B	3A	>3B	Summe
Kleve	3.493	7.345	7.086	37.029	30.130	21.090	4.049	0	110.221
Wesel	1.532	4.138	5.086	15.932	9.023	1.862		0	37.575
Hürtgenwald	48.692	161.209	123.495	426.731	335.066	221.779	116.317	78.151	1.511.440
Bergisch-Gladbach	10.858	17.145	25.762	88.754	94.920	82.589	41.033	26.832	387.893
Schleiden	21.858	84.720	60.400	140.757	123.863	96.969	39.807	50.407	618.781
Bonn	7.396	26.553	19.859	50.929	61.367	29.643	12.814	7.434	215.995
Eitorf	22.818	64.446	71.838	197.253	160.921	112.684	31.378	24.245	685.583
Hilchenbach	19.378	80.062	29.989	100.740	185.634	173.382	99.661	58.823	747.669
Schmallenberg	11.564	44.335	18.504	71.113	89.082	102.819	62.795	42.704	442.916
Attendorn	25.275	93.833	50.264	179.108	235.477	185.066	78.818	45.391	893.232
Lennestadt	8.515	23.727	12.200	60.063	92.317	83.413	33.215	15.183	328.633
Arnsberg	29.442	70.542	64.060	204.406	255.003	196.331	99.229	44.167	963.180
Münster	1.118	2.628	2.341	8.598	14.130	4.473	3.176	2.042	38.507
Paderborn	24.275	77.803	42.251	157.927	198.403	187.500	100.618	73.336	862.112
Bad Driburg	27.057	80.897	66.305	195.273	216.347	137.510	68.789	14.021	806.200
Minden	2.505	8.444	9.352	20.895	17.684	7.345	2.243	1.312	69.779
Staatswald	265.777	847.826	608.791	1.955.508	2.119.367	1.644.457	793.941	484.049	8.719.716
Horn	16.571	46.682	42.152	125.249	124.258	64.119	51.260	41.956	512.248
Schieder	12.800	37.235	41.542	114.394	92.411	47.514	19.133	1.163	366.192
KVR	4.852	9.206	11.743	44.330	39.047	27.039	7.607	3.528	147.351

Abb. 20: Vorratsstruktur der Fichte (Efm o. R.)

Forstamt	Eiche	Buche	sonst. Laubholz	Kiefer	Fichte
Kleve	0,55	0,51	0,28	0,34	0,33
Wesel	0,80	0,54	0,24	0,43	0,32
Hürtgenwald	0,46	0,64	0,24	0,30	0,41
Bergisch-Gladbach	1,16	0,47	0,29	0,82	0,49
Schleiden	0,37	0,62	0,26	0,33	0,37
Bonn	0,95	0,46	0,49	0,45	0,42
Eitorf	0,47	0,51	0,35	0,48	0,43
Hilchenbach	0,86	0,65	0,15	0,28	0,60
Schmallenberg	1,25	0,64	0,17	0,52	0,61
Attendorn	0,50	0,47	0,19	0,29	0,52
Lennestadt	0,46	0,34	0,30	0,34	0,61
Arnsberg	1,45	0,69	0,25	0,51	0,49
Münster	1,05	0,58	0,26	0,44	0,54
Paderborn	1,44	0,79	0,26	0,57	0,52
Bad Driburg	0,93	0,69	0,29	0,48	0,43
Minden	1,01	0,66	0,26	0,42	0,34
Horn	1,30	0,67	0,34	0,42	0,43
Schieder	0,83	0,71	0,32	0,47	0,39
KVR	0,59	0,77	0,30	0,32	0,43

Abb. 21: Mittelstammvolumen nach Buchungsgruppen (Efm o. R.)

geringen Mittelstammvolumina im Mittelgebirge auf.

Das Mittelstammvolumen ist eine wichtige Kennzahl für betriebswirtschaftliche Analysen. Damit wären wir bei der Ökonomie. Aktuelles Thema dazu ist in NRW ein Gutachten, daß die Möglichkeiten der Einführung einer Kaufmännischen Buchführung prüfen soll. Dafür wurde versucht, Werte für eine Eröffnungsbilanz zu kalkulieren. Die nachfolgenden Werte sind nur als ein erster Versuch zu verstehen. Gefolgt wurde einem Vorschlag, der von einer verwaltungsinternen Arbeitsgruppe in Bayern erarbeitet wurde. Danach setzt sich der Bestandeswert zusammen aus einem baumartenabhängigen, pauschalen Kostenansatz für Jungbestände und dem Zerschlagungswert (Abtriebswert) ab demjenigen Alter, ab dem der Abtriebswert den Kostenwert übersteigt.

Das Ergebnis steht und fällt natürlich mit den Wertansätzen. Benutzt wurden dazu die Waldbewertungsrichtlinien des Landes Nordrhein-Westfalen. Für Jungbestände sind dies die Kosten für Pflanzbestände, und ab BHD 20 cm die Differenz zwischen Holzerlös und Holzerterkosten. Diese Angaben werden in den Richtlinien bezogen auf den mittleren BHD eines Bestandes angegeben. Diese Angaben wurden auf den BHD des Einzelbaumes bezogen. So bekommt jeder Baum des Hauptbestandes einen Wert zugeordnet, und es können Werte für die gewünschten Auswerteeinheiten kalkuliert werden (Abb. 22). Hervorzuheben ist, daß die Lohnnebenkosten in den Waldbewertungsrichtlinien mit nur 85 %

Baumarten-Jungbestandwertgruppe	DM	Abtriebswert DM	Gesamtwert DM
Eiche	51.243.070	338.096.412	389.339.482
Buche	139.016.193	569.867.144	708.883.337
ALh	19.694.653	70.924.557	90.619.210
ALn	13.598.901	22.182.728	35.781.629
Pappel	1.506.240	10.649.319	12.155.559
Summe Laubholz	225.059.057	1.011.720.160	1.236.779.217
Kiefer	11.645.891	59.250.754	70.896.645
Lärche	4.357.902	25.415.438	29.773.340
Fichte	52.976.475	740.106.447	793.082.922
Douglasie	6.926.231	17.489.915	24.416.146
Summe Nadelholz	75.906.499	842.262.554	918.169.053
Gesamt	300.965.556	1.853.982.714	2.154.948.270

Abb. 22: Bestandeswert des Staatswaldes ohne Sondervermögen

angesetzt sind. Deshalb sollte das Augenmerk nicht so sehr auf den absoluten Zahlen, sondern mehr auf dem prinzipiellen Weg der Verwendung von Inventurdaten liegen.

Natürlich läßt sich das Ergebnis wie gewohnt nach Forstämtern und /oder Baumartengruppen differenzieren (Abb. 23). Es verwundert nicht, daß das vorratsreichste Forstamt auch das wertvollste ist. Auch ist selbstverständlich ein

Forstamt	Jungbestandwert	Abtriebswert	Gesamtwert
Kleve	63.024	22.105	85.129
Wesel	63.359	15.985	79.344
Hürtgenwald	195.715	30.222	225.938
Bergisch-Gladbach	99.356	17.633	116.989
Schleiden	99.746	23.204	122.950
Bonn	133.655	29.480	163.135
Eitorf	107.508	20.664	128.172
Hilchenbach	113.115	16.478	129.593
Schmallenberg	77.393	9.831	87.224
Attendorn	99.885	10.297	110.182
Lennebstadt	35.112	7.317	42.429
Arnsberg	183.699	25.410	209.109
Münster	50.662	5.748	56.410
Paderborn	249.363	25.686	275.050
Bad Driburg	205.206	28.710	233.917
Minden	53.159	7.490	60.649
Staatwald	1.829.958	296.260	2.126.218

Abb. 23: Bestandeswert (in Tausend DM) der Staatswald bewirtschaftenden Forstämter

Forstamt	Eiche	Buche	ALh	ALn	Pappel	Kiefer	Lärche	Fichte	Douglasie	Alle
Kleve	148 DM	85 DM	44 DM	28 DM	2 DM	31 DM	39 DM	77 DM	54 DM	65 DM
Wesel	148 DM	95 DM	92 DM	38 DM	24 DM	41 DM	36 DM	60 DM	70 DM	78 DM
Hürtgenwald	96 DM	91 DM	38 DM	34 DM	13 DM	35 DM	27 DM	80 DM	78 DM	79 DM
Bergisch-Gladbach	180 DM	88 DM	54 DM	41 DM	56 DM	64 DM	40 DM	88 DM	57 DM	93 DM
Schleiden	96 DM	96 DM	56 DM	30 DM	46 DM	46 DM	26 DM	75 DM	88 DM	81 DM
Bonn	164 DM	88 DM	68 DM	33 DM	54 DM	46 DM	31 DM	75 DM	69 DM	90 DM
Eitorf	103 DM	83 DM	65 DM	48 DM	63 DM	51 DM	33 DM	76 DM	67 DM	76 DM
Hilchenbach	137 DM	87 DM	143 DM	10 DM		31 DM	39 DM	94 DM	73 DM	93 DM
Schmallenberg	165 DM	79 DM	139 DM	14 DM		23 DM	63 DM	95 DM	110 DM	89 DM
Attendorn	100 DM	83 DM	40 DM	29 DM	7 DM	32 DM	29 DM	88 DM	3 DM	83 DM
Lennebstadt	81 DM	40 DM	92 DM	60 DM	5 DM	38 DM	31 DM	91 DM	27 DM	82 DM
Arnsberg	176 DM	91 DM	86 DM	49 DM	1 DM	44 DM	47 DM	85 DM	75 DM	95 DM
Münster	150 DM	85 DM	91 DM	20 DM	50 DM	46 DM	31 DM	86 DM	71 DM	104 DM
Paderborn	173 DM	93 DM	117 DM	17 DM	86 DM	66 DM	50 DM	90 DM	88 DM	96 DM
Bad Driburg	136 DM	93 DM	78 DM	63 DM	21 DM	72 DM	46 DM	80 DM	91 DM	89 DM
Minden	153 DM	103 DM	75 DM	33 DM		39 DM	45 DM	67 DM		78 DM
Staatwald	142 DM	90 DM	78 DM	36 DM	54 DM	43 DM	39 DM	84 DM	68 DM	86 DM

Abb. 24: Abtriebswert je Efm o. R. der Staatswald bewirtschaftenden Forstämter

Baumartengruppe	stehend tot mit Krone	stehend tot ohne Krone	liegendes Totholz	Summe Totholz
Eiche	22.082	19.673	4.017	45.773
Buche	6.576	45.143	6.935	58.654
Alh	3.421	5.101	1.304	9.825
Aln	3.973	15.584	376	19.933
Pappel	1.094	2.277	757	4.128
Kiefer	14.771	14.644	3.249	32.665
Lärche	4.261	3.570	702	8.532
Fichte	13.517	82.217	10.599	106.333
Douglasie		514		514
Alle	69.695	188.721	27.940	286.356

Abb. 25: Totholzvorrat nach Baumartengruppen im Staatswald

Bezug auf den absoluten Vorrat möglich: es ergeben sich dann Werte pro Festmeter (Abb. 24).

Nach soviel Ökonomie nun zur Ökologie. In der Inventur aufgenommen haben wir auch das Totholz, stehendes und liegendes. Das Letztere aber nur ab einem Durchmesser von 25 cm.

Für den Staatswald errechnet sich ein Totholzvorrat von ca. 2,5 Festmetern pro ha (keine Differenzierung nach Vorrats- oder Erntefestmeter). Interessant ist, daß

Forstamt	keine	bis 1 dm	1-2 dm	2-3 dm	3-4 dm	4-5 dm	5-6 dm	6-7 dm	7-8 dm	8-9 dm
Kleve	78	118	33	8	3	1				
Wesel	77	101	18	7	1					
Hürtgenwald	422	55	24	4	3	1				
Bergisch-Gladbach	172	13	11	7	4	2				
Schleiden	190	71	15	2	1					
Bonn	282	38	23	6	2					
Eitorf	232	48	6	1	2					
Hilchenbach	132	57	22	11			1			
Schmallenberg	86	22	25	11	3					
Attendorf	161	44	10	3	1	1				
Lennestadt	56	13	11	2						
Arnsberg	270	13	44	22	3					
Münster	85	11		1						
Paderborn	196	95	65	38	1	1				
Bod Driburg	207	133	41	13	8	2				
Minden	60	20	25	11	1					
Staatswald	2706	852	373	147	33	8	1			
Horn	183	50	43	27	3					
Schieder	168	62	34	24	5					
KVR	278	25	19	8	4	1	2			2

Abb. 27: Anzahl Stichproben nach maximaler Tiefe der Bodenschäden

sich das unterschiedliche Totholzverhalten von Eiche und Buche im Ergebnis widerspiegelt (Abb. 25). Die Eiche verliert zwar ihre schwächeren unverkern-ten Äste, jedoch bleibt sie lange mit Krone stehen. Anders verhält sich die Buche. Der Stamm wird rasch weißfaul und bricht. Es bleiben nur mehr oder weniger hohe Stümpfe stehen.

Eine aktuelle Anfrage aus dem Ministerium betrifft den Fremdländeranteil im Staatswald. Je nach Auswertungskriterium ergibt sich ein Anteil von 4 % bzw. etwas über 5 % (Abb. 26).

Ein anderes ökologisches Thema sind die Bodenschäden. Für den Probekreis von 12 m Radius wurde in der Inventur erhoben, ob Bodenschäden vorkommen. Wenn ja war anzugeben die maximale Tiefe in dm und der geschädigt Flächenanteil in 10er Prozentstufen.

Zunächst zur Tiefe der Schäden (Abb. 27). Die relative Verteilung auf Tiefenstufen zeigt den geringen Anteil nicht geschädigter Probeflächen in Kleve und Wesel (Abb. 28). Im gesamten Staatswald liegt der Anteil doppelt so hoch. Der Anteil mit mehr als 3 dm Tiefe ist gering.

Nun zum geschädigten Flächenanteil (Abb. 29). Dazu sind die Besetzungshäufigkeit mit dem Klassenmittelwert gewichtet. So ergibt sich ein zugegebenermaßen grober Schätzwert für den insgesamt betroffenen Flächenanteil. Dieser streut sehr stark zwischen den Forstämtern. Ins Auge springen die zweistelligen Prozentwerte der Forstämter Kleve, Wesel und Minden. Zu vermuten ist, daß

	Vorrat (Vfm m.R.)	Grundfläche (m ²)	Baumzahl (Stück)	Fläche (ha)
Heimisch	27.537.777	2.780.366	129.973.773	103.647
Fremd	1.152.690	138.692	5.497.359	5.827
Gesamt	28.690.467	2.919.058	135.471.132	109.474
Heimisch	95,98 %	95,25 %	95,94 %	94,68 %
Fremd	4,02 %	4,75 %	4,06 %	5,32 %
Anmerkung:	Einbezogen in die Auswertung sind alle Bäume ab einem BHD von 10 cm			

Abb. 26: Fremdländeranteil im Staatswald einschl. Sondervermögen

Forstamt	keine	bis 1 dm	1-2 dm	2-3 dm	3-4 dm	4-5 dm	5-6 dm	6-7 dm	7-8 dm	8-9 dm
Kleve	32%	49%	14%	3%	1%	0%				
Wesel	38%	50%	9%	3%	0%					
Hürtgenwald	83%	11%	5%	1%	1%	0%				
Bergisch-Gladbach	82%	6%	5%	3%	2%	1%				
Schleiden	68%	25%	5%	1%	0%					
Bonn	80%	11%	7%	2%	1%					
Eitorf	80%	17%	2%	0%	1%					
Hilchenbach	59%	26%	10%	5%			0%			
Schmallenberg	59%	15%	17%	7%	2%					
Attendorf	73%	20%	5%	1%	0%	0%				
Lennestadt	68%	16%	13%	2%						
Arnsberg	77%	4%	13%	6%	1%					
Münster	88%	11%		1%						
Paderborn	49%	24%	16%	10%	0%	0%				
Bod Driburg	51%	33%	10%	3%	2%	0%				
Minden	51%	17%	21%	9%	1%					
Staatswald	66%	21%	9%	4%	1%	0%	0%			
Horn	60%	16%	14%	9%	1%					
Schieder	57%	21%	12%	8%	2%					
KVR	82%	7%	6%	2%	1%	0%	1%		1%	1%

Abb. 28: Anzahl Stichproben nach maximaler Tiefe der Bodenschäden

Forstamt	keine	<10%	11-20%	21-30%	31-40%	41-50%	51-60%	61-70%	71-80%	81-90%	Flächenanteil
Kleve	78	51	54	30	17	2	5	2	2		13%
Wesel	77	17	27	39	19	11	4	3	6	1	18%
Hürtgenwald	422	28	34	10	10	4	1				3%
Bergisch-Gladbach	172	19	11	4	2		1				2%
Schleiden	190	55	20	8	6						4%
Bonn	282	31	22	9	6	1					3%
Eitorf	232	49	8								1%
Hilchenbach	132	59	20	5	4	2		1			5%
Schmallenberg	86	15	26	12	2	2		1	3		8%
Attendorn	161	46	8	4	1						2%
LenneStadt	56	24	1		1						2%
Arnsberg	270	17	23	15	9	7	2	2	3	4	6%
Münster	85	10	1			1					1%
Paderborn	196	88	58	36	6	6	5	1			8%
Bad Driburg	206	87	55	34	11	8	2	1			8%
Minden	60	10	8	28	11						11%
Staatswald	2705	606	376	234	105	44	20	11	14	5	6%
Horn	183	23	39	37	13	4	2	2	2	1	9%
Schieder	168	14	38	49	16	3	2	1	1	1	10%
KVR	278	25	24	7	1	3				1	3%

Abb. 29: Anzahl Stichproben nach Flächenanteil mit Bodenschäden

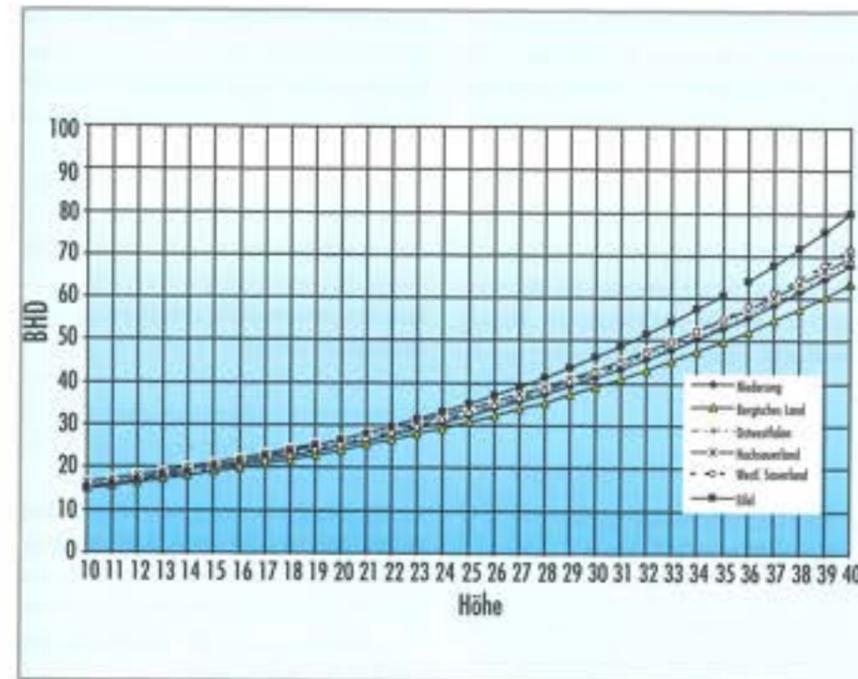


Abb. 30: Baumart: Fichte nach Regionen getrennt; BHD geschätzt; Datengrundlage: LWI

die ebene Lage und die leichten Böden zur flächigen Befahrung einladen. Die 8 % in Schmallenberg sind fürs Mittelgebirge relativ hoch.

Ein völlig andersartiger Themenblock ist die Nutzung der Inventurdaten für dendrometrische Fragen. Aus der Inventur steht ein repräsentativer Pool von Meßdaten zur Verfügung. Ein Beispiel der Nutzung soll gezeigt werden.

Aus der Forsteinrichtungspraxis wissen wir, daß für Nordrhein-Westfalen die Durchmesserangaben in unseren gängigen Ertragstafeln über alle Baumarten hinweg zu gering sind. Deshalb haben wir das Prinzip der Höhenkurve

einmal umgedreht und den Durchmesser in Abhängigkeit von der Höhe regressionsanalytisch ausgedrückt. Verwendet wurde durchgängig der logarithmische Funktionstyp. Bei den Hauptbaumarten ergab sich aufgrund der Datenmenge darüberhinaus die Möglichkeit zur regionalen Differenzierung. Für die Fichte liegt das folgende Ergebnis vor (Abb. 30).

In der Grafik hebt sich die Eifel deutlich ab. Bei gleicher Höhe sind die Fichten dort dicker. Diese Funktionen werden in die aktuell laufenden Programmierungsarbeiten zur Wirtschaftsplanung einbezogen.

5. Ausblick

Der Testlauf zur Landeswaldinventur bezieht sich nur auf den Staatswald. Deshalb sind die vorgestellten Ergebnisse quasi eine Betriebsanalyse für den Staatswald. Es konnten allerdings in der kurzen Zeit noch nicht alle erhobenen Variablen in die Auswertungen einbezogen werden. Aufgrund des gezeigten breiten Spektrums von Auswertungsmöglichkeiten verspricht eine auf den gesamten Wald in NRW ausgedehnte Inventur mit Sicherheit interessante und noch weitergehende Informationen über dessen Struktur.

Methodenerprobung der Finnischen Nationalen Multiquellen-Waldinventur in Nordrhein-Westfalen^(*)

Prof. Erkki Tomppo und Anssi Pekkarinen (**)

Einführung

Die Zielsetzung des Projekts besteht darin, die Anwendbarkeit des in Finnland gebräuchlichen nationalen Multiquellen-Inventursystems bei der Schätzung der Waldressourcen des Landes Nordrhein-Westfalen zu prüfen.

Die Methode arbeitet mit terrestrischen Stichproben, Satellitenaufnahmen und digitalen Kartendaten. Mittels der aus mehreren Quellen stammenden Informationen sollte es möglich sein, die Ergebnisse für kleinere Flächen zu berechnen, als dies bei ausschließlicher Nutzung von Stichproben der Fall ist.

Multiquellendaten werden zur Schätzung neuer Flächengewichte der Stichproben und zur Erstellung von Statistiken sowie von digitalen thematischen Karten für eine im Prinzip beliebige Variable der National Forest Inventory (NFI = Nationalen Forstinventur) benutzt. Beispiele derartiger Karten sind: räumliche Verteilungen von Durchschnittsalter und Durchmesser des Bestandes, der Vorräte nach Baumarten und der Holzsorten des Vorrates.

1. Verarbeitung von Stichprobendaten für Multiquellenberechnungen

Die terrestrischen Stichprobendaten stammen ausschließlich aus dem Staatswald. Die Idee ist, daraus Informationen über alle Wälder abzuleiten.

Die Grundrechnungseinheit bei der Bildverarbeitung ist ein Bildelement, ein Pixel. Die angewendete Pixelgröße ist 25 m x 25 m. Daher ist es zweckmäßiger, mit Volumen je Flächeneinheit als mit dem Volumen von Einzelbäumen zu arbeiten. Die Volumen je Hektar werden für jede Stichprobe getrennt, nach Baumarten, geschätzt, wobei auf die Einzelbaumvolumen und die Fläche der Stichproben zurückgegriffen wird.

2. Verarbeitung von Satellitenbildern

Die verwendeten Satellitenbilder wurden auf der Basis von Karten geometrisch korrigiert und auf das Gauss-Krüger-Koordinatensystem im 2. Meridianstreifen bezogen.

Die bisher zur Anwendung gekommene einfache Bildüberdeckung besteht aus den folgenden vier Landsat TM-Aufnahmen: 1) Vollszene Nr. 196 (50,40-00,00), 27.06.1995; 2) Vollszene Nr. 196 (52,02-00,00), 27.06.1995; 3) Vollszene Nr. 197-24, 01.07.1994; 4) Viertelszene Nr. 197-000, 01.07.1994.

Bei jedem Vollbild werden 20 bis 30 Paßpunkte, die sowohl auf der Karte als auch im Bild leicht zu erkennen sind, für die Korrektur ausgewählt. Orthofotokarten werden für die Korrektur herangezogen. Regressionsmodelle mit Polynomen erster und zweiter Ordnung werden als Bildkoordinaten (lin,col) in Abhängigkeit von den Kartenkoordinaten (x,y)

geschätzt. Der Grauwert für jedes Pixel des berichtigten Bildes wird anhand der Methode des „nächsten Nachbarn“ ermittelt. Das Modell eines Polynoms erster Ordnung hat folgende Form:

$$\begin{aligned} \text{lin} &= a_1 + b_1 x + c_1 y + e_1 \\ \text{col} &= a_c + b_c x + c_c y + e_c \end{aligned} \quad (2)$$

Das Polynommodell zweiter Ordnung hat folgende Form:

$$\begin{aligned} \text{lin} &= a_1 + b_1 x + c_1 y + d_1 x^2 + e_1 y^2 + f_1 xy + e_1 \\ \text{col} &= a_c + b_c x + c_c y + d_c x^2 + e_c y^2 + f_c xy + e_c \end{aligned} \quad (3)$$

Für die Korrekturphase wurde eine Pixelgröße von 25 m x 25 m gewählt. Die Reserven des Modells liegen in den meisten Fällen bei weniger als 0,4 Pixel in X-Richtung und bei weniger als 0,5 Pixel in der Y-Richtung.

Die Methode des „nächsten Nachbarn“ führt zu keiner Veränderung der Grauwerte; aus diesem Grund kommt dieses Verfahren anstelle der bilinearen Methode oder des Verfahrens der kubischen Faltung zur Anwendung. Das WARP-Dienstprogramm des DISIMP-Pakets wird bei der Berichtigung herangezogen.

3. Verarbeitung der terrestrischen Referenzdaten („Trainingsgebiete“)

Lassen Sie uns ein „Parzellenpixel“ ein Pixel nennen, dessen geographischer Mittelpunkt einem Stichprobenpunkt am

nächsten liegt. Die Bildsignalwerte eines Fensters n x n des Satellitenbildes werden jeder Musterstichprobe in die Datei der vorverarbeiteten Felddaten hinzugefügt. Das Fenster n x n wird so gewählt, daß das mittlere Pixel das Parzellenpixel ist. Für n wird hier der Wert 3 in Ansatz gebracht. Die Bilddaten werden in die Datei der vorverarbeiteten Felddaten mittels des DISIMP-Standarddienstprogramms ADDINT eingebracht. Dieses Programm arbeitet mit geographischen Koordinaten der Pixel und Stichproben.

Durch Wolken oder deren Schatten bedeckte Stichproben werden aus den Referenzdaten gestrichen.

4. Digitale Landnutzungsdaten

1) Waldmaske

Es ist unmöglich, mit digitaler Bildanalyse alle übrigen Landnutzungsclassen mit ausreichender Zuverlässigkeit von Waldflächen zu trennen. So können zum Beispiel bebauten Flächen mit Waldflächen verwechselt werden. Außerdem kann die Zuverlässigkeit der Bildanalyse mittels des digitalen Höhenmodells (DEM) und des vom DEM abgeleiteten digitalen Geländemodells (DTM) verbessert werden.

Im Rahmen dieser Arbeiten werden die Waldflächen von anderen Flächen mittels der vom Land NRW zur Verfügung gestellten „Waldmaske“ getrennt.

Die Maske war aus Karten gescannt und im TIFF-Format zur Verfügung gestellt worden. Die Größe eines Maskenteils liegt bei 11 200 x 11 200 Pixeln.

Ein Maskenteil umfaßt ein Areal von 56 km x 56 km, wobei sich die Gesamtanzahl der Teile auf 22 beläuft. Ursprünglich betrug die Pixelgröße 5 m x 5 m; sie wurde dann jedoch auf 25 m x 25 m geändert. Ein Teil der Waldmaske fehlt zur Zeit noch.

2) Digitale Grenzen von Berechnungseinheiten

a) Die äußeren Grenzen der Waldflächen des Landesverbandes Lippe wurden im ALK/GIAP-Format empfangen. Ein Programm wurde ausgearbeitet, um dieses Format zu lesen und die Daten in Arc/Info-Format zu ändern. Die Vektordaten wurden in ein Rasterformat überführt und dann in das DISIMP-Format konvertiert.

b) Bei den Grenzen der fünf Hochsauerland-Forstämter wurde auf ähnliche Weise verfahren. Zu den Vektordaten gehören ebenfalls Wege und Nichtholzboden.

c) Die Gemeindegrenzen (Kommunalverband Ruhrgebiet) wurden kürzlich im Arc/Info-Format übermittelt. Diese Grenzen sind bisher noch nicht verarbeitet worden.

d) Die äußere Grenze von Nordrhein-Westfalen wurde im ASCII-Format empfangen und in gleicher Weise wie die Lippe-Grenzen gerastert.

3) Das digitale Geländemodell

Digitale Geländemodelle werden zur Korrektur von Originalspektralwerten herangezogen, um bei der Bildanalyse durch die Morphologie des Geländes bedingte Verfälschungen auszuschließen.

Ein landesweites digitales Höhenmodell ist durch das Landesvermessungsamt bereitgestellt worden. Es steht als Datei mit einem Abstand der Gitterpunkte von 50 m x 50 m und mit einer Höhenauflösung von 10 cm zur Verfügung. Diese Daten basieren auf photogrammetrisch gemessenen Höhenprofilen, die für die Herstellung der Orthofotokarten aufgenommen wurden. Die durchschnittliche Höhengenaugigkeit beträgt +/- 2m bis +/- 5 m.

Hangneigung und -richtung werden anhand dieser Daten für jedes Pixel (i,j) unter Benutzung der Höhendaten angrenzender Gitterpunkte in westlicher (ei-1,j), östlicher (ei+1,j), südlicher (ei,j-1) und nördlicher (ei,j+1) Richtung unter Einsatz eines bei METLA ausgearbeiteten DTMDIS-Dienstprogramms geschätzt. Die Formeln (3) und (4) wurden herangezogen:

$$\text{Hangneigung } \text{slope}(i,j) = \frac{100 \times \sqrt{(e_{i-1,j} - e_{i+1,j})^2 + (e_{i,j-1} - e_{i,j+1})^2}}{2d} \quad (4)$$

$$\text{Hangrichtung } \text{aspect}(i,j) = \pi/2 - \arctan \left(\frac{e_{i-1,j} - e_{i+1,j}}{e_{i,j-1} - e_{i,j+1}} \right), \quad \text{if } e_{i-1,j} - e_{i+1,j} > 0, \quad (5a)$$

$$\text{Hangrichtung } \text{aspect}(i,j) = 3\pi/2 - \arctan \left(\frac{e_{i-1,j} - e_{i+1,j}}{e_{i,j-1} - e_{i,j+1}} \right), \quad \text{if } e_{i-1,j} - e_{i+1,j} < 0, \quad (5b)$$

(*) Diese Arbeit wurde anlässlich des Symposiums zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (5./6. März 1996) in Horn-Bad Meinberg (Deutschland) vorgetragen.

(**) Finnish Forest Research Institute (Finnische Forstliche Versuchsanstalt), Helsinki

Hier ist mit d die Seitenlänge des quadratischen Pixels bezeichnet; siehe Ritter (1987) und Tomppo (1992).

Der Winkel α zwischen der Vertikalen zur Erdoberfläche und dem Sonneneinstrahlungswinkel zur Zeit des Satellitenüberflugs wird zur Korrektur der beobachteten Spektralwerte herangezogen. Die Abhängigkeit des normierten Spektralwertes I_n vom Winkel α und dem Originalspektralwert I werden wie folgt in Ansatz gebracht:

$$I_n = I / \cos^n(\alpha), \quad (6)$$

wobei $0 < n \leq 1$. Der Wert n wird iterativ unter Anwendung einer Quervalidierungstechnik mit Stichproben und Standardabweichungen als Kriterien ermittelt.

Lassen Sie uns nun den Azimut der Sonne mit ϕ mit einem Verlauf von Süden nach Osten und den Sonnensteigungswinkel mit θ mit Verlauf aus der Vertikalen in die Horizontale bezeichnen. Somit ergibt sich ein Einheitsvektor in Richtung Sonne von

$$(x_s, y_s, z_s) = (\sin(\theta) \cos(\phi), \sin(\theta) \sin(\phi), \cos(\theta))$$

und ein senkrecht zur Erdoberfläche verlaufender Einheitsvektor von

$$(x_n, y_n, z_n) = (i_x/s, -i_y/s, 2d/s)$$

$$\text{wobei } i_x = e_{i-1,j} \cdot e_{i+1,j} - e_{i,j-1} \cdot e_{i,j+1}$$

$$\text{und } s = \sqrt{i_x^2 + i_y^2 + 4d^2}.$$

Nach einer allgemeinen Tatsache ergibt sich

$$\cos(\alpha) = x_n x_s + y_n y_s + z_n z_s$$

siehe Tomppo (1992).

Die Ausgaberrasterdatei umfaßt als Ergebnis für jedes Pixel die Originalhöhe über Meeresspiegel, Hangneigung, Hangrichtung und den Winkel α zwischen der Sonneneinstrahlung und der Vertikalen zur Erdoberfläche. Diese Variablen werden ebenfalls der Stichprobendatei hinzugefügt.

Neben den korrigierten Bildsignalen wird ebenfalls die absolute Höhe über Meeresspiegel für die Klassifizierungsphase herangezogen. Dies geschieht so, daß ein maximal zulässiger Höhenunterschied zwischen dem zu klassifizierenden Pixel und den benutzten Referenzstichproben festgelegt wird.

4) Wolken

In einigen Bereichen überdecken Wolken bzw. deren Schatten einen Teil des zu verarbeitenden Bildes. Die Gesamtflächen des durch Wolken oder deren Schatten betroffenen Bildes sind durch Linien umrissen. Eine Farbkomposition sichtbarer Kanäle (TM-Kanäle 1, 2 und 3) des Bildes wird am Bildschirm so verändert, daß auch Schleierwolken und deren Schatten so gut wie möglich visuell erkannt werden können. Die Flächen werden als DISIMP-Flächendateien durch Polygone abgegrenzt (manuell mittels Maus). Diese Flächen werden mittels des GENMSK-Dienstprogramms in eine 1-bit-Rasterda-

tei im DISIMP-Format umgewandelt. Diese Rasterdatei ist eine optionale Eingabedatei bei der Kombination von Bildsignalwerten mit Stichproben und bei der Bildverarbeitung. Stichproben, die durch Wolken oder Schatten beeinträchtigt werden, bleiben bei der Klassifizierung unberücksichtigt.

Die von Wolken oder Schatten betroffenen Pixel werden im Rahmen der Bildanalyse nicht verarbeitet. Die unter Wolken oder Schatten liegende Waldfläche wird mit dem Durchschnitt der übrigen Berechnungseinheit (zum Beispiel Verwaltungseinheiten) berechnet.

5) Wasser

Wasserflächen können zur Zeit durch die von Satellitenbildern stammenden Informationen umrissen werden. Diese Informationen sind für diesen Zweck ziemlich zuverlässig. Die Kanäle 4 und 7 von Landsat TM-Bildern und Schwellenwerte können benutzt werden. Ein Pixel p kann entsprechend der folgenden Formel als Wasser klassifiziert werden:

$$(p \in W) \wedge (f_4(p) \leq k_4 \wedge f_7(p) \leq k_7). \quad (7)$$

Die Interpretation von Wasser ist nicht erforderlich, weil in der Waldmaske keine Wasserflächen enthalten sind.

5. Schätzung von Parametern anhand von Multiquellendaten

Zum Zwecke der Klassifizierung werden vier oder fünf der vorstehend

beschriebenen Eingangsdateien erstellt. Hierbei handelt es sich um:

- 1) die Datei der Stichprobenwerte (eine ASCII-DATEI),
- 2) die Satellitenbilddatei,
- 3) die Datei mit digitalen Landnutzungsdaten (Waldmaske) plus Berechnungseinheit,
- 4) das digitale Geländemodell mit Informationen über den Sonneneinstrahlungswinkel und bei Bedarf
- 5) die Wolkenmaskendatei.

Ein DISIMP-Standarddienstprogramm ist für die Bildverarbeitung programmiert worden. (Eine DISIMP-unabhängige Version ist für die Betriebssysteme DEC/ULTRIX und AXP/OSF-1 programmiert worden.)

Die Software liest zuerst die Stichprobendaten in den RAM-Speicher ein. Das Bild wird Zeile für Zeile verarbeitet. Das Programm liest jeweils eine Zeile (oder mehrere Zeilen, wenn räumliche Merkmale zur Anwendung kommen) aus jeder im Rasterformat erstellten Eingangsdatei (Satellitenbild-, Landnutzungs- und Berechnungseinheitendatei, DGM und Wolkenmaskendatei) in den RAM-Speicher ein. Die Pixel der jeweiligen Zeile werden der Reihe nach verarbeitet. Für jedes Pixel der Zeile sucht die Software nach k „nächstgelegenen“ Pixeln mit bekannten terrestrischen Referenzdaten (= Pixel mit Stichprobe). Die gesamten Bodendatenvektoren der k gefundenen Stichproben werden dem Pixel zugeordnet. Die Bodendatenvektoren werden umgekehrt proportional zum quadrierten Abstand innerhalb der Merkmalsfläche gewichtet. Die wesentliche

Eigenschaft des Verfahrens besteht darin, daß alle Inventurvariablen für das jeweilige Pixel gleichzeitig „geschätzt“ werden können. Die Idee der Benutzung von k Stichproben anstelle von nur einer dient dem Zweck, die zum Beispiel durch Signalstörungen verursachte, zufällige Streuung einzuschränken. Das Verfahren kann als Klassifizierung mit Hilfe der „ k nächsten Nachbarn“ bezeichnet werden.

Das Verfahren kann formeller auf folgende Weise beschrieben werden. Die euklidische Entfernung, $d_{(pi),p}$, wird im Merkmalsraum von dem zu klassifizierenden Pixel p zu jedem Pixel pi errechnet, dessen terrestrischen Daten bekannt sind (zum Pixel mit Stichprobe i). Wir nehmen k Stichprobenpixel, die im Merkmalsraum am nächsten liegen, und bezeichnen die Entfernungen vom Pixel p zu den nächstgelegenen Stichprobenpixeln mit

$$d_{(p1),p}, \dots, d_{(pn),p} \quad (d_{(p1),p} \leq \dots \leq d_{(pn),p}),$$

$$n = 5 - 10.$$

Eine maximale Entfernung im geographischen Raum (normalerweise 50 bis 100 km in horizontaler Richtung) vom Pixel p zu den herangezogenen Stichproben wird festgelegt, um zu verhindern, daß Stichproben aus den unterschiedlichsten Vegetationszonen herangezogen werden. Ein maximaler Höhenunterschied von normalerweise 50 bis 100 m wird festgelegt, um die durch die Höhenlage bedingten Vegetationsunter-

schiede zu berücksichtigen. Lassen Sie uns also die folgende Formel definieren

$$w_{i,p} = \frac{1}{d_{(pi),p}^2} \quad (8)$$

Im Rahmen des Klassifizierungsprozesses werden die Summen der Gewichte, $w_{i,p}$, für Berechnungseinheiten (zum Beispiel bestimmte Gemeinden, Waldbesitzer), errechnet. (Das relative Gewicht einer Stichprobe ist gleich dem Stichprobenfaktor, wenn das Ergebnis allein anhand von Felddaten errechnet wird.)

Das Gewicht der Stichprobe i in der Berechnungseinheit U ergibt:

$$c_{i,U} = \sum_{p \in U} w_{i,p}. \quad (9)$$

Die stichprobenweisen Gewichte nach Berechnungseinheiten werden während des Verfahrens im RAM-Speicher gehalten und (aus Sicherheitsgründen) nach einer bestimmten Anzahl von Zeilen auf der Platte gespeichert. Schätzungen zu einigen (wahlweisen) Waldvariablen werden im Rahmen des Verfahrens in Form einer digitalen Karte ausgegeben und zwar, nach jeder verarbeiteten Zeile in Form eines Mehrkanalrasterbildes. Die Landnutzungsklassen außerhalb des Waldes werden direkt aus der digitalen Kartendatei übernommen. Innerhalb des Waldes werden die vom Operator eingegebenen Variablen auf folgende Weise geschätzt.

Definition der Schätzung m_p der Variablen M für das Pixel p

$$m_p = \sum_{j=1}^k w_{(j),p} \cdot m_{(j),p} \quad (10)$$

wobei $m_{(j),p}$, $j = 1, \dots, k$, der Wert der Variablen M in der Stichprobe j für das Pixel p ist, das das j nächste Pixel der Pixel „bekannt“ Pixel im Spektralraum zum Pixel p ist; siehe Tomppo (1991). Bei qualitativen Variablen wird anstelle eines Mittelwerts der Modawert herangezogen.

Die im Rahmen der Bildverarbeitung häufig berechneten Variablen sind Vorrat nach Baumarten, Zuwachs nach Baumarten, Ertragsklasse, mittleres Alter usw.

Die Bestandsergebnisse können (auf Anforderung) unter Heranziehung der gegebenen Bestandsgrenzen berechnet werden. Die Bestandsabgrenzung kann wahlweise mit Hilfe von Segmentierungstechniken durchgeführt werden. Die Segmentierung kann ebenfalls zur Verbesserung im kleinen Maßstab durchgeführter Schätzungen benutzt werden, beispielsweise zur Verringerung von Abweichungen, aufgrund von Bildstörungen. Eine weitere Nachbearbeitungsmethode ist die Arbeit mit einem mathematischen Modell zum Beispiel mit räumlichen Gibbs'schen Prozessen (Tomppo 1992).

6. Erstellung von Tabellen und Anfertigung von Karten

Die Inventurergebnisse nach Berechnungseinheiten werden anhand von digitalen Karten und den für die Stichproben

im Rahmen der Bildverarbeitung geschätzten Gewichtskoeffizienten (9) ermittelt. Für die Berechnung werden bei METLA geschriebene Dienstprogramme und TABULATE-Prozeduren des SAS-Softwarepakets benutzt.

Die Wasserfläche und die Fläche der übrigen, nicht forstlichen Landnutzungs-klassen werden für die Berechnungseinheiten aus den hergestellten digitalen Karten durch Multiplikation der entsprechend klassifizierten Pixel mit der Pixelgröße geschätzt:

$$A_{c,u} = \#(p|p \in C, p \in U) a, \quad (11)$$

wobei C eine Landnutzungs-kategorie ist, U eine Berechnungseinheit bezeichnet und a für die Fläche eines Pixels steht. Zur Durchführung der Berechnung wurde bei METLA ein DISIMPStandarddienstprogramm TILASTK erstellt.

Die nichtforstwirtschaftliche Landfläche unter einer etwaigen Wolkenmaske kann auf ähnliche Weise geschätzt werden, da die Schätzungen der Landnutzungs-klassen mit Ausnahme von Wald auf den reinen Kartendaten basieren. Die Wasserfläche unter der Wolkenmaske wird in Zukunft ebenfalls aus digitalen Karten entnommen.

Die Flächenschätzungen für Waldstraten (Baumartengruppen, Altersklassen) in den Berechnungseinheiten ergeben sich aus den geschätzten Stichprobengewichten nach der Gleichung

$$A_{s,U} = a \sum_{i \in I_s} c_{i,U} \quad (12)$$

wobei S ein Waldstratum ist, I_S den Satz Stichproben des Stratums bezeichnet und U eine Berechnungseinheit darstellt.

Die Gewichte $c_{i,U}$ aller Stichproben i in der Berechnungseinheit U werden mit dem Faktor Gesamtwaldfläche der Einheit / Gesamtwaldfläche - von Wolken bedeckte Waldfläche) multipliziert, wenn ein Teil der Waldfläche von Wolken bedeckt ist. Dies bedeutet, daß davon ausgegangen wird, daß die von Wolken bedeckte Waldfläche im Durchschnitt den anderen Wäldern in der Einheit entspricht.

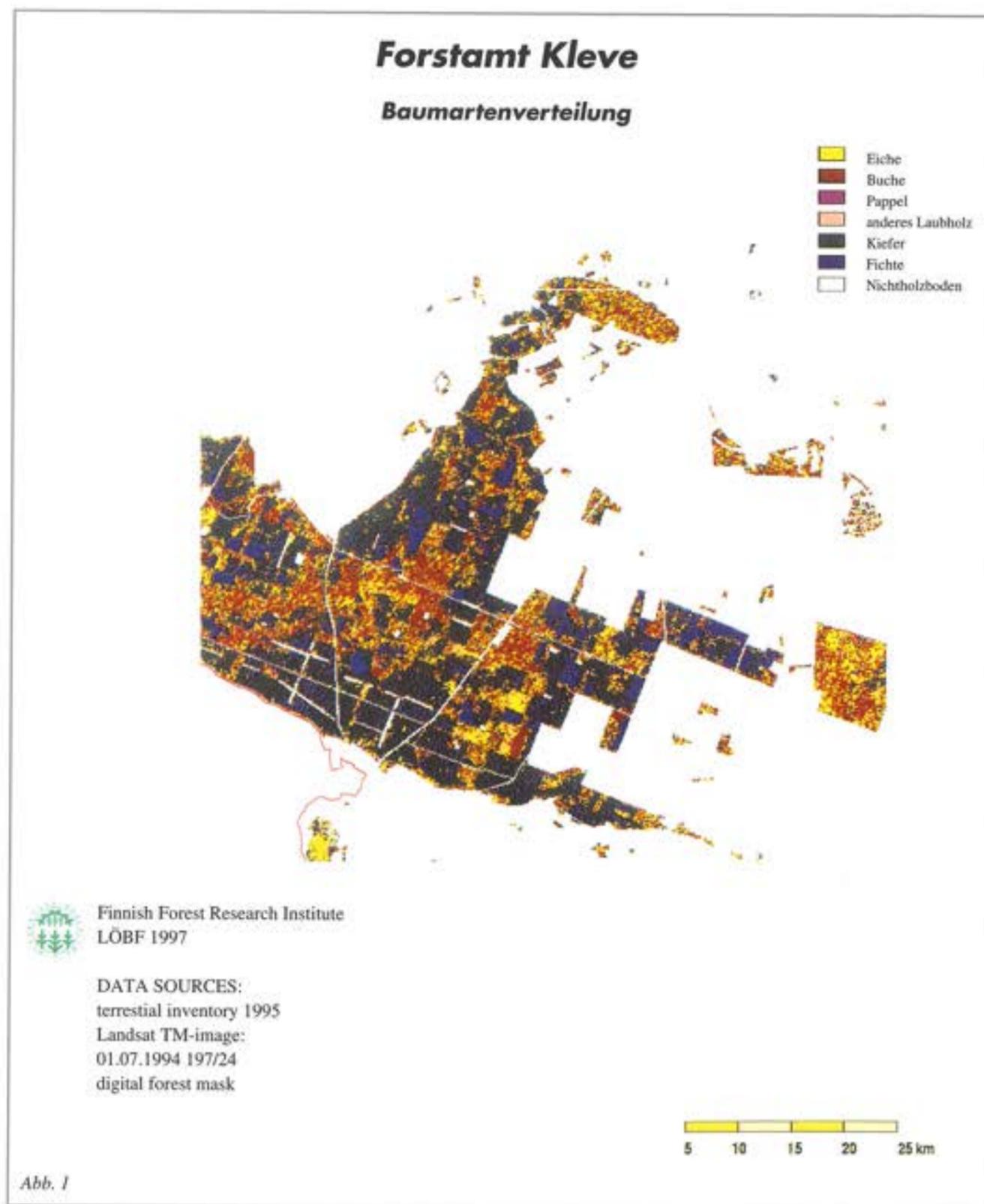
Die Volumenschätzungen werden auf die nachstehende Weise für Berechnungseinheiten und Straten errechnet. Die Volumenmittelwerte werden nach der folgenden Formel geschätzt:

$$v = \frac{\sum_{i \in I_s} c_{i,U} v_{i,t}}{\sum_{i \in I_s} c_{i,U}} \quad (13)$$

wobei S ein Berechnungsstratum (beispielsweise Altersklasse) ist, I_S den Satz Stichproben in dem Stratum darstellt, mit U eine Berechnungseinheit (Gemeinde) bezeichnet wird, $c_{i,U}$ das Gewicht der Stichprobe i in der Einheit U ist und $v_{i,t}$ für das Volumen je Hektar des Holzrhythmus t in der Stichprobe i steht.

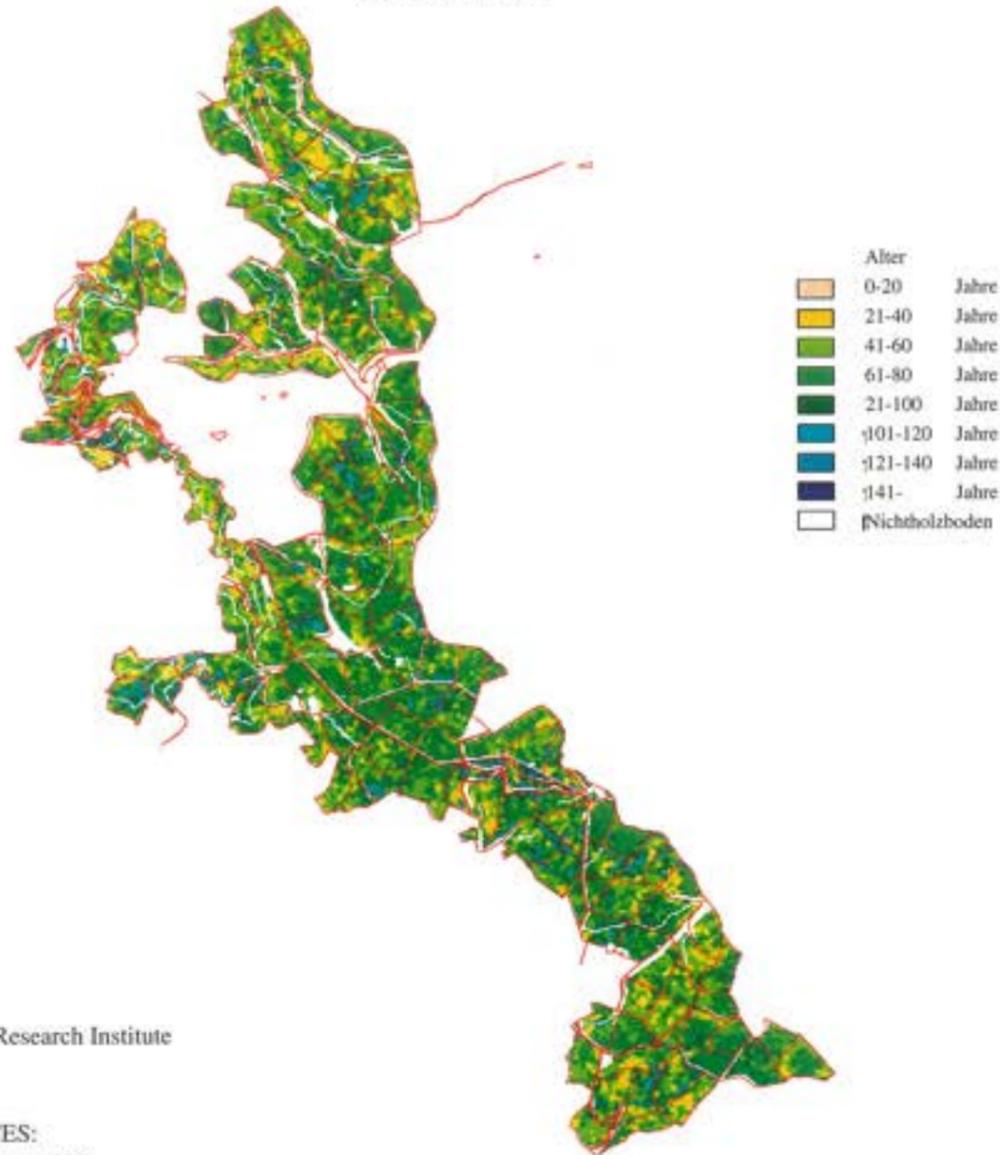
Die entsprechenden Gesamtvolumen ergeben sich dadurch, daß der Nenner in der Formel (13) durch 1 ersetzt wird. Durchschnitts- und Gesamtvolumenzuwachs werden entsprechend geschätzt.

Farbige Karten sind eine Möglichkeit, die Inventurergebnisse zu präsen-



Forstamt Hilchenbach

Alter, Jahre



Finnish Forest Research Institute
LÖBF 1997

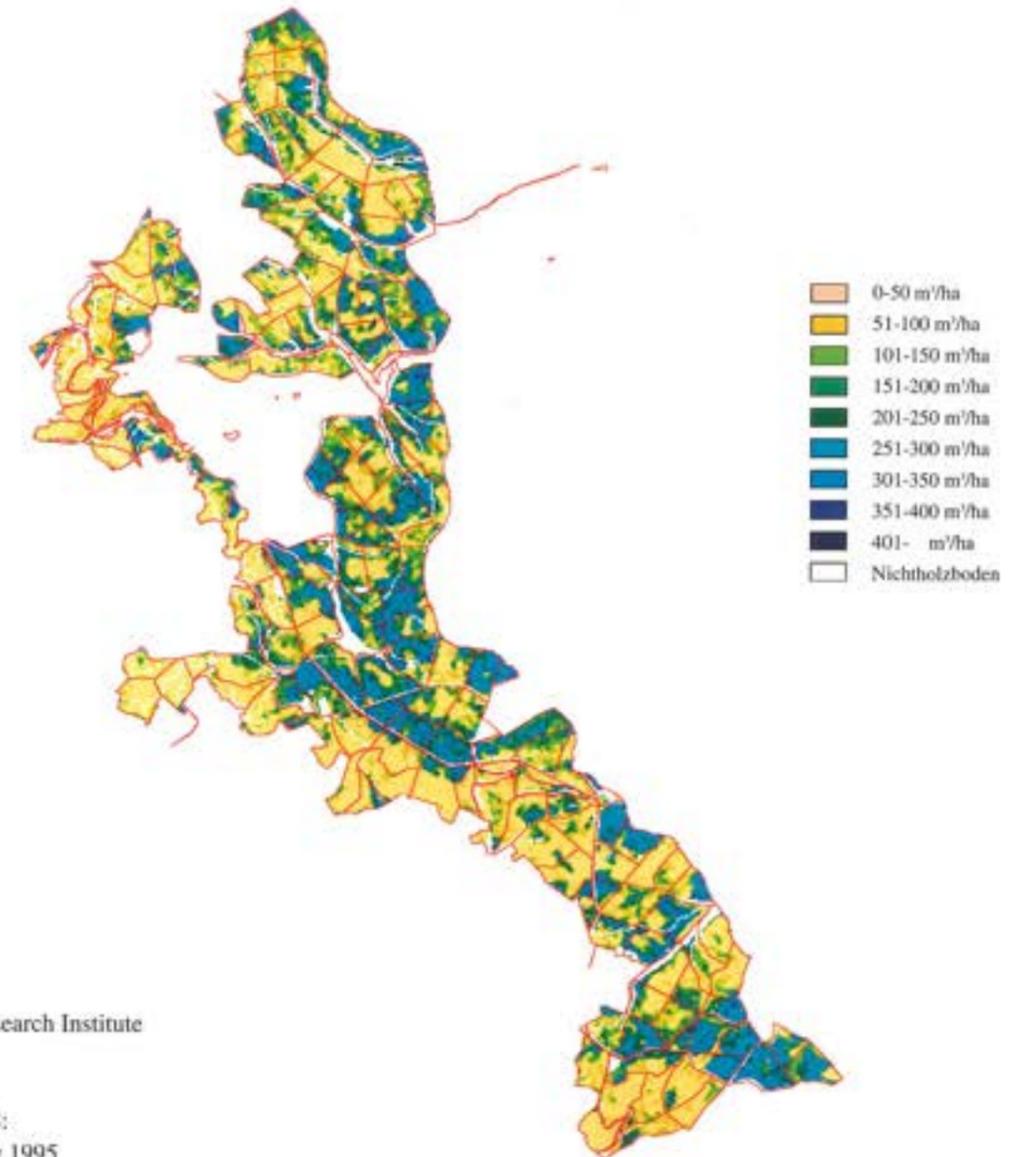
DATA SOURCES:
terrestrial inventory 1995
2 Landsat TM-images:
27.06.1995 196/00 float. 52,02 - 00,00 Full
27.06.1995 196/00 float. 50,40 - 00,00 Full
digital forest mask



Abb. 2

Forstamt Hilchenbach

Vorrat Fichtenstammholz m³/ha



Finnish Forest Research Institute
LÖBF 1997

DATA SOURCES:
terrestrial inventory 1995
2 Landsat TM-images:
27.06.1995 196/00 float. 52,02 - 00,00 Full
27.06.1995 196/00 float. 50,40 - 00,00 Full
digital forest mask



Abb. 3

tieren (Abb. 1 - 3). Für diesen Zweck werden ein elektrostatischer Farbplotter Versatec 8900 und ein Farbsublimationsplotter Tektronix eingesetzt. Eine digitale Themenkarte wird zuerst durch ein bei METLA ausgearbeitetes DISIMP-Standarddienstprogramm in ein VCGL-Format umgewandelt. Das Ergebnis wird auf die Festplatte des Plotterservers und von dort zum Plotter übertragen.

Vor der VCGL-Umwandlung erfolgt eine Glättung an den Rändern. Hierzu wird das bei METLA erstellte Dienstprogramm mit dem Namen EDGPRU benutzt. Es berechnet die örtliche Abweichung innerhalb verschiedener Fenster und wählt das Fenster mit der kleinsten Abweichung. Durch Filterung wird die Abweichung innerhalb der Bestände eingeschränkt und eine leichtere Interpretation der Karte ermöglicht. Die Themenkarte ist nach Klassen unterteilt, die vom Anwender während der VCGL-Umwandlung definiert werden. Der Anwender wählt ebenfalls die Farben für die einzelnen Klassen aus und verfaßt die Legende zur Karte.

7. Erste Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Aufgrund von Verzögerungen bei der Bereitstellung von Daten ist bisher nur ein Teil der Fläche bearbeitet worden. Die Fläche ist durch die Vollszene Nr. 196 (52,02-00,00), 27.06.1995, abgedeckt. Diese Fläche betrifft die Wälder des Landesverbandes Lippe, die

Tabelle 1
Waldflächen nach Hauptbaumartengruppen in der terrestrischen Inventur (TI) und in der Satelliteninventur (SI).

	TI		SI	
	1000 ha	%	1000 ha	%
Lichtung	0,00	0,00	0,01	0,06
Eiche	1,37	9,16	1,58	10,57
Buche	8,11	54,18	7,52	50,23
Pappel	0,13	0,88	0,11	0,74
Sonstiges Laubholz	0,70	4,63	0,42	2,77
Kiefer	1,08	7,29	1,13	7,52
Fichte	3,57	23,87	4,21	28,11
Insgesamt	14,975	100,00	14,98	100,00

Tabelle 2.
Holzvorrat (Vorratsfestmeter) nach Hauptbaumartengruppen in der terrestrischen Inventur (TI) und der Satelliteninventur (SI).

	TI		SI	
	1000 m ³	%	1000 m ³	%
Lichtung	0,00	0,00	0,00	0,00
Eiche	420,36	9,11	539,67	11,70
Buche	2553,10	55,33	2449,27	53,10
Pappel	24,92	0,54	12,00	0,26
Sonstiges Laubholz	90,90	1,97	76,57	1,66
Kiefer	299,47	6,49	326,11	7,07
Fichte	1225,56	26,56	1208,95	26,21
Insgesamt	4614,31	100,00	4612,57	100,00

Tabelle 3.
Holzvorrat nach Baumartengruppen und getrennt für Stammholz, Abschnittholz, Industrieholz und X-Holz.

	Vorrat (Vfm)	Stammholz	Abschnittholz	Industrieholz	X-Holz
Eiche	539.4	98.8	143.2	103.3	38.9
Buche	2449.1	438.0	600.4	896.2	117.3
Pappel	11.9	1.8	2.9	3.6	0.4
Sonstiges Laubholz	76.7	2.1	10.0	38.7	4.6
Kiefer	326.2	53.2	124.3	46.0	9.2
Fichte	1208.9	0.1	792.4	86.5	8.2

(a) Stammholz (b) Abschnittholz (c) Industrieholz (d) x-Holz

zur Beurteilung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse herangezogen werden können.

Stichproben aus dem Lippe-Raum sind nicht zur Verfügung gestellt und somit bei der Bildanalyse nicht berücksichtigt worden.

Tabelle 1 zeigt die Flächen der Hauptbaumartengruppen nach Feldinventur (TI) und auf der Basis der Multiquellentechnik CSD; Tabelle 2 die Volumen nach Baumartengruppen. Tabelle 3 stellt den Holzvorrat getrennt nach Baumartengruppen und Holzsortimenten dar.

In diesen Tabellen ist die Fläche auf die Waldfläche der Feldinventur hochgerechnet. Gemäß den digitalen Kartendaten hat die Waldfläche nur eine Größe von 13570 ha. Letztere ergibt für das Gesamtvolumen die Zahl von 4,179 Mio m³.

Die Ergebnisse passen verhältnismäßig gut, vor allem wenn man bedenkt, daß es sich um erste vorläufige Resultate handelt. Die Lage der Stichproben relativ zu den Bildpixeln (mögliche Verlagerung durch Bildberichtigung) wird weiter untersucht und kann möglicherweise die Ergebnisse in gewissem Umfang verbessern und die Methodenentwicklung vorantreiben.

Zur Zeit läßt sich abschließend feststellen, daß sich mit einer Inventur auf der Basis von Satellitenbildern Ergebnisse für kleinere Flächen erzielen lassen, als dies bei reinen Feldmessungen möglich ist.

Quellenverzeichnis

DISIMP. 1990. Device Independent Software for Image Processing (Geräteunabhängige Software für die Bildverarbeitung). BENUTZER-ANLEITUNG. Version 5.0. CSIRO. Division of Information Technology, Canberra / Australien.

Tomppo, E. 1991. Satellite Image-Based National Forest Inventory of Finland (Auf der Basis von Satellitenbildern für Finnland erstellte nationale Waldinventur). International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Band 28, Teil 7-1, Seiten 419 bis 424.

Tomppo, E. und Katila, M. 1991. Satellite Image-Based National Forest Inventory of Finland. In Protokoll der IGARSS '91, Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management. 1991 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Technische Hochschule Helsinki, Espoo I Finnland, 3. bis 6. Juni 1991. IEEE Katalognummer 91CH2971-0, Band III, 1141-1144.

Tomppo, E. 1992. Satellite image aided forest fertility estimation for forest income taxation purposes (Satellitenbildunterstützte Schätzung der Erträge von Waldflächen zum Zwecke der Einkommensteuerveranlagung auf forstwirtschaftliche Erträge). Seite 70 und folgende, Acta Forestalia Fennica 229.

Tomppo, E. 1993. Multi-Source National Forest Inventory of Finland (Auf der Basis von Multiquellen für Finnland erstellte nationale Waldinventur). Protokoll des Ilvessalo-Symposiums

über nationale Waldinventuren. Finnland, 17.-21. August 1992. IUFRO S4.02. The Finnish Forest Research Institute. Forschungsbericht 444, Seiten 52-60.

Tomppo, E., Siitonen, M. und Lappi, J. 1993. Forest Resource Monitoring in Finland (Waldressourcenüberwachung in Finnland). CSC News, Band 5, Nr. 2, Seiten 11-15.

Testing Finnish Multi-Source National Forest Inventory Method in Nordrhein-Westfalen Forest Inventory

Erkki Tomppo and Anssi Pekkarinen
The Finnish Forest Research Institute
Helsinki, Finland, 4.3.1995

Introduction

The goal of the project is to test the applicability of Finnish multi-source national inventory system in computing forest resource information of the state of Nordrhein-Westfalen.

The method utilises field sample plots, satellite images and digital map data. By means of multi-source data, it may be possible to compute results for smaller areas than what is possible with field data only.

Multi-source data are utilised for estimating new area weights for field sample plots and for producing statistics and digital thematic maps, in principle for an arbitrary variable of the National Forest Inventory (NFI). Examples of maps are spatial distributions of mean age and diameter of stand, volumes by tree species and timber assortments of growing stock.

1. Processing of field data for multi-source calculations

The field information consists of field sample plots measured in the state owned forests only. The idea is get information for all forests.

The basic computation unit in image processing is a picture element, a pixel. The applied pixel size is 25 m x 25 m. Therefore, it is more convenient to work with volumes per area unit than with volumes of single trees. Volumes per hectare are estimated for each sample plot by tree species using single tree volumes and sizes of sample plots.

2. Processing of satellite images

Satellite images covering the inventory area are geographically rectified on the base maps to the Gauss-Krüger coordinate system with zone 2.

The single cover, applied so far, consists of the following four Landsat TM images,

- 1) 196-floating point (50,40-00,00) full scene, 27-06-1995,
- 2) 196-floating point (52,02-00,00) full scene, 27-06-1995,
- 3) 197-24, full-scene 1-07-1994,
- 4) 197-000-floating point, one quarter, 1-7-1994.

For each full image, 20 - 30 control points which can easily be recognized both on the map and the image are picked up for the rectification. Aerial ortophotos are utilised in the rectification. Regression models of first or second order polynomial are estimated for the image coordinates, (lin, col), as a function of map coordinates, (x,y). The intensity value for each pixel of the rectified image is found by the nearest neighbour method. The model of a first order polynomial is of the form:

$$\begin{aligned} \text{lin} &= a_1 + b_1x + c_1y + e_1 \\ \text{col} &= a_2 + b_2x + c_2y + e_2 \end{aligned} \quad (2)$$

The second order polynomial model is of the form:

$$\begin{aligned} \text{lin} &= a_1 + b_1x + c_1y + d_1x^2 + e_1y^2 + f_1xy + e_1 \\ \text{col} &= a_2 + b_2x + c_2y + d_2x^2 + e_2y^2 + f_2xy + e_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Pixel size of 25 m x 25 m is chosen in the rectification phase. The residuals of the model are in most cases less than 0.4 pixels in the directions of the line and column and less than 0.5 pixels in the direction line x column.

The nearest neighbour method does not change the intensities of the image wherefore the method is applied instead of the bilinear or cubic convolution-methods. The WARP-utility of the DISIMP package is employed in the rectification.

3. Processing of the ground truth data

Let us call 'plot pixel' a pixel whose centerpoint is geographically closest to a field sample plot. The intensity values of a nx n-window of satellite image are added to each sample plot in the processed field data file. The n x n-window is chosen in such a way that the central pixel is the plot pixel. The value 3 is applied here for n. The intensity values are added into preprocessed field data file with a DISIMP-standard utility ADDINT programmed at FFRI. This utility uses geographical coordinates of pixels and sample plots.

Sample plots covered by clouds or their shadows are omitted from ground truth data.

4. Digital land use data

1) Forest Mask

It is not possible to separate all land use classes from forestry land reliably enough with digital image analysis. For example, built-up areas can be mixed with forestry land. Furthermore, the reliability of image ana-

lysis can be improved by means of digital elevation model (DEM) and digital terrain model (DTM) derived from DEM.

In this work, the forest area are separated from other areas by means of 'forest mask' provided by the state.

The mask has been scanned from maps and was send in Tiff-format. The size of one mask is 11 200 x 11 200 pixels. One mask covers an area of 56 km x 56 km, total number of mask amounting to 22. Originally, the pixel size was 25 m x 25 m. A part of forest mask is still lacking.

2) Digital boundaries of computation units

a) The outhern borders of forest areas of Lippe-area were received in ALK/GIAP-format. A program was written for reading this format and changing the data to Arc/Info-format. The vector data was converted into raster grid-format and then converted into DISIMP-format.

b) The boundaries of „Forstämter“ were handled in a similar way. The vector data involves also roads and non-forestry land.

c) The boundaries of municipalities (Kommunalverband Ruhrgebiet) were recently received in Arc/Info-format. The boundaries have not yet been processed.

d) The outhern border of Nordrhein-Westfalen was received in ASCII-format and rasterised like Lippe-boundaries.

3) The digital terrain model

Digital terrain models are used for correcting original spectral values in order to avoid confusion in image analysis caused by land morphology. A digital elevation model of the entire state has been provided by Land Survey of the state. It is of a raster format file with the pixel size of 25 m x 25 m and with the resolution of 10 cm. This file has produced from the original elevation contour of base maps. The original contour interval has been either 5 or 2,5 metres. The slope and aspect are estimated from this data for each pixel (i,j) using the elevations of the neighbouring pixels in westerly (ei-1,j), easterly (ei+1,j), southerly (ei,j-1) and northerly (ei,j+1) directions applying a DTMDIS utility written in METLA. The formulas (3) and (4) were applied:

$$\text{slope}(i,j) = \frac{100 \times \sqrt{(e_{i-1,j} - e_{i+1,j})^2 + (e_{i,j-1} - e_{i,j+1})^2}}{2d} \quad (4)$$

$$\text{aspect}(i,j) = \pi/2 - \arctan \left(\frac{e_{i,j-1} - e_{i,j+1}}{e_{i-1,j} - e_{i+1,j}} \right), \quad \text{if } e_{i-1,j} - e_{i+1,j} > 0, \quad (5a)$$

$$\text{aspect}(i,j) = 3\pi/2 - \arctan \left(\frac{e_{i,j-1} - e_{i,j+1}}{e_{i-1,j} - e_{i+1,j}} \right), \quad \text{if } e_{i-1,j} - e_{i+1,j} < 0, \quad (5b)$$

Here, d is the length of the side of the rectangular pixel; cf. Ritter (1987) and Tomppo (1992).

The angle α between the normal to the land surface and the sun illumination angle at the time of the satellite overpass is used in correcting the observed spectral values. The dependence of the normalized spectral value I_n on the angle α and the original spectral value I is assumed to be of the form

$$I_n = I \cos^n(\alpha), \quad (6)$$

where $0 < n \leq 1$. The value of n is found by a system of trial and error using cross-validation technique with sample plots and mean square errors as criteria. Let us denote the sun azimuth by ϕ , running from south to east and the sun elevation angle by θ , running from vertical to horizontal. The unit vector towards, the sun is thus

$$(x_s, y_s, z_s) = (\sin(\theta) \cos(\phi), \sin(\theta) \sin(\phi), \cos(\theta))$$

and the surface normal unit vector

$$(x_n, y_n, z_n) = (i_x/s, -i_y/s, 2d/s)$$

were

$$i_x = e_{i-1,j} - e_{i+1,j}, \quad i_y = e_{i,j-1} - e_{i,j+1} \quad \text{and}$$

$$s = \sqrt{i_x^2 + i_y^2 + 4d^2}$$

According to a well-known fact $\cos(\alpha) = x_n x_s + y_n y_s + z_n z_s$ cf Tomppo (1992).

The output raster type file includes as a result for each pixel the original elevation from sea level, slope, aspect and the angle α between sun illumination and terrain normal. These variables are also added to the sample plots of the ground data file.

In addition to intensity value corrections, the absolute elevation from the sea level is also utilised in the classification phase in such a way that a maximum distance in the elevation direction is set from the pixel to be classified to the ground sample plots utilised as ground truth.

4) Clouds

In some areas clouds and/or their shadows cover a part of the image to be processed. The total area of the image affected by clouds, or their shadows are delineated. A colour composition of visible channels (TM-channels 1, 2 and 3) of the image are transferred to the display unit of a workstation and exchanged in such a way that also crepelike clouds and their shadows can be visually recognised as well as possible. The areas are surrounded (manually with a mouse) by polygons by means of DISIMP area-files. These areas are transformed into a 1-bit raster file of DISIMP format with the GENMSK utility. This raster file is an optional input file in combining intensity values to ground sample plots and in image processing. The sample plots whose intensities are affected by clouds or shadows are left out from ground truth data.

The pixels affected by clouds or shadows are not processed in the image analysis. The forest area under clouds or shadows is assumed to be similar to the average of the rest of the computation unit (e.g. municipality).

5) Water

Water areas can be delineated by the information of satellite images at the moment. This information is quite reliable for the purpose. Channels 4 and 7 of Landsat TM images and thresholding can be employed. A pixel p is classified as water W by the rule:

$$(p \in W | f_4(p) \leq k_4, f_7(p) \leq k_7). \quad (7)$$

The water interpretation is not needed because forest mask excludes water areas.

5. Estimation of parameters by means of multi-source data

Four or five input files are produced for the classification as described above. The files are:

- 1) ground truth file (an ASCII-FILE),
- 2) satellite image file,
- 3) digital land use data (forest mask) plus computation unit file,
- 4) digital terrain model involving information about sun illumination angle and, if necessary,
- 5) cloud mask file.

A DISIMP-standard utility has been programmed for image processing. (A DISIMP-independent version has been programmed for DEC/ULTRIX and AXP/OSF-1 operating systems). The utility reads first the ground truth data into RAM-memory. The image is processed line by line. The utility reads one line at a time (or several lines if spatial features are applied) from each raster-format input file (satellite image, land use and computation unit file, DTM and cloud mask-file) into the RAM-memory. The pixels of the actual line are processed turnwise. The utility searches for each pixel of the line k „nearest“ pixels with known ground truth data (= pixels with sample plots).

The whole ground data vectors from k searched sample plots will be attached to the pixel. The ground data vectors are weighted inversely proportionally to the squared distance in the feature space. The essential property of the process is that all inventory variables can be „estimated“ for the pixel at the same time. The idea of using k sample plots instead of one is to reduce the random variation caused e.g. image noise. Let us call the method a k nearest neighbour classification method.

The procedure can be described more formally in the following way. The Euclidean distance, $d_{pi,p}$, is computed in the feature space from the pixel p to be classified to each pixel pi whose ground truth is known (to pixel with sample plot i). Take k in the feature space nearest sample plot pixels

and let us denote the distance from the pixel p to the nearest sample plot pixels by

$$d_{(p1),p}, \dots, d_{(pn),p}, (d_{(p1),p} \leq \dots \leq d_{(pn),p}), \\ n = 5 - 10.$$

A maximum distance in the geographical space (usually 50 to 100 km in horizontal direction) is set from the pixel p to sample plots applied in order to avoid to utilise sample plots from very different vegetation zones. A maximum distance is also set in the vertical direction, usually 50 to 100 m, in order to take into account the vegetation variation caused by elevation variation. Let us define

$$w_{i,p} = \frac{1}{d_{(pi),p}^2} \\ \sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{(pj),p}^2} \quad (8)$$

Sums of weights, $w_{i,p}$ are calculated by computation units (for example by municipalities, by forest ownershipgroups, by private owners in a certain municipal, etc.) in the classification process. (The relative weight of a plot equals to the plot factor when result are computed by means of field data only.)

The weight of the plot i in the computation unit U yields:

$$c_{i,U} = \sum_{p \in U} w_{i,p}. \quad (9)$$

The plotwise weights by computation units are stored during the procedure into the RAM-memory and written (for security's sake) into the disk after certain number of lines.

Estimates for some (optional) forest variables are written in the form of a digital map during the procedure. The estimates are written after each processed line are in the form of a multichannel raster image. The land use classes outside forestry land are transferred directly from digital map-file. Within forestry land, the variables entered by the operator are estimated in the following way.

Define the estimate m_p , of the variable M for the pixel p

$$m_p = \sum_{j=1}^k w_{(j),p} \cdot m_{(j),p}, \quad (10)$$

where $m_{(j),p}$, $j=1, \dots, k$, is the value of the variable M in the sample plot j corresponding the pixel p (which is j th closest pixels of 'known' pixels in the spectral space to the pixel p , see Tomppo (1991)). Mode value is used instead of mean value for qualitative variables.

The often computed variables in the course of the image process are growing stock volumes by tree species, increments by tree species, site fertility class, mean age, etc.

Stand level results can be computed (by request) utilising given stand delineation. Stand delineation can be carried out optionally by means of seg-

mentation techniques. Segmentation can also be used for improving small scale estimates, i.e. for reducing variation caused e.g. image noise. Another post-processing method is mathematical modelling e.g. by spatial Gibbs-type processes (Tomppo 1992).

6. Compilation of tables and map production

The inventory results by computation units are obtained by means of digital maps and the weight coefficients (9) of the field sample plots estimated in the image process. Utilities written at METLA and TABULATE procedures of SAS-statistical software package are utilised in the computation.

The area of water and non-forestry land use classes are estimated by computation units from the produced digital maps by multiplying the number of pixel classified in the land use class by the size of the pixel:

$$A_{C,U} = \#(p|p \in C, p \in U) a, \quad (11)$$

where C is a land use class, U a computation unit and a the area of one pixel. A DISIMP standard utility TILASTK has been written at METLA for the computation.

The non-forestry land area under a possible cloud mask can be estimated in a similar way, because land use class estimates outside forestry land

are based on the pure map data. The water area under cloud mask will be taken in the future from digital maps as well.

The area estimates for forestry land strata by computation units are obtained from the estimated plot weights by the equation

$$A_{S,U} = a \sum_{i \in I_S} c_{i,U} \quad (12)$$

where S is a forestry land stratum, I_S is the set of sample plots of the strata and U = computation unit.

The weights $c_{i,U}$ of all plots i in the computation unit U are multiplied by the factor total forestry land area of the unit / (total forestry land area - forestry land area covered by clouds) if clouds cover a part of the forestry land area. This means that it is assumed that forest area covered by clouds is on average similar to other forests in the unit.

The volume estimates are computed by computation units and by strata in the following way. Mean volumes are estimated by the formula

$$V = \frac{\sum_{i \in I_S} c_{i,U} v_{i,t}}{\sum_{i \in I_S} c_{i,U}} \quad (13)$$

where S is a computation strata (e.g. site fertility class), I_S is the set of the sample plots in the strata, U a computation unit (municipality), $c_{i,U}$ the weight of the sample plot i in the unit U and $v_{i,t}$ the volume per hectare of the timber assortment t on the sample plot i .

The corresponding total volumes are obtained by replacing the denominator in the Formula (13) by 1. Mean and total volume increment are estimated respectively.

Colour hardcopies is one way to present inventory results. An electrostatic Versatec 8900 colour plotter and Tektronix dye sublimator plotter are employed for this purpose.

A digital theme map is first transformed into VCGL-format by a DISIMP-standard utility written at METLA. The result is transferred into the disk of plot server from which it is transferred to the plotter.

An edge preserving smoothing is applied before VCGL-transformation. The utility called EDGPRU written at METLA is applied. It computes the local variance within different windows and chooses that with the minimum variance. The filtering reduces the within stands variation and makes the map easier to interpret. The thematic map is classified in classes defined by the user during the VCGL-transformation procedure. The user also selects the colors used for different classes and describes the legend of the map.

7. First results and conclusions

Because of delays in data delivery, only a part of the area has been pro-

cessed so far. The area is covered by the image 196-floating point (52,02-00,00), full scene, 27-06-1995. This area involves forests of Landesverbandes Lippe which can be used for assessing reliability of results.

Sample plots of Lippe area have not been provided and thus not applied in the image analysis.

Table 1 shows areas by dominant tree species groups according to field inventory and based on multi-source technique and Table 2 the volumes by tree species groups. Table 3 shows timber assortment by tree species groups.

In those Tables, the forest area has been taken from the field inventory. According to map data, the forest area is 13 570 ha. This yields for the total volume the figure 4,179 mill. m³.

The results match reasonably well, especially keeping in mind that they are first preliminary results. Location of sample plots with respect to image pixels (possible mislocation caused by image rectification) is still going on and may improve results to some extent, as well as method development.

At this moment, the conclusion is that satellite image based inventory can get results for smaller areas than what is possible with field measurements only.

References

- DISIMP. 1990. Device Independent Software for Image Processing. USERS' GUIDE. Version 5.0. CSIRO. Division of Information Technology, Canberra, Australia.
- Tomppo, E. 1991. Satellite Image-Based National Forest Inventory of Finland. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 28, Part 7-1, pp. 419-424.
- Tomppo, E. & Katila, M. 1991. Satellite Image-Based National Forest Inventory of Finland. In: Proceedings of IGARSS '91, Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management. 1991 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6, 1991. IEEE Catalog Number 91 CH 2971-0. Vol. III. 1141-1144.
- Tomppo, E. 1992. Satellite image aided forest site fertility estimation for forest income taxation purposes. 70 pp. Acta Forestalia Fennica 229.
- Tomppo, E., 1993. Multi-Source National Forest Inventory of Finland. Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories. Finland 17-21 August, 1992. IUFRO S4.02. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 444. pp.52-60.
- Tomppo, E., Siitonen, M. & Lappi, J. 1993. Forest Resource Monitoring in Finland. CSC News. Vol 5, No 2. pp 11-15.

Waldentscheid aus Orthophotokarten^(*)

Irene Lucaschewski^(**)

1. Zielsetzung

1.1 Ermittlung der Waldfläche

Eine wichtige Zielgröße der Landeswaldinventur stellt die Ermittlung der Waldfläche im Land für vorgegebene Auswerteeinheiten dar (4). Die terrestrischen Aufnahmen im Rahmen der Landeswaldinventur im geplanten Stichprobenetz von 1 x 1 km liefern Angaben zur Waldfläche. Diese Angaben sind jedoch für die vorgesehenen Auswerteeinheiten von ca. 10.000 Hektar Waldfläche mit zu großen statistischen Fehlern behaftet. Durch die Verdichtung des terrestrischen Stichprobenetzes von 1 x 1 km auf 500 x 500 m in Luftbildkarten sollen zuverlässige Angaben für die geplanten Auswerteeinheiten von ca. 10.000 Waldfläche gewonnen werden.

Die bisher vorliegenden Flächenangaben auf Landesebene unterscheiden sich je nach Quelle deutlich mit Werten zwischen 840.000 und 880.000 Hektar Wald in Nordrhein-Westfalen. Auf der Ebene der geplanten Auswerteeinheiten von der Größe eines Kreises oder Forstamtes liegen diese Angaben bei der Katasterverwaltung oder aus internen Erhebungen bei den Forstämtern vor. Wie die Zahlen auf Landesebene zeigen, sind sie nicht sehr zuverlässig oder aktuell - genauere Daten stehen nicht zur Verfügung.

Bei der Berechnung der landesweiten Holzvorräte spielt die Waldfläche eine entscheidende Rolle. Sie wirkt sich entsprechend auf die Fehlerrechnung aus

(1). Schon geringe Flächenfehler wirken sich deutlich auf den statistischen Fehler des Gesamtvorrats aus.

1.2 Traktvorklärung

Als eine zweite wichtige Information soll an Hand der Luftbildkarten ermittelt werden, welche Stichprobenpunkte des systematischen Netzes als „Waldpunkte“ im Gelände überhaupt aufgesucht werden müssen. Im Rahmen der Bundeswaldinventur war diese sogenannte „Traktvorklärung“ in Nordrhein-Westfalen in einem aufwendigen Verfahren durch die Ämter für Agrarordnung bearbeitet worden. Andere Bundesländer haben sich hierzu der unteren Forstbehörden bedient.

2. Methode

2.1 Auswahl des Verfahrens

Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten, das vorgegebene systematische Netz terrestrischer Stichproben zu verdichten. Hierzu bietet sich auf der Ebene der flugzeuggestützten Fernerkundungssysteme vor allem der Einsatz von Luftbildern oder Luftbildkarten (Orthophotos) an.

In Nordrhein-Westfalen fiel die Entscheidung zu Gunsten der Luftbildkarten aus, da hier Luftbildkarten im Maßstab der Deutschen Grundkarte 1 : 5.000 flächendeckend vorliegen.

Dies hat Vorteile gegenüber der Verwendung von Originalluftbildern. Das Landesvermessungsamt führt jährlich Bildflüge in einem Teil des Landes zur Gewinnung schwarz-weißer Luftbilder im Maßstab 1 : 12.500 durch. Daraus werden aktuelle Orthophotos hergestellt. Auf diese Weise steht aus den Bildflügen des Landesvermessungsamtes preisgünstiges und leicht verfügbares Material für eine Auswertung zur Verfügung. Vermessungsbildflüge werden auch in den meisten anderen Ländern durchgeführt, jedoch werden nicht immer Luftbildkarten daraus hergestellt.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Luftbildkarten besteht darin, daß für die Interpretation keine zusätzlichen Auswertegeräte erforderlich sind, solange nur einfache Kenngrößen ermittelt werden sollen. Maßstabsunterschiede und Verzerrungen des Luftbildes sind in der Luftbildkarte bereits weitgehend beseitigt. Vorbereitungsarbeiten sind daher nur in geringem Umfang notwendig, was sich entsprechend positiv auf die Kosten auswirkt.

Den geschilderten Vorteilen stehen natürlich auf der anderen Seite auch Nachteile gegenüber. Zunächst muß mit einem Informationsverlust gegenüber dem Originalluftbild gerechnet werden. Die Auflösung in der Luftbildkarte entspricht einer Auflösung von ca. 50 cm am Boden. Helligkeitsunterschiede und -strukturen von geringer flächiger Ausdehnung gehen dadurch gegenüber einem Originalluftbild verloren. Außerdem kann bei der monoskopischen Betrachtung der Luftbildkarten die dritte Dimension nicht genutzt werden, wie es

Interpretationsbeispiel für natürliche Altersklassen und Baumarten

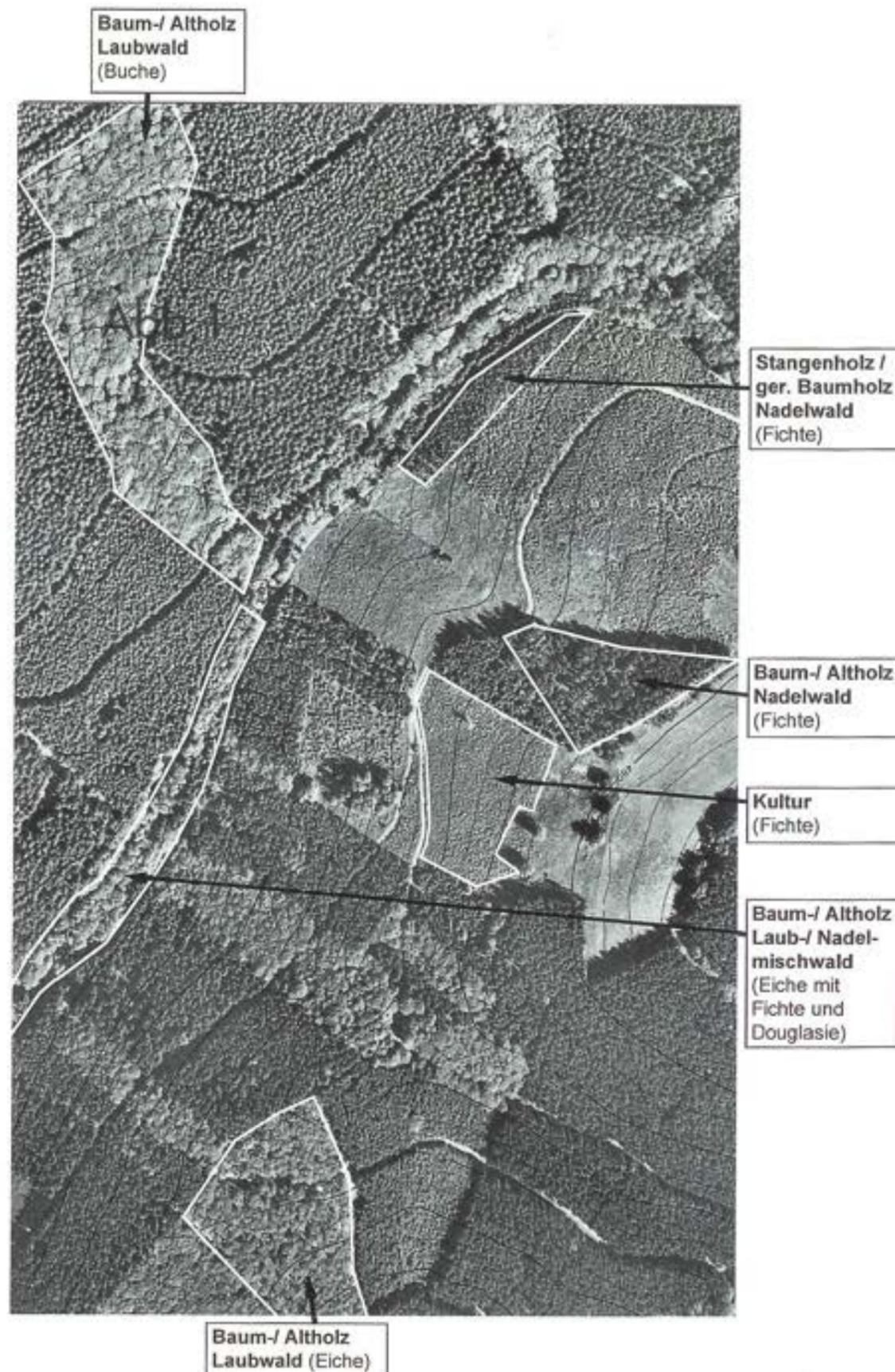


Abb. 1

^(*) Diese Arbeit wurde anlässlich des Symposiums zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (5./6. März 1996) in Horn-Bad Meinberg (Deutschland) vorgetragen.

^(**) Dezernentin für Fernerkundung und Luftbildinterpretation in der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung NRW, Recklinghausen

bei der stereoskopischen Betrachtung der Originalluftbilder möglich wäre. Dieser Verlust an Information über die Struktur erschwert dem Interpreten die Identifizierung der Baumarten und die Abgrenzung zu anderen Flächennutzungsarten. Die Intensität der Interpretation ist deshalb gegenüber dem stereoskopisch zu betrachtenden Luftbild eingeschränkt.

Die geschilderten Vorteile, insbesondere der geringe Zeit- und Kostenaufwand, gaben den Ausschlag bei der Entscheidung zu Gunsten der Luftbildkarten.

2.2 Aufgabenstellung

2.2.1 Materialbeschaffung

Als Grundlage für die Auswertung mußten zunächst die Luftbildkarten beschafft werden. Bei ca. 3,4 Mio Hektar Landesfläche sind dies etwa 9.000 Kartenblätter. Wegen des großen Auftragsvolumens wurden diese bei den 54 Katasterämtern im Lande beschafft. Im wesentlichen handelte es sich um die schwarz-weißen Luftbildkarten, die vom Landesvermessungsamt hergestellt werden. Für einige Städte und Gemeinden standen aber auch die farbigen Luftbildkarten, die der Kommunalverband Ruhrgebiet herausgibt, zur Verfügung. Meist sind farbige Luftbilder für eine Interpretation besser geeignet als schwarz-weiße. Leider handelte es sich lediglich bei etwa 6 % aller Kartenblätter um diese gute Interpretationsvorlage.

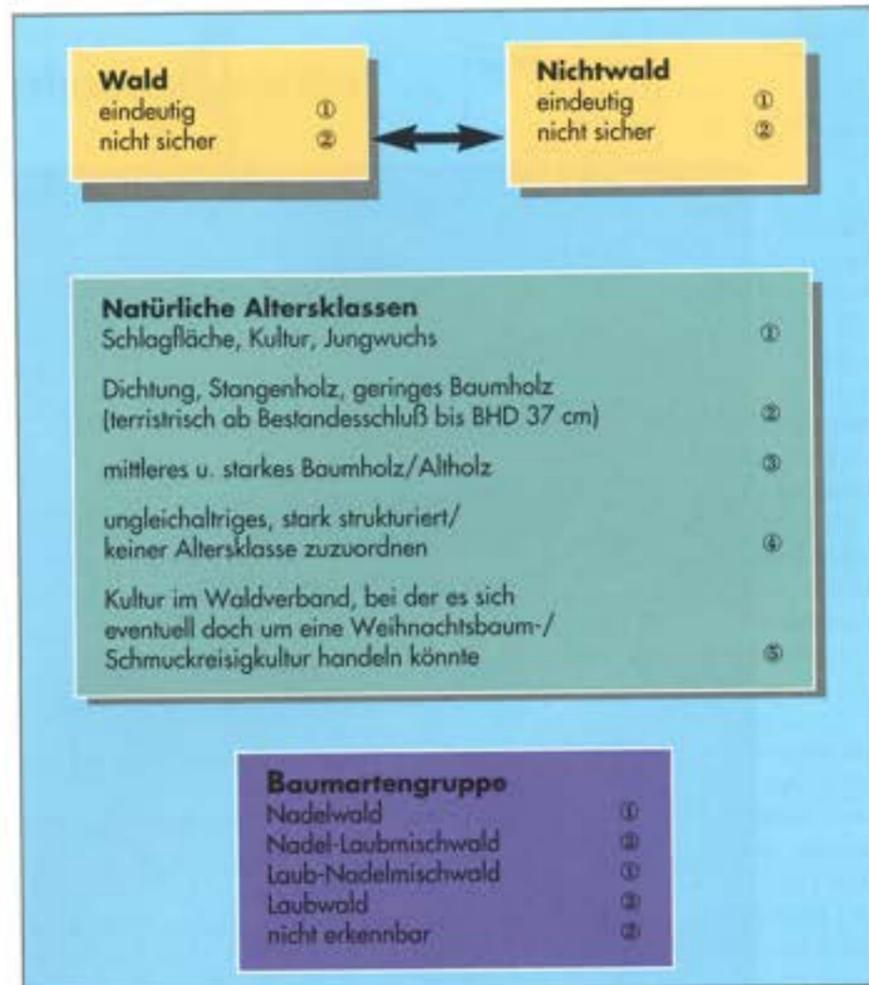


Abb. 2: Interpretationsschema (vereinfacht)

2.2.2 Vorbereitung der Luftbildauswertung

Die zweite Voraussetzung zur Durchführung der Auswertung ist die Vorbereitung der Luftbildinterpretation. Dabei gilt es zunächst, den Stichprobenort in der Luftbildkarte zu identifizieren. Mit Hilfe einer Folie, die temporär auf die Luftbildkarte aufgelegt wurde, lassen sich die 16 Stichproben je Kartenblatt leicht zuordnen.

Für die eigentlichen Interpretationsschritte war es dann erforderlich, eine Arbeitsanweisung zu entwickeln, die die

notwendigen Arbeitsschritte beschreibt (3).

Von besonderer Bedeutung ist an diesem Punkt die Festlegung einer Walddefinition (2). Schon geringe Änderungen der Definition bzw. Mißverständnisse bei ihrer Anwendung können erhebliche Auswirkungen auf die Klassifizierung der Stichproben und damit auf die Waldfläche haben. Die verwendete Walddefinition entspricht im wesentlichen der Definition der Bundeswaldinventur von 1986 bis 1990, ergänzt um landesspezifische Besonderheiten. Danach handelt es sich bei jeder mit

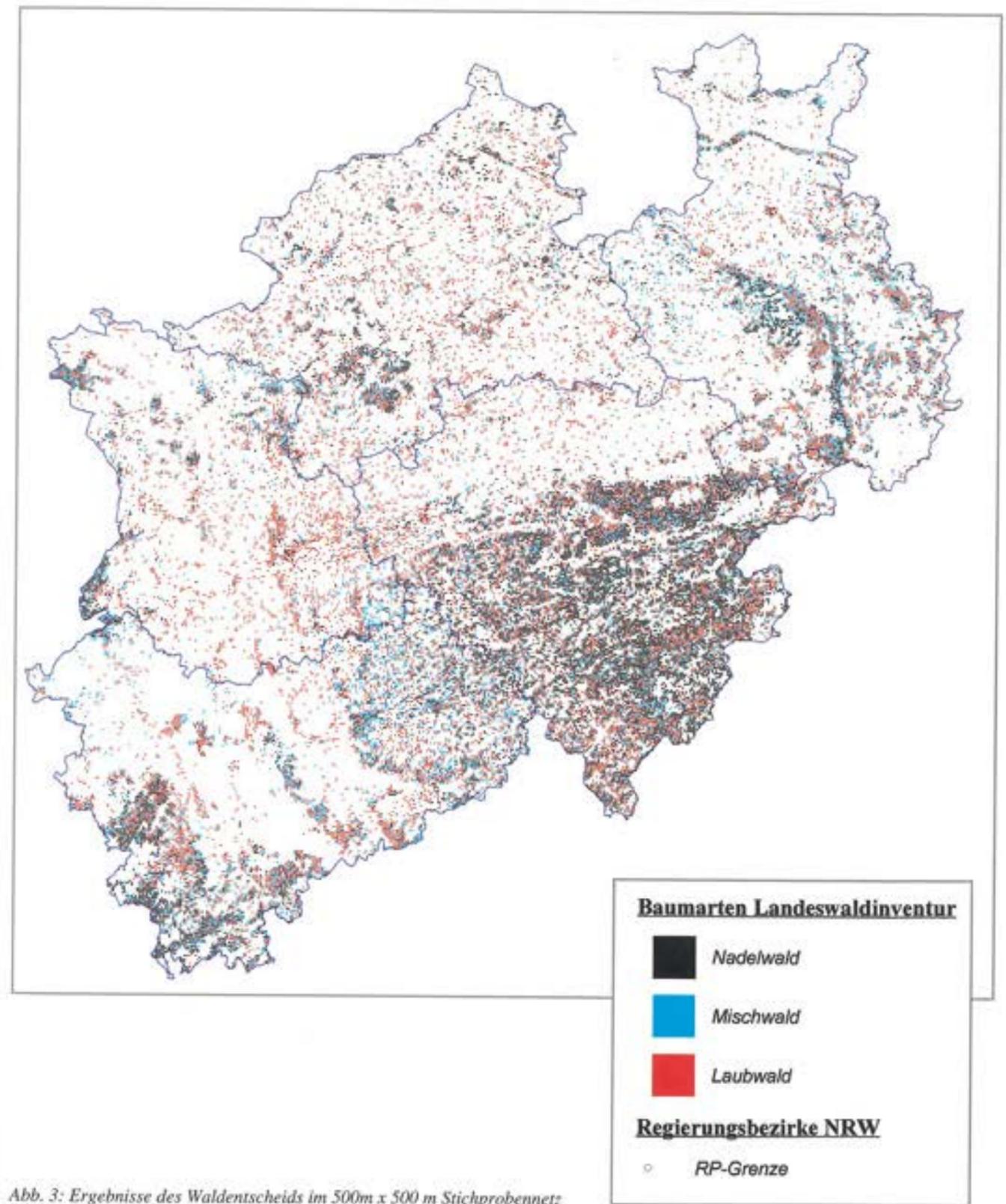


Abb. 3: Ergebnisse des Waldentscheids im 500m x 500m Stichprobenetz

Forstpflanzen bestockten Grundfläche über 1000 m² und breiter 10 m um Wald. Dies schließt auch die üblicherweise zum Nichtholzboden gerechneten, dem Wald dienenden Flächen mit ein.

Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch gegenüber der Begutachtung im Gelände: In der Luftbildkarte kann immer nur die von Bäumen überschirmte Fläche zur Beurteilung herangezogen werden.

Im zweiten Teil der Arbeitsanweisung werden alle Klassen oder Kategorien, die bei der Interpretation differenziert werden sollen, aufgeschlüsselt. Beispiele und Erläuterungen sollen die Einarbeitung der Interpreten erleichtern und möglichst vergleichbare Ergebnisse liefern. In Abb. 1 sind solche Beispiele für typische Waldbestände dargestellt.

Wie bereits geschildert, ist die Auswertung der Luftbildkarten auf Grund des geringeren Informationsgehaltes nur in vereinfachter Form möglich. Abb. 2 zeigt das hierfür vorgesehene Interpretationsschema (vereinfacht). Hauptaufgabe war es, die Entscheidung über Wald oder Nichtwald zu treffen. Dabei bestand die Möglichkeit, diese Entscheidung als unsicher zu kennzeichnen. Innerhalb der Waldflächen wurden dann die zu groben Klassen zusammengefaßten „natürlichen Altersklassen“, die Baumartengruppe und falls möglich auch die Baumart und der Bestandesschluf festgehalten. Selbst bei diesen groben Klassen sind der Interpretation bei Verwendung der Luftbildkarten Grenzen gesetzt. Beispielsweise ist die Bestimmung der Baumartengruppe in den jüngeren Beständen wie Kultu-

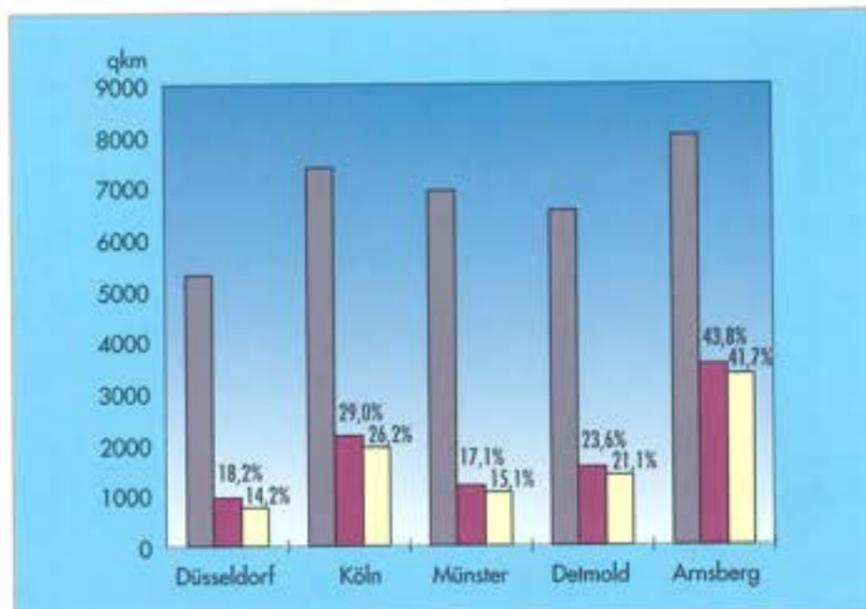


Abb. 4: Fläche und Waldanteil der Regierungsbezirke

ren, Dickungen oder Stangenhölzern oft nicht möglich.

3. Ergebnisse

3.1 Nordrhein-Westfalen

Die Ergebnisse des Waldentscheides im 500 x 500 m Stichprobennetz sind in Abb. 3 zu sehen. Alle als „Wald“ identifizierten Stichproben sind hier als flächige Quadrate annähernd maßstabsgetreu dargestellt. Es ergibt sich das zu erwartende Bild der Waldverteilung in Nordrhein-Westfalen mit Waldschwerpunkten im Sauerland und in der Eifel. Anhand der Farbverteilung lassen sich auch grob Schwerpunkte für die räumliche Verteilung der Baumartengruppen Laubwald (rot) und Nadelwald (schwarz) erkennen. In der Kategorie Mischwald (blau) sind sowohl die von Laub- als auch die von Nadelholz dominierten Mischwälder dargestellt. Zusätzlich sind hier diejenigen Flächen erfaßt, bei denen eine Zuordnung zu Baumarten-

gruppen anhand der Luftbildkarten nicht möglich war (vergl. 3.4).

Für die gesamte Landesfläche von 3.407.717 Hektar (Daten- und Informationssystem MURL 1994, DIM_94) wurden auf diese Weise 136.419 Stichproben ausgewertet. Hiervon wurden 37.567 als Waldstichproben (nur Holzboden) identifiziert, was einer Waldfläche von ca. 940.000 Hektar entspricht. Der Stichprobenfehler liegt bei diesem Stichprobennetz bei 0,5%, das sind ca. 4700 Hektar Waldfläche und damit bei einer Größe, die auf Landesebene zu vernachlässigen ist. Der Waldflächenanteil von 28 % liegt nach dieser Beurteilung um 2 Prozentpunkte über den Katasterangaben (DIM_94).

3.2 Regierungsbezirke

Werden die Ergebnisse des Waldentscheides getrennt nach Regierungsbezirken ausgewertet und graphisch dargestellt, so ergibt sich Abb. 4. Die Gesamtfläche der einzelnen Regierungsbezirke

und die Waldflächenangaben nach Kataster und Waldentscheid sind nebeneinander aufgetragen. Deutlich zu erkennen sind die großen Unterschiede in der Waldflächenausstattung der einzelnen Regierungsbezirke. Die Flächenangaben des Waldentscheides liegen aber durchweg über den Angaben aus dem Kataster.

3.3 Kreise

Noch differenzierter wird das Bild, wenn diese Auswertung auf der Ebene der Kreise, die die unterste Auswerteeinheit darstellen sollen, durchgeführt wird. In Abb. 5 sind deshalb für alle Flächenkreise des Landes die beiden Flächenangaben nebeneinander aufgetragen worden. Die Abbildung verdeutlicht das breite Spektrum im Land mit unter 10 bis über 60 Prozent Waldflächenanteil an der Kreisfläche. Auch bei diesem Vergleich liegen die Angaben des Waldentscheides durchweg über den Katasterangaben.

3.3.1 Vergleich der Flächenangaben

Unter Berücksichtigung der verfahrensbedingten Unterschiede zu anderen Erhebungen und der Fehlermöglichkeiten sollen die Ergebnisse auf Kreisebene genauer beleuchtet werden. In Abb. 5 war der Waldanteil im Vergleich zu den Angaben des Katasters dargestellt worden. Die Angaben der Katasterbehörden werden im Daten- und Informationssystem des Ministeriums gesammelt (DIM_94). Die Waldflächenangaben aus Luftbildkarten liegen durchweg über den

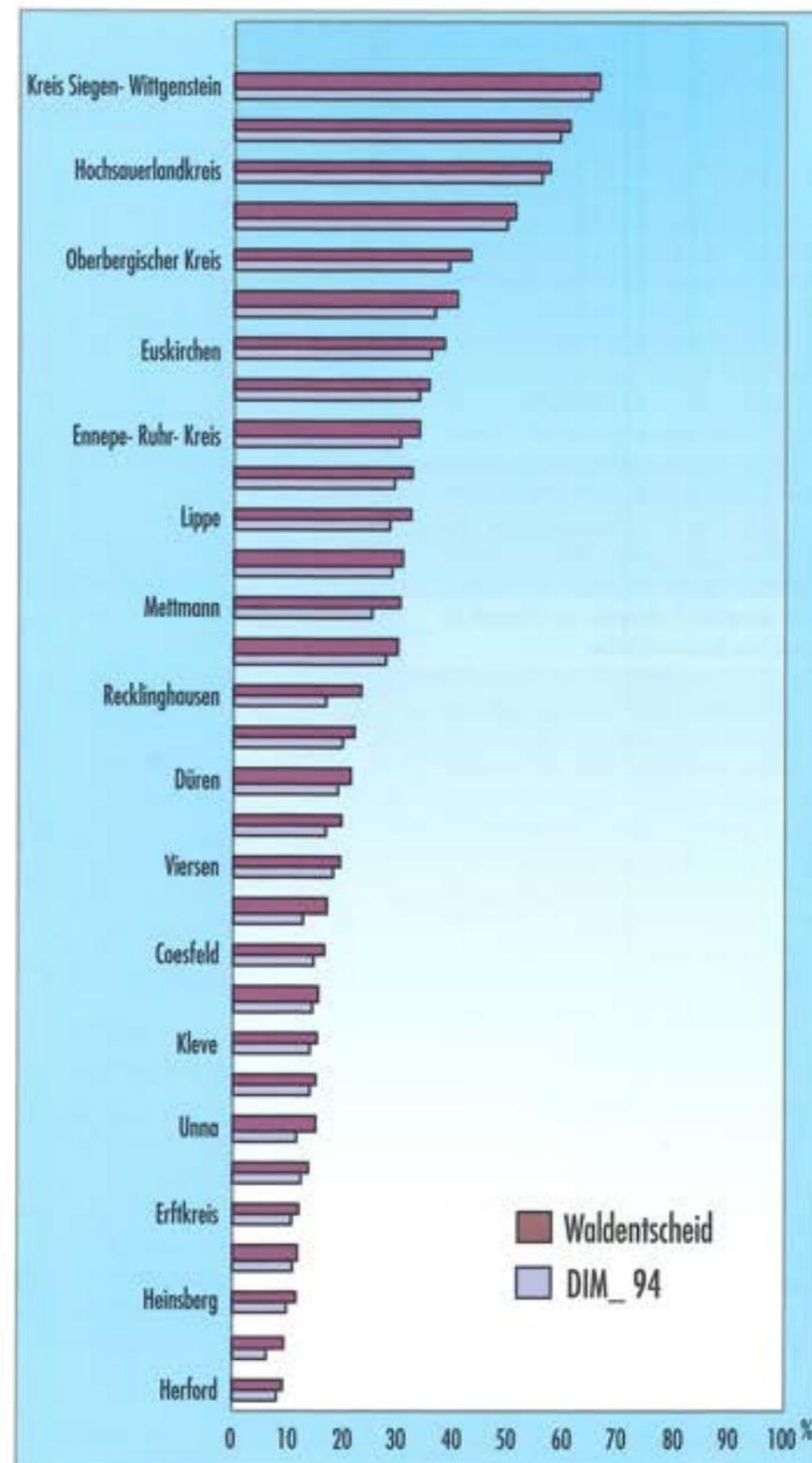


Abb. 5: Waldflächenanteil DIM_94*-Waldentscheid

Katasterangaben. Es ist bekannt, daß die Angaben des Katasters nicht routinemäßig aktualisiert werden, sondern nur bei Bedarf. Da sich im Wald, im Vergleich zum besiedelten Bereich, in aller Regel recht wenige katastermäßig nachzuführende Änderungen ergeben, sind hier die Katasterangaben oft älteren Datums. Auf jeden Fall ist ihr Fortführungsstand sehr unterschiedlich. In Abb. 6 ist die Differenz dieser beiden Flächenangaben für die Kreise dargestellt. Der Unterschied in der Waldfläche liegt bei plus 2 bis plus 52 Prozent in Bezug zur Katasterfläche.

Sehr große Unterschiede traten in den hier nicht aufgeführten kreisfreien Städten im Ballungsraum auf. Geringe absolute Flächendifferenzen wirken sich bei Kreisen mit kleiner Waldfläche prozentual natürlich stärker aus, als bei großen Waldflächen. Es ist allerdings nicht so, daß große Unterschiede nur bei Kreisen mit kleiner Waldfläche oder geringem Waldanteil zu finden sind, sondern die Werte streuen sehr stark. Gründe hierfür können sowohl bei den Katasterangaben als auch bei der Auswertung der Luftbildkarten liegen.

In der letzten Spalte der Abb. 6 sind die im Vorfeld der Inventur kalkulierten Fehlerprozent der Waldfläche in Klassen von bis 5%, 5 bis 10% und 10 bis 20% aufgelistet (1). Diese ergeben sich aus der Stichprobendichte und hängen vom Waldanteil des jeweiligen Kreises ab. Die vorgefundenen Unterschiede relativieren sich unter Berücksichtigung dieser Fehlerprozent etwas. Es bleiben aber durchweg positive Differenzen, die unterschiedlich stark ausgeprägt sind.

Kreis	Gesamtfläche DIM_94 qkm	Waldfläche DIM_94%	WE-Anzahl Waldpunkte ohne Sonderflächen	WE-Waldfläche in %	Waldflächen qkm DIM_94	Flächenveränderung in % der DIM Fläche	Fehlerprozent
Neuss	576,11	6,2	217	9,5	35,72	52,44	20
Wettmann	407,10	16,8	375	23,1	68,39	37,53	20
Güterlah	967,14	12,7	652	16,8	122,83	32,52	10
Urenn	542,55	11,6	325	15,0	62,94	29,05	20
Rücklinghausen	760,22	25,1	918	30,2	190,82	20,31	10
Heinsberg	627,89	9,8	293	11,6	61,53	18,83	20
Weuel	1042,99	16,6	815	19,6	173,14	17,82	10
Lippe	1246,38	28,2	1595	32,0	351,48	13,55	5
Erftkreis	704,84	10,6	339	12,0	74,71	13,53	20
Coesfeld	1110,05	14,6	737	16,5	162,07	13,23	10
Herford	449,92	8,2	166	9,2	36,89	12,53	20
Ennepe-Ruhr-Kreis	408,28	30,1	549	33,6	122,89	11,69	10
Düren	941,19	18,9	796	21,1	177,88	11,63	10
Rhein-Sieg-Kreis	1153,47	29,1	1491	32,4	335,66	11,39	5
Rhein-Berg-Kreis	437,63	36,4	703	40,4	159,30	10,93	10
Soest	1327,48	19,7	1160	21,8	261,51	10,56	10
Oberbergischer Kreis	918,09	38,9	1577	42,9	357,14	10,22	5
Warendorf	1315,63	12,5	722	13,7	164,45	9,37	10
Kleve	1231,31	14,0	745	15,1	172,38	8,14	10
Steinfurt	1791,61	13,9	1077	15,0	249,83	7,90	10
Borken	1417,86	14,3	877	15,4	202,75	7,86	10
Paderborn	1244,97	27,6	1478	29,7	343,61	7,53	5
Minden-Lübbecke	1151,99	10,9	539	11,7	125,57	7,45	10
Viersen	563,06	17,9	432	19,2	100,79	7,17	10
Euskirchen	1249,07	35,7	1907	38,1	445,92	6,86	5
Wüster	1199,64	28,7	1468	30,6	344,30	6,50	5
Aachen (Kreis)	546,54	33,7	771	35,4	184,18	4,95	10
Kreis Olpe	710,80	59,0	1737	60,9	419,37	3,23	5
Märkischer Kreis	1058,93	49,4	2161	50,9	523,11	3,03	5
Hochsauerlandkreis	1958,60	55,6	4471	57,2	1088,98	2,84	5
Kreis Siegen-Wittgenstein	1131,45	64,6	2995	66,1	730,92	2,30	5

Abb. 6: Waldanteil aus Luftbildkarten

3.4 Natürliche Altersklassen und Baumartengruppen

Beispiele für weitergehende Auswertungen sind in Abb. 7 und Abb. 8 dargestellt. Die gefundene Verteilung der Stichprobenpunkte auf die natürlichen Altersklassen entspricht den Erwartungen. Der Schwerpunkt der Verteilung liegt bei den mittleren Altersklassen (Dickung, Stangenholz, geringes Baumholz).

Bei den Anteilen nach Baumartengruppen ergibt die Auswertung der Luftbildkarten ein etwas anderes Bild, als bei

anderen Auswertungen. Der Anteil der Stichproben mit Laubwald und von Laubbäumen dominiertem Mischwald liegt mit 49 Prozent über dem Anteil des Nadelwaldes, der bei 43 Prozent liegt. In bisher vorliegenden Zahlen liegt der Nadelwaldanteil über dem Laubwaldanteil. Hier könnte sich eine mögliche Überschätzung des Waldanteils in Ballungsräumen mit Parks und Grünanlagen positiv auf den Laubwaldanteil auswirken. Allerdings war bei etwa 8 % der Stichprobenpunkte eine Baumartengruppe für den Interpreten „nicht erkennbar“. Diese Kategorie war vorgesehen worden, weil in den Luftbildkarten eine Dif-

ferenzierung nach Baumartengruppen für die jungen Altersklassen meist nicht möglich ist.

4. Gründe für Unterschiede bei Flächenangaben und mögliche Fehlerquellen

4.1 Fehlerquellen bei der Auswertung der Luftbildkarten

Bei den Fehlerquellen, die bei der Interpretation der Luftbildkarten auftreten können, handelt es sich zum Teil um die gleichen, die auch bei anderen Verfahren zur Ermittlung oder Kartierung von Waldflächen auftreten können.

Waldefinition

Wie aus anderen Untersuchungen bekannt ist, können schon geringfügige Unterschiede in der Definition des Waldbegriffes zu deutlichen Änderungen in der Flächenbilanz führen. Gerade die Abgrenzung und Zuordnung zu anderen Nutzungsarten wie beispielsweise Feldgehölzen oder Brach- und Sukzessionsflächen kann Schwierigkeiten bereiten. Mit diesem Problem haben allerdings alle derartigen Erhebungen zu kämpfen, unabhängig davon, ob es sich um Stichprobenverfahren handelt oder um Vollerhebungen.

Aktualität der Arbeitsunterlagen

Die verwendeten Luftbildkarten wurden im Jahr 1994 beschafft. Das Landesvermessungsamt verwendet einen 6-jährigen bzw. jetzt 5-jährigen Beflie-

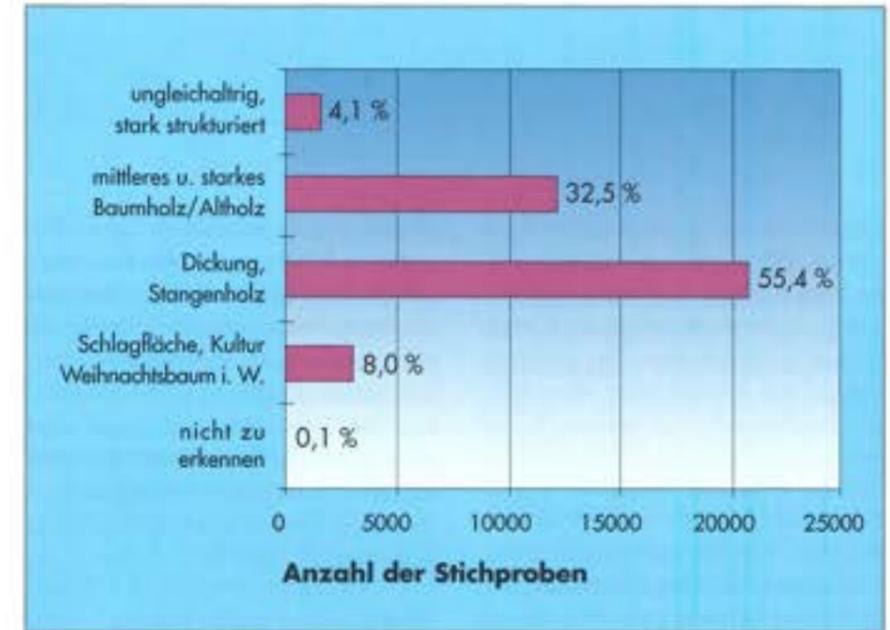


Abb. 7: Anteil der natürlichen Altersklassen

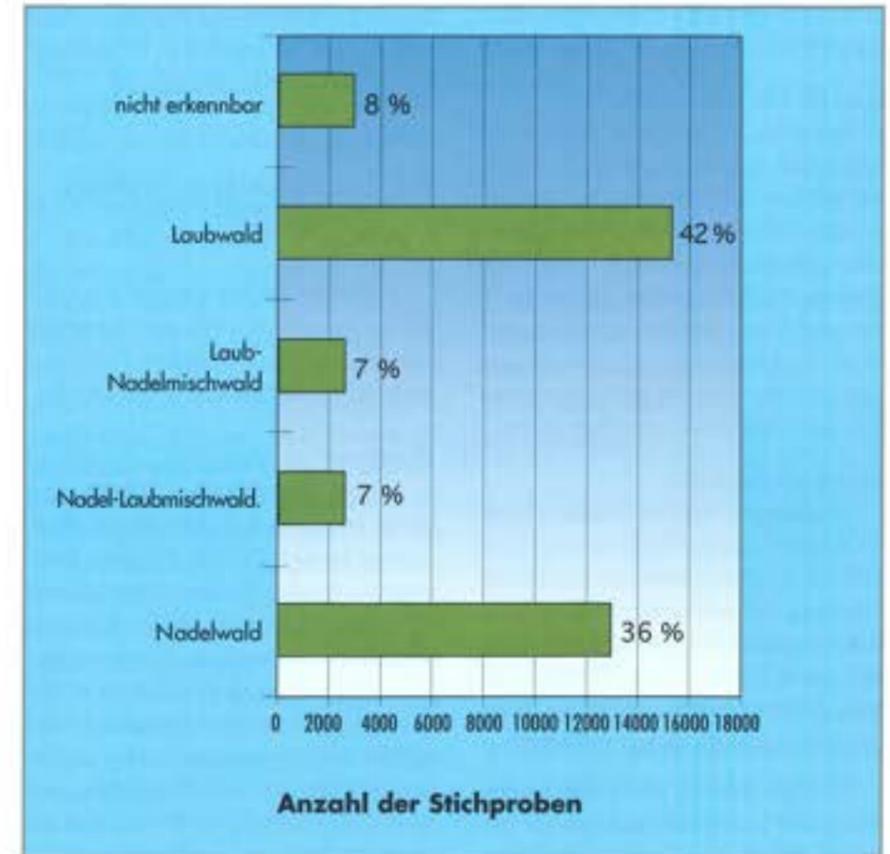


Abb. 8: Anteil der Baumartengruppen

gungsturnus für die Bildflugblöcke im Land. Zufälligerweise gab es ausgerechnet beim Bildflug des Jahres 1993 Probleme mit der Auslieferung der Luftbilder und Luftbildkarten. Das gelieferte Material war deshalb leider etwas älter, als wünschenswert und stammte, bis auf wenige Ausnahmen, aus den Jahren 1987 bis 1992. Die Qualität der zugrundeliegenden Luftbilder war in aller Regel gut. Hin und wieder traten jedoch Probleme bei der Interpretation auf, weil ein Teil der Bilder aus dem Frühjahr vor Laubaustrieb stammte oder starke Schlagschatten in Tälern oder an Waldrändern eine klare Abgrenzung erschwerten.

Qualität und Genauigkeit

Bei den Luftbildkarten handelte es sich in den meisten Fällen um Lichtpausen auf Kontrastlichtpauspapier, teilweise auch um normales Lichtpauspapier oder gedruckte Exemplare. Auf dem Weg der Reproduktion im Lichtpausvorgang entstehen geringe Ungenauigkeiten durch den Papierverzug. Ungenau oder falsches Anlegen der Stichprobenfolie kann zusätzlich zu Fehlern führen.

Interpretationsfehler

Unabhängig vom verwendeten Luftbildmaterial können Fehler bei der Luftbildinterpretation auftreten. Mangelnde Erfahrung des Interpreten kann zu Fehleinschätzungen führen. Es sollten deshalb nur Interpreten zum Einsatz kommen, die über Erfahrung bei der Interpretation von Waldflächen verfügen.

Daneben können Fehler durch einen schlechten Interpretationsschlüssel entstehen. Um diesem Problem vorzubeugen, war versucht worden, den Schlüssel

so eindeutig wie möglich zu fassen. Vor allem bei der entscheidenden Frage nach „Wald“ oder „Nichtwald“ mußten sich die Interpreten in jedem Fall für eine der beiden Alternativen entscheiden. Zusätzlich hatten sie allerdings die Möglichkeit, ihre Entscheidung als sicher oder nicht sicher zu bezeichnen. Immerhin haben die Interpreten ihre eigene Entscheidung in 99 % aller Fälle als sicher eingestuft.

Treffer sicherheit des Verfahrens

Schließlich bleibt noch die Frage nach der Treffer sicherheit und Zuverlässigkeit des Verfahrens. Auf diese Frage und wie dies zu überprüfen ist, soll später genauer eingegangen werden.

4.2 Unterschiede zu anderen Erhebungen

Zwischen den Ergebnissen aus Luftbildkarten und anderen Auswertungen gibt es - neben möglichen Fehlern - auch verfahrensbedingte Unterschiede.

Waldtrauf

In den verwendeten Luftbildkarten ist die maßgebliche Fläche für die Beurteilung immer die von Bäumen überschirmte Fläche. Bei einer terrestrischen Erhebung wird eher der Verlauf von Grundstücksgrenzen, Wegen oder Baumfußpunkten als Waldgrenze erfaßt. Die Waldfläche wird dadurch in der Luftbildkarte systematisch etwas größer eingeschätzt. Um eine Vorstellung von der Größenordnung zu haben, hier ein Beispiel: Bei einer kreisförmigen Waldfläche von 1 Hektar, die einen überhän-

genden Waldtrauf von nur 1 m hat, ergibt sich eine Flächenzunahme von 2 %. Diese Vergrößerung ist um so ausgeprägter, je kleiner die Flächen und je länger die Randlinien sind, was sicher auf einige Landesteile, beispielsweise im Münsterland, zutrifft.

Nichtholzboden

Waldflächen, die nach forstlicher Definition zwar zur Forstbetriebsfläche gehören, aber zum Nichtholzboden gezählt werden, wie beispielsweise breite Wege oder Holzlagerplätze, werden in den Luftbildkarten durch die Überschirmung benachbarter Waldstücke flächenmäßig eher etwas unterschätzt. Auch innerhalb des Waldes liegende Wildungsflächen oder Waldwiesen werden in der Luftbildkarte eher als landwirtschaftliche Flächen eingeordnet, da die Intensität ihrer Nutzung nicht zu erkennen ist. Mit knapp 3 % Nichtholzbodenflächen in der Luftbildkarte paßt dieser Wert gut zu den Ergebnissen der Bundeswaldinventur für Nordrhein-Westfalen. Er liegt aber etwas unter den Zahlen, die nach Ergebnissen der Forsteinrichtung zu erwarten wären.

Weihnachtsbaumkulturen

Da Weihnachtsbaumkulturen regional zum Beispiel im Sauerland in den letzten Jahren sehr stark an Bedeutung gewonnen haben, war es ein Ziel der Auswertung, diese Nutzungsart separat zu erfassen. Nach Landesforstgesetz gehören Weihnachtsbaum- und Schmuckreisigkulturen im Wald oder im Waldverband zum Wald dazu. Außerhalb des Waldverbandes gelegene Weihnachtsbaumkulturen werden hingegen nicht zum Wald gerechnet. Bei Erarbei-

tung des Interpretationsschlüssels zeigte sich, daß eine Trennung zwischen normaler Kultur und Weihnachtsbaumkultur in den Luftbildkarten sehr schwierig oder gar unmöglich war. Am ehesten waren ältere Weihnachtsbaumkulturen in der Feldflur oder am Waldrand zu erkennen. Durch den weiten Pflanzverband und die oft selektive Nutzung weisen solche Fläche eine erkennbar typische Struktur auf. Junge Weihnachtsbaumkulturen, Erstaufforstungen oder auch Sukzessionsflächen in der Feldflur waren hingegen kaum erkennbar und noch weniger unterscheidbar.

Luftbildmontagen

Aus Gründen der militärischen Geheimhaltung mußte das Landesvermessungsamt bei der Herstellung der Luftbildkarten bis einschließlich 1989 Montagen an den Luftbildern vornehmen. Dazu wurden anstelle des tatsächlichen Bildinhalts für Flächen, die aus militärischer Sicht oder aus Gründen der zivilen Verteidigung bedeutsam waren, gezielt Waldflächen in die Luftbildkarten einmontiert. Leider war es bisher nicht möglich, Informationen darüber zu erhalten, um welche Flächen es sich handelt und vor allem in welcher Größenordnung diese „Waldvermehrung“ stattgefunden hat. Fast die Hälfte der verwendeten Luftbildkarten stammt noch aus der Zeit, in der diese Montagen durchgeführt wurden.

4.3 Kontrollmöglichkeiten

Wie bereits geschildert, gibt es bei dem beschriebenen Verfahren zur Waldflächenermittlung mit Luftbildkarten mögliche Fehlerquellen, aber auch

Unterschiede zu anderen Erhebungsverfahren. Um die Eignung und Treffer sicherheit des Verfahrens wirklich beurteilen zu können, müssen die Möglichkeiten und Verfahren zur Kontrolle geprüft werden.

4.3.1 Interpretationskontrolle

Die Interpretation der Luftbildkarten war in mehreren Losen an luftbilderfahrene Forstsachverständige vergeben worden. Die Interpretationsergebnisse wurden stichprobenartig kontrolliert. Systematische Kontrollen erfolgten bei allen Auffälligkeiten und vor allem an der Grenze zwischen 2. und 3. Hauptmeridian des Gauß-Krüger Koordinatensystems. Durch das Aneinanderstoßen der zwei Bezugssysteme können Probleme beim Anlegen der Stichprobenfolie entstehen.

4.3.2 Testlauf im Staatswald

Parallel zu dieser Luftbildkarten-Erhebung ist der Testlauf zur Landeswaldinventur im Staatswald durchgeführt worden. Die bereits vorliegenden Ergebnisse können leider nicht bei der Beantwortung der Frage weiterhelfen, ob die Ergebnisse aus Luftbildkarten mit der Einschätzung im Gelände übereinstimmen. Denn bei der Vorbereitung der Arbeitsunterlagen für den Testlauf mußte schon im Vorfeld geklärt werden, welche Stichprobenpunkte im Staatswald liegen. Die Frage, ob es sich bei einem Stichprobenpunkt um Wald handelt, war damit im Grunde beantwortet. Werden die Ergebnisse der beiden Verfahren miteinander verglichen, so zeigt sich, daß einzelne Stichprobenpunkte, die im Gelände dem Nichtholzboden zugeordnet worden waren, in der Luftbildkarte als Nichtwald eingestuft wurden.

4.3.3 Topographische Karten

Theoretisch betrachtet müßte sich die Waldfläche im Land oder in ausgewählten Gebieten auch über die von der Landesvermessung gelieferten Waldinformationen aus topographischen Karten herleiten lassen. Ein Problem ist jedoch der mangelnde Aktualitätsgrad bei der Fortführung der Karten. Ein zweites Problem stellt die abweichende Walddefinition bei der Herstellung der sog. Waldmaske auf photogrammetrischem Wege dar. Erste Versuche, die gerade in Überarbeitung befindliche und deshalb aktuelle topographische Karte 1 : 50.000 zur Kontrolle der Waldentscheidung zu verwenden, warfen neue Probleme auf. Durch die Generalisierungen in der Karte werden kleine linien- oder flächenhafte Objekte überhöht dargestellt, damit sie in einer Karte dieses Maßstabes darstellbar sind. Zum Beispiel werden Waldwege deutlich breiter dargestellt, als sie in Wirklichkeit sind. Flächenberechnungen an Hand dieser Daten liefern deshalb keine vergleichbaren Ergebnisse.

4.3.4 Bundeswaldinventur

Für etwas über 1 Prozent aller Stichprobenpunkte liegen Daten aus der Bundeswaldinventur vor. Die Traktorklärung wurde zum Stichtag 1.10.86 durchgeführt und ist damit nicht mehr sehr aktuell. Ob die Daten der Bundeswaldinventur als Kontrollinstrument für die Auswertung der Luftbildkarten geeignet sind, muß noch geprüft werden - erscheint aufgrund des frühen Stichtages aber fraglich.

4.3.5 Hauptlauf der Landeswaldinventur

Im Rahmen der geplanten Landeswaldinventur sollen in einem 1 x 1 km Netz alle Stichprobenpunkte, die in der Luftbildkarte als Wald identifiziert wurden, terrestrisch aufgenommen werden. Das bedeutet, daß bei 25 Prozent aller Waldpunkte eine Überprüfung des Waldentscheides stattfindet. Damit findet eine zuverlässige Kontrolle dieser Auswertung statt, die auch ein Maß für die wahrscheinliche Überschätzung der Waldfläche aus Luftbildkarten liefern kann.

5. Eignung des Verfahrens

5.1. Vorbereitung des Hauptlaufs

Die Ergebnisse der Luftbildkartenauswertung werden zur Vorbereitung der Unterlagen und Arbeitskarten für den geplanten Hauptlauf der Landeswaldinventur verwendet. Als Ergebnis dieser Auswertung ist jetzt bekannt, wieviele und welche der etwa 9.000 Blätter der Deutschen Grundkarte vorbereitet und vervielfältigt werden müssen. Bei dem geplanten Netz von 1 x 1 km Stichprobendichte sind dies etwa 60 Prozent der Kartenblätter. Reduziert man diese Aufnahmepunkte noch um die bereits durch den Testlauf im Staatswald erfaßten, so bleiben ca. 4600 unterschiedliche Kartenblätter mit ca. 8300 noch aufzunehmende Stichprobenpunkten übrig. Damit wurden günstige Voraussetzungen für die Planung und Vorbereitung der Außenaufnahmen geschaffen. Das aufwendige Verfahren der Traktvorklärung durch örtliche Stellen kann auf ein Minimum begrenzt werden.

5.2 Kosten des Verfahrens

Zu einer abschließenden Beurteilung ist es notwendig, neben der Frage nach der Eignung des Verfahrens auch die Frage nach den Kosten zu stellen.

Die Materialkosten waren auf Grund der geschilderten Rahmenbedingungen sehr gering. Die Interpretation der Luftbildkarten war an private Sachverständige vergeben worden. Zusammen beliefen sich die Kosten für Material und Interpretation auf etwa 1,25 DM je begutachtetem Stichprobenpunkt. Wird jetzt ein gutachtlich geschätzter Aufschlag von 100 Prozent für den eigenen Aufwand an Personal und Material für die Organisation, Auswertung und allgemeine Verwaltung hinzugerechnet, so ergeben sich Kosten von ca. 2,50 DM je Stichprobenpunkt. Bezogen auf die Fläche sind dies etwa 0,40 DM je Hektar Waldfläche.

6. Schlußfolgerungen

Die Auswertung der Luftbildkarten weist einige methodische Unterschiede zu anderen Verfahren der Waldflächenermittlung auf. Die Ergebnisse sind deshalb nicht direkt mit anderen Flächenangaben vergleichbar. Auf der Ebene der flächenmäßig großen Landkreise liefert das Stichprobennetz von 500 x 500 m statistisch gesehen gute Ergebnisse. Für die flächenmäßig kleinen kreisfreien Städte konnten jedoch keine Ergebnisse erwartet werden. Schwierigkeiten bereitet die Verwendung der Luftbildkarten im Ballungsraum, was auch aus anderen Untersuchungen bekannt ist. Hier kommt

es zu erheblich höheren, unplausiblen Waldflächenangaben. Teilweise wird es sich dabei tatsächlich um Wald nach gesetzlicher Definition handeln, auch wenn im Kataster hier kein Wald ausgewiesen ist. Häufig werden aber auch Fehlinterpretationen vorliegen, weil städtische Grünanlagen, Parks oder Gärten in der Luftbildkarte wie Waldflächen aussehen können.

Um den direkten Vergleich mit einer Aufnahme der Waldflächen vor Ort herstellen zu können, werden 25 Prozent aller „Waldpunkte“ im Hauptlauf der Landeswaldinventur im Gelände überprüft. In Verbindung mit dieser Verifizierung der Ergebnisse stellt die Luftbildkartenauswertung insgesamt ein sehr effizientes und kostengünstiges Verfahren dar.

Literaturhinweise:

(1) Köhl, M.; Kleinn, Ch.; Spelsberg, G.; Sternemann, K.: Fehlerberechnung bei Waldflächenschätzungen in Regionalinventuren am Beispiel einer Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen. AFJZ 165 (4), S. 61-69. (2) Kleinn, Ch.: Zum Waldbegriff in Forstlichen Großrauminventuren. AFJZ 162 (11/12) S.201-210. (3) Lucaschewski, I.: Waldflächeninventur mit Luftbildkarten. AFZ Nr. 2/1996 S. 86-87. (4) Spelsberg, G.; Wessels, W. 1994: Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen. AFZ Nr.23/1994, S. 1292-1293.

Bundeswaldinventur II (*)

Ein Inventurkonzept zwischen Kontinuität und Modernisierung

Dr. Heino Polley(**)



Bedarf

Als Gemeinschaftswerk von Bund und Ländern ist im Zeitraum von 1986 bis 1990 eine Bundeswaldinventur durchgeführt worden. Sie hat vielfältige Informationen über den Zustand, die Strukturen sowie über das Leistungs- und Gefährdungspotential der Wälder geliefert. Da die Erhebungen jedoch bereits vor der deutschen Wiedervereinigung abgeschlossen waren, beziehen sich die Ergebnisse nur auf das frühere Bundesgebiet und es gibt somit derzeit keine nach einheitlichem Verfahren erhobene Datenbasis über die Wälder in der Bundesrepublik Deutschland, wie sie das Bundeswaldgesetz fordert.

Deshalb werden für bundesweite Zusammenstellungen neben der Bundeswaldinventur auch die Forsteinrichtungsdatenspeicher (Datenspeicher Waldfonds) der neuen Bundesländer ausgewertet. Das sind jedoch zwei grundsätzlich unterschiedliche Datengrundlagen. Während die Bundeswaldinventur eine großräumige Stichprobeninventur ist, deren Stichproben als quadratische Trakte in einem systematischen Gitternetz angeordnet sind, handelt es sich beim Datenspeicher Waldfonds um eine Sammlung von Daten, die im Rahmen periodischer Forsteinrichtungsinventuren erhoben und jährlich über die nachgewiesenen Nutzungen und den ertragstafelmäßigen Zuwachs fortgeschrieben wurden. Die Daten der Bundeswaldinventur beziehen sich auf den Stichtag 1.10.1987, die der letzten für alle neuen Bundesländer einheitlichen Ausgabe des Datenspeichers Waldfonds

auf den 1.1.1993. Im Datenspeicher Waldfonds sind rund 85 % der Waldflächen in den neuen Bundesländern nachgewiesen. Daß die Summierung von Forsteinrichtungsdaten kein Ersatz für eine Stichprobeninventur sein kann, wurde schon bei der Begründung der Bundeswaldinventur 1986-1990 herausgestellt.

Das alles erschwert die länderübergreifende Einschätzung des forstlichen Leistungsvermögens und des forstpolitischen Steuerungsbedarfes auf Bundesebene. In der Kompetenz des Bundes liegt in diesem Zusammenhang

- die Förderung mit den Mitteln der Wirtschafts-, Verkehrs-, Agrar-, Sozial-, und Steuerpolitik
- die finanzielle Förderung nach dem Gemeinschaftsaufgabengesetz und
- die Schaffung von Planungsinstrumenten für die Forst- und Holzwirtschaft (z.B. Holzaufkommensprognosen).

Um der Verantwortung gerecht zu werden, ist eine zuverlässige Datengrundlage zur Einschätzung der Situation des Waldes sowie der Forst- und Holzwirtschaft erforderlich.

Auch internationale Berichtspflichten können oftmals nicht in der geforderten Qualität erfüllt werden.

Insbesondere fehlt heute aber auch ein bundesweiter Überblick über die Entwicklung der Wälder und den Holzzuwachs sowie über die Leistungen der

Wälder, die über ihre Produktionsfunktion hinausgehen. Da die Bundeswaldinventur bereits als periodisch wiederholbare Inventur angelegt ist, könnte eine Folgeinventur viele dieser Informationslücken schließen und erstmals seit 1937 wieder ein vollständiges Bild über die Waldverhältnisse in ganz Deutschland liefern.

Deshalb wurde die zur wissenschaftlichen Vorbereitung der Bundeswaldinventur 1986-1990 gegründete Gutachterkommission für Waldinventur beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten nach dem erfolgreichen Abschluß der Inventur wieder aktiviert und beauftragt, zusammen mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft die Konzeption für eine Folgeinventur zu erarbeiten. Daneben wurde vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten bei verschiedenen Universitäten, Forschungsanstalten und Beratungsfirmen eine ganze Reihe weiterer Gutachten in Auftrag gegeben, deren Ergebnisse bei der Erarbeitung der Inventurkonzeption berücksichtigt wurden.

Der Bedarf und die Konzeption für eine Folgeinventur wurde in mehreren Bund-Länder-Beratungen diskutiert. Die Leiter der Forstverwaltungen des Bundes und der Länder haben sich wiederholt mit der Frage einer Folgeinventur befaßt. Eine Bundeswaldinventur II wird prinzipiell für notwendig gehalten; über den Zeitpunkt und das Verfahren besteht jedoch noch keine Einigkeit.

(*) Diese Arbeit wurde anlässlich des Symposiums zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (5./6. März 1996) in Horn-Bad Meinberg (Deutschland) vorgetragen.

(**) Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Eberswalde

Ziele

Von einer großräumigen Waldinventur werden Daten erwartet, die für die Ableitung des forst- und umweltpolitischen Handlungsbedarfes zur nachhaltigen Nutzung und Erhaltung der Wälder erforderlich sind. Dazu muß die Inventur neben Informationen über Waldflächen und Holzvorrat auch Aussagen zu weiteren Merkmalen liefern, die durch die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald oder durch anthropogene Einwirkungen auf Waldökosysteme betroffen sind. Besondere Bedeutung bekommt diese Forderung vor dem Hintergrund großflächiger Immissionen und vermuteter Klimaänderungen.

Seit der Konzipierung der Erstaufnahme der Bundeswaldinventur (BWI I) haben sich die Ansprüche der Gesellschaft zwar nicht grundlegend geändert, jedoch haben sich Wichtungen verschoben und neue Gefahren sind bewußt geworden. Darum ist die Weiterentwicklung der Inventur nicht eine Kritik an der BWI I, sondern die Notwendigkeit ergibt sich aus der neuen Situation.

Die gesetzliche Grundlage für die BWI wurde mit dem am 3.8.1984 in Kraft getretenen ersten Gesetz zur Änderung des Bundeswaldgesetzes geschaffen. Das Ziel der BWI wird in dem damit neu eingebrachten § 41a des Bundeswaldgesetzes nur sehr allgemein formuliert: „Sie soll einen Gesamtüberblick über die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten liefern“¹. In der Begründung zur Gesetzesänderung vom 27.7.1984 wird dazu wei-

ter präzisiert: „Wesentliche Kriterien ... sind zum Beispiel die Baumarten, das Alter, der Holzvorrat, seine Qualität, die Wededichte und die Waldschäden.“

Dem gesetzgeberischen Akt ist jedoch eine längere Diskussion um die Findung der Inventurziele vorausgegangen, die sich am Informationsbedarf zum Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre sowie an dem damals akzeptierten Aufwand-Nutzen-Verhältnis orientiert hat².

Die BWI ist aus gegenwärtiger Sicht zu einseitig auf die Nutzfunktion der Wälder (Holzerzeugung) ausgerichtet. Neben der Nutzfunktion wird heute der Schutz- und der Erholungsfunktion der Wälder eine gleichrangige Bedeutung beigemessen³.

Mit der fortschreitenden Bedrohung des Waldes und anderer Ökosysteme hat das öffentliche Interesse und das Engagement der Forstwirtschaft für die ökologischen und Infrastrukturleistungen der Wälder seit den achtziger Jahren mehr und mehr zugenommen und es ist davon auszugehen, daß die Anforderungen weiter steigen werden. Bei der Konzipierung der Folgeinventur muß somit auch künftiger Informationsbedarf berücksichtigt werden.

Wenn man von einem Inventurintervall von etwa 10 bis 12 Jahren ausgeht, wird klar, daß die jetzt vorzubereitende Inventur den Informationsbedarf mindestens bis zum Jahre 2010 abdecken muß.

Die Bundeswaldinventur II sollte darum einen Gesamtüberblick über die großräumigen Waldverhältnisse liefern,

der eine Bewertung der Voraussetzungen für die nachhaltige Erfüllung aller Waldfunktionen zuläßt. *Der Wald soll wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauerhafte Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion) erhalten, erforderlichenfalls vermehrt und ordnungsgemäß bewirtschaftet werden*⁴.

Anforderungen

Oberstes Ziel einer Stichprobeninventur ist aus inventurstatistischer Sicht die Herleitung von repräsentativen Informationen für definierte Aussageeinheiten unter Berücksichtigung der geforderten Genauigkeit, der vorgegebenen Kosten und des festgelegten Zeitrahmens⁵. Für die Bundeswaldinventur II ergeben sich daraus folgende Anforderungen:

- Das Stichprobendesign der Folgeinventur muß auf der Basis der Erstinventur aufbauen und deshalb weitgehend deren Methoden und Merkmalsdefinitionen verwenden. Änderungen sind nur dort gerechtfertigt, wo sich aus den Erfahrungen der Bundeswaldinventur 1986-1990 wesentliche Verbesserungen zur Erreichung der Ziele ergeben. Wenn ein Methodenwechsel erfolgt, müs-

sen zur Wahrung der Vergleichbarkeit auch die Daten der Erstaufnahme nachträglich mit den neuen Methoden ausgewertet werden können. Änderungen des Inventurdesigns sind bei sämtlichen europäischen Nationalinventuren mit mehreren Inventurzyklen zu beobachten. So hat beispielsweise die erste schwedische Reichswaldtaxation von 1923 wenig mit dem jüngsten Inventurzyklus gemeinsam.

- Eine Besonderheit der Bundeswaldinventur II ergibt sich auch aus ihrer Zweiteilung in eine Wiederholungsinventur im früheren Bundesgebiet und eine Erstinventur in den neuen Bundesländern. Um die methodische Einheitlichkeit innerhalb des Inventurgebietes zu wahren, muß die Inventur in den neuen Bundesländern alle bei einer Erstinventur realisierbaren Elemente der Folgeinventur des früheren Bundesgebietes enthalten. Insofern besteht auch in den neuen Bundesländern keine Wahlfreiheit bei der Festlegung des Verfahrens.
- Das Stichprobendesign muß flexibel für weitere Folgeinventuren sein. Das betrifft nicht nur den zeitlichen Aspekt, sondern auch die Möglichkeit technischer Weiterentwicklungen und geänderter Inventurziele. Deshalb muß ein Kompromiß gefunden werden zwischen der Optimierung unter den derzeitigen Bedingungen und der Offenheit für künftige Fragestellungen.
- Die Genauigkeit der Ergebnisse muß den Ansprüchen der Länder angepaßt werden können.
- Das statistische Konzept sollte für

die Anwender durchschaubar und nachvollziehbar sein. Das ist eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz des Verfahrens und die Interpretation der Ergebnisse.

Die Konzeption der Gutachterkommission⁵

Entsprechend der o. g. Anforderungen soll das Inventurdesign im Wesentlichen beibehalten werden. Gewisse Modifikationen des Verfahrens sind jedoch erforderlich:

- Der Zweiteilung des Inventurgebietes mit einer Erstinventur in den neuen und einer Wiederholungsinventur in den alten Bundesländern muß Rechnung getragen werden.
- Einige Arbeitsschritte können bei der Wiederholungsinventur vereinfacht werden.
- Wegen des gestiegenen Informationsbedarfes sollen zusätzliche Merkmale erfaßt werden.
- Ausgehend von den Erfahrungen der Erstinventur sollen Möglichkeiten zur Verbesserung des Inventurverfahrens genutzt werden.

Die wichtigsten Merkmale der Konzeption sind:

Die Verteilung der Stichproben in einem systematischen Gitternetz der Dichte 4 x 4 km mit der Option einer Verdichtung auf die doppelte oder vierfache Netzdichte sowie die Anordnung der Probepunkte an den vier Ecken qua-

dratischer Trakte der Seitenlänge 150 m wird beibehalten.

Für das Grundnetz (4x4 km) werden im gesamten Bundesgebiet etwa 9.600 Trakte bzw. rund 25.500 Traktecken im Wald erwartet.

Problem Unabhängigkeit der Stichproben: Von den Linienabschnitten mit inliegenden Wald-Traktecken haben 87 % eine Traktecke, 10 % zwei Traktecken, 2 % drei Traktecken, 1 % vier Traktecken. Die Anzahl unabhängiger Beobachtungen verringert sich dadurch um 7 %.

Neu ist jedoch, daß die **Bestandesbeschreibungen** nicht mehr entlang der Traktlinie sondern auf Beurteilungsflächen an den Traktecken durchgeführt werden (Abb. 1). Neben einer methodischen Verbesserung wird eine Zeiteinsparung von etwa 10 % bei den Aufnahmen erwartet.

Bei der Bundeswaldinventur 1986-1990 wurden die Bestandesmerkmale entlang der Taxationslinie aufgenommen (Linientaxation). Die Daten wurden verwendet zur

- Abgrenzung der auszuwertenden Teilpopulationen
- Ermittlung ihrer Fläche
- Gewichtung der Flächenmerkmale.

Die Verwendung der Linienabschnitte hat die Auswertung mit folgenden Problemen belastet:

- „Entmischung“ der Bestände

¹ Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz) vom 2. Mai 1975, geändert durch das Erste Gesetz zur Änderung des Bundeswaldgesetzes vom 27. Juli 1984

² Nick U.: Bundeswaldinventur. Bilanz und Ausblick. In: AFZ 49/1993/25, 1174-1177

³ Schwabe K. T., Insperger G.: Bundeswaldinventur - eine Wertung. BfL, 1994, 29 S.

⁴ Kihl, M.: Statistisches Design für das zweite Schweizerische Landesforstinventar: ein Folgeinventurkonzept unter Verwendung von Luftbildern und terrestrischen Aufnahmen. Mitteilungen d. Eidg. Forschungsanst. f. WSL, Birmensdorf 1994, 141 S.

⁵ Gutachterkommission für Waldinventuren beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Konzeption für eine Folgeinventur zur Bundeswaldinventur (überarbeitet nach Hinweisen aus den Bundesländern und Erfahrungen aus Probeaufnahmen), September 1995, 24 Seiten

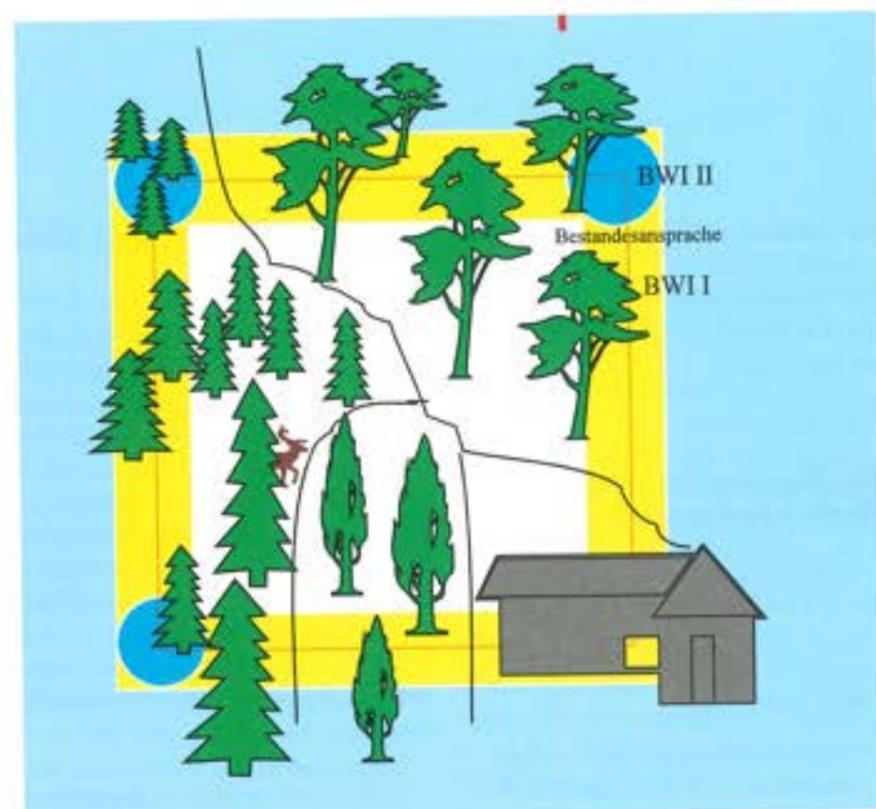


Abb. 1

- Einschränkung der Additivität der Tabellen
- mögliche Verzerrung der Ergebnisse bei kurzen Linienabschnitten
- Auftreten von Teilpopulationen ohne Meßdaten (51 % der Linienabschnitte beinhalten keine Traktecke).

Darum soll bei der Wiederholungsinventur auf die Linientaxation verzichtet und die Erhebung der Bestandes- und Geländemerkmale auf die Traktecken verlegt werden. Die Auswertung und Fehlerrechnung erfolgt dann nach der Theorie der Klumpenstichprobe. Eine Neuauswertung der Erstinventur nach dem neuen Ansatz ist unproblematisch.

Um auch größere Strukturelemente richtig zu erfassen, müssen zur Beschreibung der Bestandesstruktur hinreichend große Waldflächen betrachtet werden. Die erforderliche Mindestgröße hängt

von der Strukturierung der Bestände ab. Homogene Jungbestände z. B. können auf sehr kleiner Fläche zutreffend beurteilt werden. Um jedoch Mischbestände mit horstweiser Mischung der Baumarten als solche zu erfassen, muß eine Fläche betrachtet werden, die mehrfach so groß wie der Horst ist. Bei zu enger Sicht besteht ähnlich wie beim Problem der aufnahmebedingten „Entmischung“ bei der Bundeswaldinventur 1986-1990 die Gefahr, daß Strukturen nicht richtig wiedergegeben werden. Im Prinzip soll die Strukturbeschreibung die mit der Stichprobe ausgewählte kleinste Bewirtschaftungseinheit, den Waldbestand, repräsentativ erfassen. Das war auch die Absicht bei der Abgrenzung der Linienabschnitte bei der Bundeswaldinventur 1986-1990. Deshalb dürfen bei der Strukturbeurteilung Bestandesgrenzen nicht überschritten werden. Das wiederum hat zur Folge, daß Form und Größe

der zu beurteilenden Fläche nicht streng vorgeschrieben werden können. Die Bestandesbeschreibung erfolgt in einem Umkreis von mindestens 10 m um die Traktecke.

Die **Probearbaumauswahl** mittels Winkelzählprobe wird beibehalten. Der Mindest-BHD für Probearbäume der Winkelzählprobe wird jedoch von 10 cm auf 7 cm reduziert. Dann kann das gesamte Derbholz mit der **Winkelzählprobe** erfaßt werden. In diesem Zusammenhang werden auch die Abmessungen der konzentrischen **Probekreise** verändert. Anstelle der Probekreise mit 4 m und 2 m Radius wird nun ein Probekreis mit 1,75 m Radius angelegt. Somit schließt die Auswahlwahrscheinlichkeit für Bäume im Probekreis nahtlos an die der Winkelzählprobe an.

Mit der Winkelzählprobe werden dann etwa 17.000 - das sind 57 % - der bisher im 4-m-Probekreis gelegenen Probearbäume im Durchmesserbereich zwischen 7 und 10 cm BHD erfaßt. Im 1,75-m-Probekreis werden rund 45 % der bisher im 2- und 4-m-Probekreis erfaßten Probearbäume unter 7 cm BHD erwartet. Insgesamt werden damit im früheren Bundesgebiet rund 70.000 Probearbäume weniger aufgenommen als bei der Auswahl entsprechend BWI I. Dank der höheren Effizienz der (PPS-) Stichprobenauswahl bei der Winkelzählprobe und der genaueren Vermessung und Voluminierung der WZP-Probearbäume im Vergleich zu den Probearbäumen aus den Probekreisen wird jedoch kein höherer Stichprobenfehler bei der Vorratsermittlung erwartet.

Der 1-m-Probekreis wird beibehalten. Um möglicherweise bei der Erstaufnahme verursachte Trittschäden an den Traktecken aus der Stichprobe zu halten, wird er jedoch um 5 m verlagert.

Zur **Rationalisierung der Aufnahmen** soll auf die Messung der Baumhöhen und oberen Durchmesser bei der Wiederholungsaufnahme im früheren Bundesgebiet weitgehend verzichtet werden. Dazu sind Modelle zu entwickeln, die das Wachstum dieser Größe in Abhängigkeit vom BHD-Wachstum schätzen. Diese Möglichkeit besteht jedoch nur, wenn das Inventurintervall 10 Jahre nicht wesentlich übersteigt.

Zur Erstellung der **Höhenzuwachs-gleichungen** wird die Messung der Höhen- und Durchmesserzuwächse seit 1987 an liegenden Bäumen, die im regulären Holzeinschlag gefällt worden sind, vorgeschlagen. Diese Probearbäume müssen repräsentativ im gesamten Inventurgebiet verteilt sein. Die Aufnahmen können unabhängig von den Trakt-aufnahmen der BWI erfolgen. Die Vermessung liegender Bäume hat den Vorteil, daß sie um mindestens eine Zehnerpotenz genauer ist als die Stehendvermessung und somit einen kleineren Stichprobenumfang erfordert.

Für die wichtigsten Baumarten sind jeweils etwa 1.000 Bäume zu vermessen. Dabei werden folgende Meßwerte erfaßt: Alter, Brusthöhendurchmesser, oberer Durchmesser (in 7 m Höhe), Baumhöhe, Triebblängen seit 1987. Kosten etwa 450.000 DM. Dafür werden bei der Traktaufnahme etwa 15 bis 25 % des Zeitaufwandes eingespart.

Es ist noch zu prüfen, ob der Durchmesserzuwachs seit 1987 durch kurze Bohrspäne in 1,3 m (und 7 m) Höhe ermittelt werden soll.

Der **obere Durchmesser** (in 7 m Höhe, D₇) wird neben dem Brusthöhendurchmesser und der Baumhöhe zur Beschreibung der baumindividuellen Schaftform und schließlich für die Berechnung des Schaftvolumens und der Sortenaufteilung verwendet. Bei einer Voruntersuchung (FVA Baden-Württemberg) wurde festgestellt, daß sich die individuelle Schaftform der Probearbäume innerhalb einer Inventurperiode (10 Jahre) nur unwesentlich ändert. Das eröffnet die Möglichkeit, die aktuellen D₇ aus den Meßwerten der Erstaufnahme sowie den neuen Brusthöhendurchmessern und Baumhöhen herzuleiten ohne daß gravierende Genauigkeitseinbußen bei der Voluminierung befürchtet werden müssen. Für die Verifizierung der Modelle könnten die Daten der o. g. Liegendvermessung verwendet werden.

Die sich bei der Bundeswaldinventur 1986-1990 als nicht genügend aussagefähig erwiesene Bestandesbeschreibung (Bestandestypen, Bestandesaufbau, Bestandesschluß) wird durch eine detaillierte Beschreibung der vertikalen und horizontalen **Bestandesstrukturen** ersetzt, bei der auch Elemente der Strauchschicht und der Bodenvegetation erfaßt werden.

Die Bestandesstruktur wird durch die Erfassung des Deckungsgrades und der Artenzusammensetzung der Vegetationsschichten beschrieben. Dabei wird

der belaubte, bzw. voll ausgetriebene Zustand unterstellt:

Baumschicht mit

- Überhalt, Hauptbestand, Unterstand, Verjüngung unter Schirm
 - oder alternativ: Mit ausgeprägter vertikaler Strukturierung ohne deutlich abgesetzte Schichten (Plenterwald/plenterartig)
- Strauchschicht,
Bodenvegetation.

Für die langfristige Waldentwicklung ist der Baumbestand mit seinem Einfluß auf die Lichtverhältnisse, die Bodenchemie und das Kleinklima die entscheidende Vegetationsschicht. In der Ausprägung der darunter liegenden Schichten hingegen manifestieren sich vor allem kurzfristige Einflüsse, so daß sie besonders zur Beurteilung der aktuellen ökologischen Situation geeignet sind.

Um den Aufwand in einem angemessenen Rahmen zu halten, wird die Artenzusammensetzung in den verschiedenen Vegetationsschichten mit unterschiedlicher Intensität analysiert. Die Artenaufnahme in der Baumschicht muß umfassend sein, denn auch in geringer Häufigkeit beigemischte Baumarten können eine große ökologische Bedeutung haben oder erlangen. Für jede Bestandesschicht werden die Baumartenanteile und der Gesamtdeckungsgrad in Zehntel angegeben, wobei auch Baumarten mit Anteilen unter 1/10 aufzuführen sind.

Die Strauchschicht wird durch die Angabe des Gesamtdeckungsgrades und der dominierenden Arten beschrieben.

Die Aufnahme der Bodenvegetation erfolgt nach ökologischen Artengruppen; das sind Gruppen von Pflanzen mit ähnlichen Standortansprüchen. Da jede ökologische Artengruppe auch Arten mit unterschiedlichen jahreszeitlichen Entwicklungsgängen enthält, ist die Aufnahme während der gesamten Vegetationszeit und auch darüber hinaus möglich und auch aussagefähig. Der Gesamtdeckungsgrad der Bodenvegetation wird geschätzt.

Die Kenntnis der Bestandesstruktur läßt vielfältige Rückschlüsse auf den Zustand und die landschaftsökologischen Wirkungen der Wälder zu. Die detaillierte Beschreibung der Bestandesstruktur bekommt auch insbesondere im Hinblick auf spätere Folgeaufnahmen eine große Bedeutung. Je umfassender die Beschreibung ist, desto bessere Möglichkeiten bestehen künftig, die Reaktion der Waldökosysteme auf Umweltveränderungen festzustellen.

Angesichts des gestiegenen Informationsbedürfnisses soll die Folgeinventur neben Informationen über Waldflächen und Holzvorrat auch **Aussagen zu weiteren Merkmalen** liefern, die durch Ansprüche der Gesellschaft an den Wald oder durch anthropogene Einwirkungen auf die Waldökosysteme betroffen sind. Die wichtigsten Ansätze dafür sind:

- Erfassung von Länge, Beschaffenheit und Zustand der Waldränder,
- quantitative und qualitative Erfassung des Totholzes im Wald,
- eine erweiterte qualitative Beurteilung der Probestämme,

- Nachweis schützenswerter Waldgesellschaften,
- Beurteilung der natürlichen Waldgesellschaft.

Die **Waldränder** spielen eine wichtige Rolle für die Sicherung der Waldbestände und den Schutz angrenzender landwirtschaftlich genutzter Flächen sowie für den Naturschutz und den Erlebniswert der Landschaft. Mit der Inventur soll die Länge der Waldränder nach Beschaffenheit und Zustand beschrieben werden. Dazu werden alle Waldränder im Umkreis von 25 m um Traktecken im Wald beschrieben. Dabei sind folgende Merkmale zu erfassen:

Art des Waldrandes

Waldaußenrand, Waldinnenrand, Bestandesgrenze zwischen unmittelbar aneinandergrenzenden Beständen mit sehr unterschiedlicher Bestandeshöhe.

Vor- bzw. zwischengelagertes Terrain

Nichtholzboden, Siedlungsflächen, Wege und Straßen, landwirtschaftlich genutzte Fläche, Waldsukzession, sonstige extensiv oder nicht genutzte Landflächen, Feuchtgebiet, Gewässer.

Waldrandbegrenzung

Barriere direkt am Waldrand, durch die die Passierbarkeit des Waldrandes für Menschen und Tiere sowie die Ausbreitungsmöglichkeiten des Waldes beeinträchtigt werden.

Ausrichtung

Azimet der aus dem Wald auf das Freiland gerichteten Senkrechten zum Waldrandverlauf.

Waldrandaufbau

Der Waldrandaufbau beschreibt die Struktur und Tiefe des Übergangsbereiches zwischen Wald und Freiland. Im Idealfall sind im Waldrandbereich folgende Zonen ausgebildet: Krautsaum, Strauchgürtel, Waldmantel. Der Waldrandaufbau wird mit der durchschnittlichen Breite der Zonen beschrieben.

Waldranddichte

Es soll beurteilt werden, wie wirksam atmosphärische Einflüsse aus dem Freiland zurückgehalten werden können. Die Beurteilung erfolgt für den Stamm- und Kronenraum. Dabei wird der belaubte Zustand unterstellt.

Das in den Wäldern vorhandene **Totholz** ist ein vielfältiger Lebensraum, auf den zahlreiche spezialisierte Pflanzen- und Tierarten angewiesen sind. In bewirtschafteten Wäldern sind die Totholzvorräte deutlich geringer als in weitgehend ungenutzten Naturwäldern. In noch vorhandenen Urwaldresten in Mittel- und Südosteuropa wurden Totholzmengen von 50 bis 200 fm/ha ermittelt. In bewirtschafteten Wäldern hingegen betragen die Totholzvorräte im Durchschnitt etwa 1 bis 5 fm/ha. Der Totholzanteil ist somit auch ein Weiser für die Intensität der Forstwirtschaft, denn dickeres Totholz findet sich im Wirtschaftswald nur, wenn auf die Nutzung dieses Holzes verzichtet wird. Dieser Verzicht kann wirtschaftlich oder auch ökologisch motiviert sein.

Das Totholzvorkommen wird im 10-m-Probekreis erfaßt. Liegende Totholzstücke werden vollständig der Stichprobe zugeordnet, wenn sich das dicke Ende im Probekreis befindet. Holz, das

vermutlich nicht bis zur vollständigen Zersetzung im Bestand verbleibt, darf nicht als Totholz erfaßt werden. Darum werden frisch geschlagenes oder offensichtlich für den Abtransport bereitgestelltes Holz, bearbeitetes Holz (Hochstämme, Bänke, Zaunpfähle) sowie ausschlagfähige Stöcke im Niederwald nicht aufgenommen. Ebenfalls nicht als Totholz zählen frisch abgestorbene Bäume, an denen das Feinreisig noch vollständig erhalten ist. Offenbar vergessene Abfuhrreste hingegen werden als Totholz aufgenommen. Totholz an lebenden Bäumen wird nicht bei der Totholzaufnahme, sondern bei der Beurteilung der mit der Winkelzählprobe ausgewählten Probestämme nachgewiesen.

Die besondere Bedeutung des dicken Totholzes wird berücksichtigt, indem eine nach der Dimension gestaffelte Erfassungintensität vorgesehen wird. Zur quantitativen und qualitativen Beschreibung des dickeren Totholzes sind von allen Stücken mit einem Durchmesser ab 20 cm am dickeren Ende folgende Merkmale zu erfassen:

Baumartengruppe,	Mitteldurchmesser, Länge
Zersetzungsgrad	von frisch abgestorben ... bis stark vermodert stehend, liegend,
Art	Wurzelstöcke (ab 50 cm Höhe oder 60 cm Schnittflächendurchmesser)

Zum Nachweis des Totholzes unter 20 cm Durchmesser wird die Flächenbedeckung in Zehnteln geschätzt.

Folgende Einzelbaummerkmale sollen zusätzlich erfaßt werden:

- Soziale Stellung (Stammklassen nach KRAFT)
- Eine differenziertere Ansprache von Stammschäden
- Entnahmepriorität („Probeauszeichen“)

Das ist ein wichtiges Kriterium für die Bestimmung des Pflegezustandes und des potentiellen Holzaufkommens.

Schützenswerte Waldgesellschaften sind Waldflächen, die auf Grund ihrer Naturlausstattung Lebensraum für viele verschiedene oder für seltene Pflanzen und Tiere sein können. Unabhängig von einer förmlichen Schutzklärung durch das Bundes- bzw. die Landesnaturschutzgesetzte werden folgende Waldgesellschaften aufgeführt: Bruch- und Sumpfwälder, Auenwälder, Schluchtwälder, Felsschutt- und Blockwälder, Wälder trockenwarmer Standorte, Restbestockungen von natürlichen Waldgesellschaften, höhlenreiche Altholzinseln. Daraus kann ein Überblick über die Gesamtfläche und grundlegende Bestockungsinformationen über die schützenswerten Waldgesellschaften erhalten werden. Außerdem begründen sie Nutzungseinschränkungen, die bei einer Holzaufkommensprognose zu berücksichtigen wären.

Die Bestimmung der **natürlichen Waldgesellschaft** wäre ein Ansatz, um aus dem Vergleich mit der aktuellen Bestandesbeschreibung Aussagen über die Naturnähe, Stabilität und Entwicklungstendenz der Waldökosysteme abzuleiten. Es besteht jedoch noch Forschungsbedarf zur Entwicklung anwendungsreifer Verfahren für die Herleitung der natürlichen Waldgesellschaft im Rahmen der Bundeswaldinventur.

Ein zusätzlicher Informationsgewinn soll durch **Verknüpfung mit anderen Inventuren** (z. B. Bodenzustandserfassung), Datenspeichern (z. B. Waldfunktionenkartierung) und Modellen (z. B. Klimamodelle) erreicht werden.

Zeitaufwand und Kosten

Als Grundlage für die Kostenkalkulation wurden von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg im Auftrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Zeitstudien für die Wiederaufnahme von 61 Trakten mit insgesamt 191 im Wald gelegenen Traktecken durchgeführt. Die Aufnahmen erfolgten im wesentlichen entsprechend der „Konzeption für eine Folgeinventur zur Bundeswaldinventur (BWI II)“.

Entsprechend den Ergebnissen wurde für das frühere Bundesgebiet ein Zeitaufwand von 73 Minuten je Traktecke angesetzt. Darin sind auch die Zeiten für die erfolglose und schließlich abgebrochene Suche nach nicht mehr

auffindbaren Eckmarkierungen enthalten. Für das Land Baden-Württemberg reduziert sich der Zeitaufwand wegen der besonderen Markierung der Traktecken auf 66 Minuten.

Für die neuen Bundesländer wird ein Zeitbedarf von 93 Minuten je Traktecke veranschlagt. Er übersteigt damit den Zeitbedarf in den alten Ländern um 20 Minuten/Traktecke.

Dabei wird unterstellt, daß der Zeitaufwand für das erstmalige Einmessen und Markieren der Traktecken dem Zeitaufwand für das Einmessen und Wiederfinden verdeckt markierter Traktecken bei der Wiederholungsinventur entspricht.

Der Mehraufwand wird durch die Wegeinventur und die Messung der Baumhöhen und oberen Durchmesser verursacht.

Für die Kalkulation der Personalkosten werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Außenaufnahmen werden von einem Aufnahmetrupp mit zwei Personen durchgeführt.
- Das Aufnahmepersonal wird nach BAT (bzw. BAT/O) IIa (31 Jahre, verheiratet) bezahlt.
- Die Arbeitgeberanteile zur Sozialversicherung sind berücksichtigt.
- Unter Berücksichtigung witterungsbedingter Ausfallzeiten wird eine jährliche Einsatzzeit von 200 Arbeitstagen angesetzt.
- Ausgehend vom Stand Oktober 1995

Land	Kosten der Außenaufnahmen (Grundnetz)		
	1.000 DM	DM/Trakt	DM/ha
Baden-Württemberg	696	611	0,51
Bayern	1.429	632	0,57
Berlin	9	760	0,58
Hamburg	1	409	0,36
Hessen	491	710	0,56
Niedersachsen	611	588	0,57
Nordrhein-Westfalen	504	560	0,58
Rheinland-Pfalz	446	675	0,55
Schleswig-Holstein	97	463	0,62
Saarland	50	664	0,55
Brandenburg	677	789	0,68
Mecklenburg-Vorpommern	326	737	0,61
Sachsen	310	718	0,62
Sachsen-Anhalt	322	755	0,76
Thüringen	287	645	0,55
gesamt	6.256	652	0,58

Abb. 2

wird bis zum Bezugsjahr der Kalkulation (1998) eine jährliche Steigerung der Personalkosten um 3,0 % im früheren Bundesgebiet und um 3,5 % in den neuen Bundesländern veranschlagt.

Außerdem werden folgende Kostenbestandteile kalkuliert:

Reisekosten: Für Tagelohn und Übernachtungskosten werden je Person und Arbeitstag 110 DM angesetzt.

Fahrtkosten: Es werden 15 DM je Trakt vorgesehen. Das ist die Aufwandsentschädigung gemäß Bundesreisekostengesetz für eine Fahrstrecke von etwa 35 km (zwei Personen, über 50 kg Gepäck).

Materialkosten: In den neuen Bundesländern werden für die verdeckte Markierung der Traktecken mit Metallrohren 5 DM je Traktecke vorgesehen. Im früheren Bundesgebiet ist die verdeckte Markierung der Traktecken i.d.R. vorhanden. Die Kosten für den Ersatz

eventuell verlorener Metallstäbe werden vernachlässigt.

Ausrüstung: Für die komplette Ausrüstung eines Aufnahmetrupps (ohne Fahrzeug) werden 17.000 DM veranschlagt. Es wird eine durchschnittliche Abschreibungsdauer von 2,5 Jahre angesetzt.

Als Gesamtkosten für die Außenaufnahmen im Grundnetz (4 x 4 km) werden für das Bundesgebiet rund **6,3 Mio. DM** ermittelt (Abb.2). Bei einer Verdichtung des Stichprobennetzes erhöhen sich die Kosten entsprechend.

Die kalkulierten Aufnahmekosten für einen Trakt liegen bei der Wiederholungsinventur im früheren Bundesgebiet zwischen 463 DM in Schleswig-Holstein und 710 DM in Hessen. Für die Erstinventur in den neuen Bundesländern wurden zwischen 645 DM in Thüringen und 755 DM in Sachsen-Anhalt ermittelt. Im Durchschnitt betragen die kalkulierten Aufnahmekosten für einen Trakt **652 DM**.

Die kalkulierten Aufnahmekosten je Hektar Waldfläche (Grundnetz) liegen zwischen 0,51 DM in Baden-Württemberg und 0,76 DM in Sachsen-Anhalt und im Bundesdurchschnitt bei **0,58 DM**.

Etwa 20 % geringere Kosten errechnen sich, wenn die zweite Person im Aufnahmetrupp nicht mit BAT IIa, sondern mit BAT IVb kalkuliert wird und wenn auf die Ausstattung mit dem relativ teuren mobilen Datenerfassungsgerät verzichtet wird. Das geht jedoch zu Lasten der Datenqualität und erfordert zusätzliche Kosten bei der Datenaufbereitung und wird deshalb nicht empfohlen.

Neben den hier kalkulierten Kosten für die Außenaufnahmen entstehen den Ländern für die Bundeswaldinventur II noch Kosten für folgende weitere Aufgaben:

- Schulung
- Traktvorklärung, Vorbereitung der Aufnahmen
- begleitende Untersuchungen (Höhen- und D₇-Untersuchung im früheren Bundesgebiet).
- In Verantwortung und auf Kosten des Bundes sind folgende Arbeiten zu leisten:
- Wissenschaftliche Vorbereitung der Inventur und Erarbeitung der Inventurkonzeption
- Bereitstellung der Koordinatenlisten
- Bereitstellung der erforderlichen Referenzdaten aus der Erstaufnahme

○ Erarbeitung und Druck der Aufnahmeanweisung

○ Zentrale Schulung

○ Bereitstellung der Aufnahmeformulare oder der Erfassungssoftware

○ Bereitstellung der Hardware und Erarbeitung der Software für die zentrale Auswertung

○ Auswertung und Publikation.

Die kalkulierten Kosten (652 DM/Trakt) belaufen sich etwa auf 60 % des von Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen für die Bundeswaldinventur 1986-1990 angegebenen Betrages in Höhe von 1100 DM/Trakt⁷. Diese Einsparung ist aufgrund der vorgesehenen Rationalisierungen der Außenaufnahmen auch zu erwarten.

Deutlich höhere Kosten (1794 DM/Trakt) werden von ZÖHRER⁸ für die BWI II kalkuliert. Dabei wurde von den Kosten für die Traktaufnahme durch die Deutsche Forstservice GmbH bei der Bundeswaldinventur 1986-1990 ausgegangen und eine pauschale Kostenerhöhung von 20 % veranschlagt. Die Zeitersparnis durch den Wegfall der Linientaxation, der Höhen- und D₇-Messung und der Wegeinventur ist dabei noch nicht berücksichtigt. Auch erscheint der sich aus der Rückrechnung dieser Kalkulation (bei unterstelltem Zeitaufwand von 8 h je Trakt) ergebende Kostensatz von 224 DM/h für einen Aufnahmetrupp sehr hoch (zum Vergleich: 2 x BAT IIa = 129 DM/h).

Ein erheblich billigeres Inventurkonzept, mit Gesamtkosten von etwa 1,9 Mio. DM (das sind 30 % der für das Grundnetz kalkulierten Kosten), wird von DAHM⁹ vorgeschlagen und kalkuliert. Dabei handelt es sich um ein dreiphasiges Stichprobenverfahren, das auf die Schätzung der Waldfläche, des Vorrates und der Zuwachses abgestimmt ist.

Die Kostensenkungen werden im wesentlichen durch eine Vorstratifizierung in der ersten und zweiten Phase (Satellitenaufnahmen, Karten) und eine konsequente Beschränkung des terrestrischen Stichprobenumfangs auf die Erlangung einer Genauigkeit des mittleren Hektarvorrates im gesamten Bundesgebiet von ±1,0 % erreicht. Außerdem wurden die Personalkosten für die Außenaufnahmen (dritte Phase) mit 44,71 DM/h um rund 30 % niedriger angesetzt als in der jetzt vorgelegten Kalkulation. Der Kalkulationsansatz für die erste und zweite Phase kann in diesem Zusammenhang nicht überprüft werden.

Der Hauptnachteil an diesem Konzept ist jedoch, daß der Stichprobenumfang keine Reserven für Auswertungen läßt, die über die der Optimierung zugrunde liegenden Zielstellungen hinausgehen. Die Bundeswaldinventur II wäre somit wieder eine reine Holzvorratsinventur. Außerdem müßte das Stichprobennetz infolge der natürlichen Entwicklung der Vorrats- und Altersstrukturen für eine spätere Wiederholungsinventur erneut optimiert werden. Diese ständige Veränderung des Stichprobenkollektives ist jedoch sehr problematisch für eine permanente Inventur.

⁷ Ergebnisvergleich der Besprechung am 3. März 1993 zur Vorbereitung der Besprechung der Leiter der Forstverwaltungen des Bundes und der Länder am 29./30. April 1993. BML Ref. 614

⁸ Zöhrer, F. u. a.: Organisations-, Ablauf- und Kostenplanung zur Durchführung einer Bundeswaldinventur II. DFS/BWI-Bericht Nr. 11-1/BWI II, Feldkirchen, August 1993

⁹ Dahm, S.: Bundeswaldinventur - Auswertungsmodelle und Vorschläge zur Effektivitätssteigerung. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 180, Hamburg, 1995, 144 S. Policy.

Vergleich mit anderen Konzeptionen

Der Vergleich der verschiedenen Konzeptionen zeigt, daß jede ihre Vorzüge und Probleme hat. Die besonderen Stärken der Konzeption der Gutachterkommission sind (Abb. 3 und 4):

- Sie hat die **geringsten methodischen Abweichungen** gegenüber der Bundeswaldinventur 1986-1990 und bietet somit die höchste Sicherheit bei der Feststellung von Veränderungen des Waldzustandes.
- Sie knüpft am engsten an die bei der Bundeswaldinventur 1986-1990 gesammelten **Erfahrungen** an. Das bietet eine gewisse methodische und organisatorische Sicherheit.
- Sie ist durch eine Vielzahl von Gutachten und Studien **methodisch untermauert**.
- Sie enthält das **breiteste Merkmalspektrum** und ist am umfassendsten auf den aktuellen und künftigen Informationsbedarf ausgerichtet.
- Sie bildet die **beste Vergleichsgrundlage** für die Ermittlung der Entwicklung der Waldökosysteme bei späteren Wiederholungsinventuren.

Gutachterkommission	Landeswaldinventur NW	DAHM	Zum Vergleich: BWI I
Stichprobenkonzept			
Einstufige Klumpenstichprobe	Einfache Zufallsstichprobe	Dreiphasige Stichprobe zur Stratifizierung	Zweiphasige Stichprobe zur Stratifizierung
Stichprobeneinheiten			
Trakte (Klumpen aus bis zu vier Traktecken)	Probepunkt	Probepunkt	1. Phase: Linienabschnitte. 2. Phase: Traktecken
Stichprobenverteilung			
Systematisches Gitternetz der Dichte 4x4 km mit Verdichtung auf 2,83x 2,83 km oder 2x2 km in ausgewählten Gebieten	Systematisches Gitternetz der Dichte 1x1 km mit Verdichtung auf 0,5x 0,5 km in ausgewählten Gebieten	1. Phase (Satellitenbilder): 1x1 km. 2. Phase (Karten): 2,83x 2,83 km. 3. Phase (terrestrisch): etwa 50 % der 2. Phase	Systematisches Gitternetz der Dichte 4x4 km mit Verdichtung auf 2,83x 2,83 km oder 2x2 km in ausgewählten Gebieten
Auswahl der Probebäume			
Winkelzählprobe (k=4), Probekreise r=1,75 m und r=1 m	Probekreis r=12 m, r=3 m, r=2 m, r=1,5 m	Probekreise r=12,5 m, r=8 m, r=5 m, r=3 m	Winkelzählprobe (k=4), Probekreise r=4 m, r=2 m, r=1 m

Abb. 3

Gutachterkommission	Landeswaldinventur NW	DAHM
Vorzüge		
Geringste methodische Abweichungen von Bundeswaldinventur 1986-1990. Besonders auf Feststellung von Veränderungen des Waldzustandes ausgelegt.	Sehr dichtes Stichprobenetz. Besonders zur Auswertung kleinerer Flächen geeignet.	Minimaler Stichprobenumfang/ Kostenaufwand zur Erreichung der geforderten Genauigkeit der Vorratsschätzung
Methodische Probleme		
Effizienzverlust durch Intra-Clusterkorrelation. „ Einwuchs “ von Probebäumen in die Stichprobe infolge größer gewordenem Grenzkreisradius.	Etwa 75 % der permanent markierten Traktecken werden nicht wieder aufgenommen. Dafür wird ein Vielfaches an Probepunkten neu markiert. Da die meisten Probebaumaufnahmen Neuaufnahmen sind, können Wachstumsmodelle zur Bestimmung der Baumhöhen und oberen Durchmesser nicht angewendet werden.	Etwa 85 % der permanent markierten Traktecken werden nicht wieder aufgenommen. Keine Reserven für Auswertungen , die über die Ermittlung der Waldflächen und Holzvorräte hinausgehen. Bei erneuter Anwendung des Verfahrens bei späterer Folgeinventur werden wieder andere Stichprobeneinheiten ausgewählt.

Abb. 4

Zusammenfassung

Weil es gegenwärtig keine ausreichende Datenbasis über die Wälder im Bundesgebiet gibt, die für eine länderübergreifende Einschätzung des forstlichen Leistungsvermögens und des forstpolitischen Steuerungsbedarfes auf Bundesebene geeignet ist, wird eine neue Bundeswaldinventur konzipiert.

Bei der Konzipierung des Inventurverfahrens müssen folgenden Anforderungen berücksichtigt werden: Das Stichprobendesign der Folgeinventur muß auf der Basis der Erstinventur aufbauen und deshalb weitgehend deren Methoden und Merkmalsdefinitionen verwenden. Eine Besonderheit ergibt sich aus der Zweiteilung in eine Wiederholungsinventur im früheren Bundesgebiet und eine Erstinventur in den neuen Bundesländern. Das Stichprobendesign muß flexibel für weitere Folgeinventuren sein. Die Genauigkeit der Ergebnisse muß den Ansprüchen der Länder angepaßt werden können. Das statistische Konzept sollte für die Anwender durchschaubar und nachvollziehbar sein.

Entsprechend dieser Anforderungen soll das Inventurdesign der Bundeswaldinventur 1986-1990 im Wesentlichen beibehalten werden. Die wichtigsten Merkmale des Konzeptes sind:

Die Verteilung der Stichproben in einem systematischen Gitternetz der Dichte 4 x 4 km mit der Option einer Verdichtung auf die doppelte oder vierfache Netzdichte sowie die Anordnung der Probepunkte an den vier Ecken quadratischer Trakte der Seitenlänge 150 m wird beibehalten. Neu ist jedoch, daß die Bestandesbeschreibungen nicht mehr entlang der Traktlinie, sondern auf Beurteilungsflächen an den Traktecken durchgeführt werden. Damit werden die Auswertungsprobleme für Linienabschnitte ohne inliegende Traktecken vermieden.

Der Mindest-BHD für Probebäume der Winkelzählprobe wird von 10 cm auf 7 cm reduziert. Dann kann das gesamte Derbholz mit der Winkelzählprobe erfaßt werden. In diesem Zusammenhang werden auch die Abmessungen der konzentrischen Probekreise verändert. Anstelle der Probekreise mit 4 m und 2 m Radius wird nun ein Probekreis mit 1,75 m Radius angelegt. Somit schließt die Auswahlwahrscheinlichkeit für Bäume im Probekreis nahtlos an die der Winkelzählprobe an.

Zur Rationalisierung der Aufnahmen soll auf die Messung der Baumhöhen und oberen Durchmesser bei der Wiederholungsaufnahme im früheren Bundesgebiet weitgehend verzichtet werden. Dazu sind Modelle zu entwickeln,

die das Wachstum dieser Größe in Abhängigkeit vom BHD-Wachstum schätzen.

Die sich als nicht genügend aussagefähig erwiesene Erfassung von Bestandstypen wird durch eine detaillierte Beschreibung der vertikalen und horizontalen Bestandesstrukturen ersetzt, bei der auch Elemente der Strauchschicht und der Bodenvegetation erfaßt werden.

Angesichts des gestiegenen Informationsbedürfnisses soll die Folgeinventur neben Informationen über Waldflächen und Holzvorrat auch Aussagen zu weiteren Merkmalen liefern, die durch Ansprüche der Gesellschaft an den Wald oder durch anthropogene Einwirkungen auf die Waldökosysteme betroffen sind. Die wichtigsten Ansätze dafür sind: eine erweiterte Ansprache von Schadsymptomen an den Probebäumen, Erfassung von Länge, Beschaffenheit und Zustand der Waldränder, quantitative und qualitative Erfassung des Totholzes im Wald, Beurteilung der natürlichen Waldgesellschaft.

Ein zusätzlicher Informationsgewinn soll durch Verknüpfung mit anderen Inventuren, Datenspeichern und Modellen erreicht werden.

Zusammenfassung der Bundes- und Länderaspekte^(*)

Peter Splett (**)

Zusammenfassung der Bundes- und Länderaspekte

Am Anfang aller unserer Überlegungen steht die Frage nach dem Informationsbedarf. Brauchen wir Daten? Und welche?

Niemand käme auf den Gedanken, die Forstwirtschaft sei ein isolierter Wirtschaftszweig, in dem eine Vielzahl unterschiedlich strukturierter und motivierter Betriebe in stiller Abgeschlossenheit selbstzufrieden und genügsam vor sich hinwirtschaftet. Eine Binsenwahrheit ist auch die Verflechtung verschiedenster Faktoren (wie z.B. Standortgegebenheiten, interne und externe Interessen und Ansprüche, natürliche und anthropogene Einflüsse) zu einem dichten Netz wechselseitiger Zusammenhänge und Abhängigkeiten.

Laissez Faire oder aktive Einflußnahme - diese Entscheidung ist in der Regel einfach: Einflußnahme!

Wer will Einfluß nehmen? Der einzelne Betrieb, externe Interessenvertreter, der Staat? Auch hier bestehen keine Zweifel, jeder hat Karten im Spiel und betreibt auf seine Weise Forstpolitik - i. d. R. Forstpolitik zugunsten des Waldes. Forstpolitik auf den verschiedensten Ebenen zu betreiben bedeutet, Entscheidungen zu treffen. Wichtige oder besser: Unentbehrliche Entscheidungshilfen aber sind gesicherte Daten. Bundes- und Landesinteressen laufen hier parallel.

Welche Daten? Damit sich die Forstpolitik im Umfeld anderer Politikberei-

che behaupten kann, bedarf sie zumindest gesicherter Angaben über Stand und über Veränderungen von Waldfläche, Baumartenanteilen, Vorräten. Zentrale Größen sind ferner Zuwachs und Holznutzung.

All dies natürlich nicht sektoral, sondern über alle Besitzarten hinweg - ein ganz bedeutsamer Aspekt in diesem Zusammenhang.

Ebenso wichtig sind Kenntnisse über die Infrastrukturleistungen der Wälder. Seit Jahren z.B. unternimmt die Forstwirtschaft erhebliche Anstrengungen, ökologische und infrastrukturelle Funktionen der Wälder zu sichern und zu mehren. Wie anders lassen sich aber betriebsübergreifende Informationen z.B. über den Erfolg beim Waldbau nach der Neuorientierung waldbaulicher Zielvorstellungen gewinnen (das gilt vor allem im öffentlichen Wald) als eben mit Hilfe einer Großrauminventur?

Flächendeckende, für ganz Deutschland einheitliche und vergleichbare Erhebungen ökologischer und infrastruktureller Funktionen der Wälder gibt es nicht. Die geänderten gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen verlangen jedoch Daten zu oder über diesen Funktionen. Die Forstwirtschaft sollte sich des großen allgemeinen Interesses an diesen Informationen bewußt sein und sich keine Kompetenzen aus der Hand nehmen lassen.

D.h. sie sollte die Informationsgewinnung selbst vornehmen.

Großrauminventuren sind die einzige, hinreichend zuverlässige und mit

einiger Sicherheit auch preiswerteste Möglichkeit, derartige repräsentative Daten flächendeckend zu erheben und fachkundig auszuwerten.

Das aktuelle Beispiel Nordrhein-Westfalen zeigt, von welcher Bedeutung die Erkenntnisse aus einer großräumigen Inventur für ein Land sind, nicht nur als Grundlage für die gesamte Arbeits- und Finanzplanung einer Landesforstverwaltung, sondern darüber hinaus noch für viele andere Bereiche der Landespolitik, z.B. der Wirtschaftspolitik, Verkehrspolitik, Umweltpolitik, Strukturpolitik.

Bei solchen länderinternen Überlegungen werden über den engeren regionalen Bezug hinaus auch die wachsenden internationalen Verpflichtungen und der internationale Handel eine zunehmende Rolle spielen.

Damit sind wir auf einem weiteren Feld, wo sich Bundes- und Länderinteressen begegnen und ergänzen, - und gesicherter Daten bedürfen.

Eine umfassende Forstpolitik im internationalen Rahmen und eine angemessene Vertretung forstlicher Belange in der nun um forstpolitisch aktive Länder erweiterten EU sind ohne eine valide, aktuelle Datengrundlage nicht durchführbar.

Deutschland genießt weltweit immer noch den Ruf als ein in Forstwirtschaft und Forstpolitik traditionell fortschrittliches Land. In die laufende, von der FAO initiierte Weltwalderhebung „Forest Assessment 2000“ aber - nur um ein

Beispiel zu nennen - müssen wir im Grunde überholte Zahlen aus der BWI I (für die alten Bundesländer) und aus dem Datenspeicher Wald hochgerechnete Zahlen (für die neuen Bundesländer) einbringen - vermutlich zum Erstaunen unserer Partner.

Oder die Frage der Nachhaltigkeit in der internationalen Diskussion (Stichwort Helsinki-Prozeß). Die bloße Behauptung, Deutschland betreibe schon immer nachhaltige Forstwirtschaft, hilft hier nicht recht weiter. Studien von dritter Seite z.B. bescheinigen Deutschland hier einen bescheidenen Mittelplatz - zu Unrecht wie wir meinen. Ohne stichhaltige Zahlen ist es schwierig, sich zu wehren.

Im internationalen Natur- und Klimaschutz kann Deutschland nur etwas erreichen, wenn sich seine angebliche Vorreiterrolle in diesem Bereich zahlenmäßig belegen läßt. Im übrigen bestehen hier nationale Berichtspflichten, denen sich Deutschland nicht entziehen kann.

Kein Zweifel also: eine aktive Politik für forstliche Belange braucht aktuelle forstliche Daten. Allerdings sind diese nicht umsonst zu haben.

Grundsätzlich erfordert die allgegenwärtige Ressourcenknappheit den effizienten Einsatz von Geld und Arbeitskapazitäten an allen Fronten.

Daher ist sorgfältig abzuwägen, welche Daten bereits vorliegen und welche neu erhoben werden müssen. Fachliche Prüfungen kommen zu den Ergebnis-

daß Deutschland bestenfalls für Teilbereiche über solche Daten verfügt. Und oft lassen sich vorliegende Daten auf Bundesebene nicht zu einer sicheren, einheitlichen Planungsbasis zusammenführen.

Ausgehend von den offenkundig weitgehend gemeinsamen forstpolitischen Absichten von Bund und Ländern (und ist der Bund nicht in der Regel Sachwalter auch von Länderinteressen?) und der Notwendigkeit, sich bei deren Vertretung auf eine belastbare Datenbasis zu stützen, ist der Wunsch des Bundes nach einer methodisch einheitlichen Großrauminventur, wie sie eben die BWI darstellt, plausibel. Läßt sich schon aus einer Vielzahl von Betriebsinventuren kein genügend zuverlässiges, für alle Besitzarten repräsentatives Landesergebnis errechnen, so ist auch aus einer Mehrzahl an unterschiedlichen Landesinventuren kein befriedigendes, ausreichend belastbares Bundesergebnis erzielbar.

Ein Überblick über die in Europa praktizierten Inventuren zeigt, daß die Schweiz und Österreich als Bundesstaaten oder Frankreich und andere in regionalen Etappen vorgehende Länder nicht auf die Vorteile einer einheitlichen Inventur verzichten.

Nutznieser einer bundesweiten Großrauminventur sind Bund und Länder gleichermaßen; beide erhalten aktuelle Daten. Zwar sind den Ländern dabei die Kosten der Außenaufnahmen nicht abnehmbar, doch ergeben sich aus der

Mitarbeit des Bundes für die Länder nicht unerhebliche Vorteile:

So übernimmt der Bund im Falle einer neuen Bundeswaldinventur

- die wissenschaftliche Vorbereitung der Inventur und die Erarbeitung der Konzeption,
- die Berechnung der Stichprobenkoordinatenlisten,
- die Bereitstellung der erforderlichen Referenzdaten aus der Erstaufnahme,
- die Erarbeitung und den Druck der Aufnahmeanweisung,
- die zentrale Schulung,
- die Bereitstellung der Aufnahmeformulare oder der Erfassungssoftware,
- die zentrale Plausibilitätsprüfung der Daten,
- die Bereitstellung der Hardware und Erarbeitung der Software für die zentrale Auswertung,
- die Auswertung und Publikation.

Den Ländern stehen dann alle Daten zur Verfügung, so daß sie völlig frei sind, diese weiter und unter speziellen, an ihren eigenen Bedürfnissen ausgerichteten Gesichtspunkten auszuwerten.

Ein bundeseinheitliches Vorgehen erfordert jedoch ein ausreichend flexibles Verfahren. Das Konzept einer bundesweiten Großrauminventur muß z.B. ermöglichen, daß

- die Länder in ihrem Bereich das

(*) Diese Arbeit wurde anlässlich des Symposiums zum Testlauf der Landeswaldinventur NRW/Satelliteninventur (5./6. März 1996) in Horn-Bad Meinberg (Deutschland) vorgetragen.

(**) Leiter des Referates „Neuartige Waldschäden“ im Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn

Erhebungsnetz entsprechend ihre speziellen Anforderung verdichten können,

- sie eventuelle zusätzliche Merkmale aufnehmen können,
- problemlos eine Wiederholung durchführbar ist
- die Erhebung mit möglichst geringem Finanzaufwand ausgeführt werden kann.

Der Bund hat alle diese fachlichen Überlegungen in seine Konzeption für eine neue Bundeswaldinventur (BWI II) eingebracht. Die Länder hatten bereits Gelegenheit, sich mit dieser Konzeption vertraut zu machen.

Die Besonderheit dieses als Wiederholungsinventur angelegten Verfahrens hat Dr. Polley bereits dargelegt.

Was nun hat der Bund schon vorgeleistet? Abgesehen von der Erarbeitung der Konzeption eine Reihe von Gutachten zu Kernpunkten einer Wiederholungsinventur:

- Gutachten zur Modernisierung der Erhebung: Welche neuen Parameter (insbesondere zu Infrastrukturleistungen des Waldes und zu Pflügerückständen) können aufgenommen werden?
- Gutachten zur Rationalisierung der Erhebung: Welche Möglichkeiten zur Kostensenkung einer Inventur können genutzt werden? (Sondererhebung Höhe, Modellierung des oberen Durchmessers)
- Gutachten zur raschen Auswertung: Wie kann die Auswertung so vorbe-

reitet werden, daß die Ergebnisse den Nutzern schnell zur Verfügung stehen?

Was steht noch an? Es ist ein Konsens über das Wann und Wie einer BWI II zu erzielen. Bund und Länder stehen hier in engem Kontakt, um das weitere Vorgehen zu erörtern.

Die nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes und eine Forstpolitik, die diese nachhaltige Bewirtschaftung fördert, verlangen Kenntnisse über Zustand, Struktur und Leistungsfähigkeit sowie über das Gefährdungspotential der Wälder auf betrieblicher, regionaler und nationaler Ebene. Eine Waldinventur liefert diese für Landes- und Bundespolitik wichtigen Zahlen.

Testinventur der Wälder des Landes Nordrhein-Westfalen auf Basis von Satellitendaten

-Ergebnisse-

Vorwort

Die Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen (LÖBF/LAFAO) beauftragte Jaakko Pöyry Consulting Oy am 31. August 1995, eine Testinventur der Wälder des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) auf Basis von Satellitendaten auszuführen. Die Aufgabe sollte zusammen mit der Finnischen Forstlichen Forschungsanstalt (METLA) durchgeführt werden.

Als generelle Zielsetzung des Projektes gilt, die Eignung und Wirtschaftlichkeit des finnischen, von der METLA entwickelten Multiquellen-Waldinventurverfahrens für die Verhältnisse NRWs zu prüfen. Als Ergebnis werden auch Inventurdaten für alle (körperschaftseigenen und privaten) Wälder des Landes produziert. In der zweiten Phase des Projektes erfolgt ein Technologietransfer für das in diesem Test angewendete Inventursystem.

Das Projekt wurde in enger Zusammenarbeit zwischen LÖBF/LAFAO, METLA und Jaakko Pöyry Consulting durchgeführt. Wir möchten dafür allen Beteiligten unseren aufrichtigen Dank aussprechen.

Wir hoffen, daß dieses Projekt eine wertvolle Grundlage zur weiteren Entwicklung des Umweltinformationssystems des Landes NRW bieten wird.

Rainer Hügblom¹⁾,
Matti Kärkkäinen²⁾,

Petteri Pihlajamäki³⁾,
Prof. Erkki Tomppo⁴⁾,

1. EINLEITUNG

Ziel dieses Projektes ist es, die Eignung und Wirtschaftlichkeit des finnischen, national erprobten Multiquellen-Waldinventurverfahrens für die Ermittlung von Inventurdaten über kleinere Waldflächen in Nordrhein-Westfalen zu prüfen. In diesem Zusammenhang wurden strichprobenartige Messungen in landeseigenen Wäldern durchgeführt. Die Resultate sollten auf die Gesamtwaldfläche des Landes hochgerechnet werden, wobei das Verfahren der terrestrischen Aufnahmen mit Hilfe gesammelter Satellitendaten für alle Wälder getestet wird.

Das Verfahren wurde von der Finnischen Forstlichen Forschungsanstalt (METLA) entwickelt. Es basiert auf terrestrischen Stichproben, Satellitenbildern und digitalen Kartendaten. Mit Daten aus verschiedenen Quellen sollte es möglich sein, Ergebnisse für kleinere Flächen besser als mit bloßer terrestrischer Erhebung herzuleiten.

Multiquellen-Daten werden für die Schätzung von neuen flächenbezogenen Werten für Probestellen und für die Erstellung von Statistiken und digitalen thematischen Karten benutzt, im Prinzip für eine beliebige Variable der nationalen Waldinventur (NW). Beispiele von Karten sind räumliche Verteilungen von Durchschnittsalter und Durchmesser des Bestandes, Volumen nach Baumarten und Vorratsholzsortimente.

2. Methodologie

Die Testinventur im Staatswald Nordrhein-Westfalens auf Basis von Satellitendaten erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der durchzuführenden terrestrischen Testinventur des Staatswaldes, insbesondere, weil die terrestrisch erhobenen Inventurdaten gut für die Testinventur auf Satellitenbilddaten verwendbar sind. Dadurch wurden Kosten gespart und eine optimale zeitliche Anpassung der beiden Testinventuren konnte gewährleistet werden (siehe Abb. 2/1).

Gemäß dem Plan zur Landesinventur wurden folgende Vorarbeiten von der terrestrischen Inventurgruppe durchgeführt:

- Zusammentragen und Vorbereitung der Kartenunterlagen in NRW
- Einzeichnen der Staatswaldgrenzen in den Kartenunterlagen
- Digitalisierung der Karten
- Durchführung der terrestrischen Staatswaldinventur
- Speicherung und Kontrolle der terrestrischen Inventurdaten

Feldmessungen

Die Satelliteninventurmethode basierte auf systematischen Proben terrestrischer Meßflächen, die von der LÖBF/LAFAO erfaßt wurden. Hiermit wurde die Grundlage für die Verarbeitung und Interpretation der Informationen aus den Satellitenbildern erarbeitet.

1) Geschäftsführer, Jaakko Pöyry Consulting Oy
2) Forschungsleiter, Finnische Forstliche Forschungsanstalt, Helsinki
3) Vice President, Jaakko Pöyry Consulting Oy
4) Finnische Forstliche Forschungsanstalt, Helsinki

Verarbeitung der Felddaten

Die im Gelände erhobenen Daten wurden zwecks leichter Berechnung der Grundergebnisse und Kombination zu den mittels der Satellitenbilder gewonnenen Informationen verarbeitet. Hierzu gehörte eine Berechnung der Inventurdaten nach Stichproben (wie Volumen nach Baumartensortimenten/ Stammholzarten), die zur Verarbeitung der endgültigen Ergebnisse notwendig war.

Satellitenbilder

Dem Verfahren lagen LANDSAT-Satellitenbilder zugrunde. Der gesamte Inventurbereich wurde zumindest einfach mit Aufnahmen überdeckt. Um Möglichkeiten einer Unterscheidung der Baumarten (insbesondere der Laubbäume) zu testen, wurde auch eine doppelte Überdeckung von Bildern angewendet.

Verarbeitung von Satellitenbildern

Die Satellitenbilder wurden nach dem Gauss-Krüger-Koordinatensystem auf den Grundkarten geographisch berichtigt. Für jedes volle Bild wurde eine Reihe von Kontrollpunkten ausgesucht, die sowohl auf der Karte wie auch auf dem Bild leicht zu erkennen waren.

Bildanalyse

Zur Kombination der terrestrischen Daten mit den Satellitenbildinformationen dienten komplexe Datenverarbeitungs-

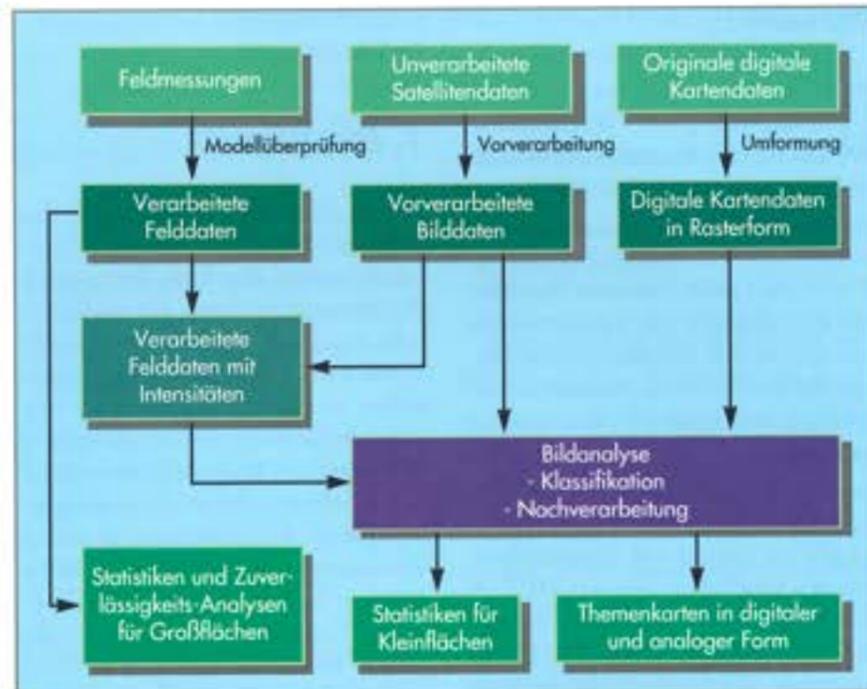


Abb. 2/1: Arbeitsphasen der Testinventur

algorithmen und Softwarelösungen. Spektrale Intensitätswerte wurden mit Hilfe geographischer Koordinaten von Stichproben und entsprechender Pixel jeder Stichprobe zugeordnet.

Die gebildeten Stichproben- und Pixelpaare erleichterten die Generalisierung der terrestrischen Daten zur Deckung der ganzen Satellitenbilder. Um Klassifizierungsfehler vermeiden zu können, war die Sicherstellung wichtig, daß die Stichproben für alle verschiedenen Waldtypen der jeweiligen Region repräsentativ sind (es gab hierbei einige Probleme, die später angesprochen werden).

Ergebnisse und Berichterstattung

Die vorgeschlagene Methodologie ermöglichte eine flexible Präsentation der Ergebnisse in verschiedenen Formen wie z.B. als Statistiken mit Tabellen, thematische Karten (in Farbe) usw. Wie vereinbart, wurden die Ergebnisse auch für fünf Forstämter und sonstige kleinere Gebiete berechnet.

Die Ergebnisse der Interpretation/Klassifikation der Bilder sowie die dazugehörigen terrestrischen Daten wurden in einer Datenbasis gespeichert, die in ARC/INFO kompatibel ist.

3. Ergebnisse

Im folgenden werden die Ergebnisse separat für das gesamte Gebiet von NRW, für die fünf gesondert untersuchten Forstämter, das Gebiet Lippe und den Kommunalverband Ruhrgebiet (KVR) dargestellt. Außerdem werden Bestandesmerkmale im Gebiet der fünf Forstämter betrachtet. Die ausgewerteten Merkmale sind:

- 1 Vorräte nach Baumartengruppen und Holzsorten (Stammholz, Industrieholz)
- 2 Baumartenverteilung
- 3 Altersklassenverteilung der obigen Gruppen sowie
- 4 Volumenverteilung in Klassen gemäß Durchschnittsvolumen des Probestichens.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt mit einer und mit doppelter Satellitenbildüberdeckung. Die Analysen ließen erkennen, daß die Verwendung eines zweiten Aufnahmezeitpunktes keinen wesentlichen Nutzen brachte, so daß die Ergebnisse auf Basis einer Bildüberdeckung als primäre Resultate betrachtet werden.

Soweit geeignet, werden als Vergleichsdaten für das Gebiet von NRW die Ergebnisse der Bundeswaldinventur (BWI) der Jahre 1986-90 verwendet. Für den Vergleich wurde die Baumartengruppierung der BWI wie folgt geändert: 1) unter „Buche“ sind Buche und Laubbäume mit langen Umtriebszeiten enthalten, 2) „sonstiges Laubholz“ umfaßt

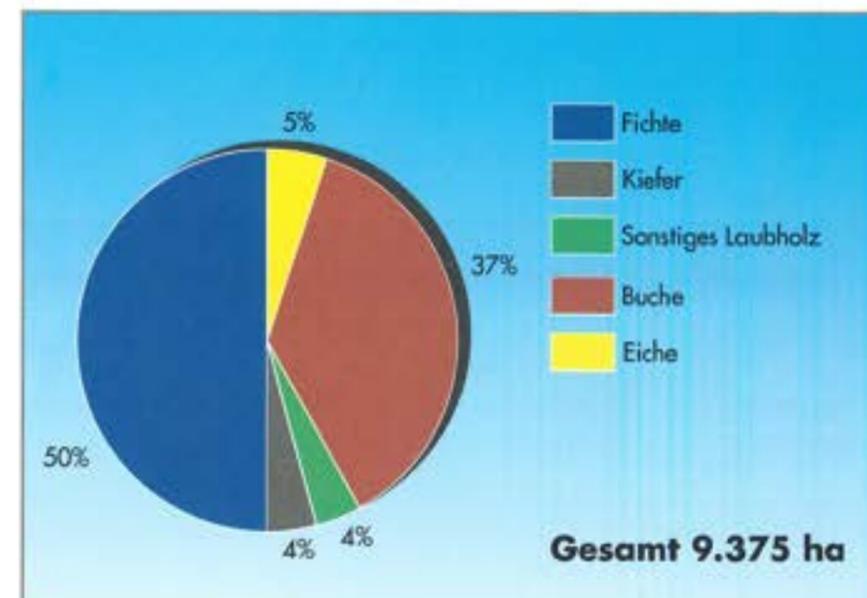


Abb. 3/1: Forstämter, Waldflächen nach Baumartengruppen in %

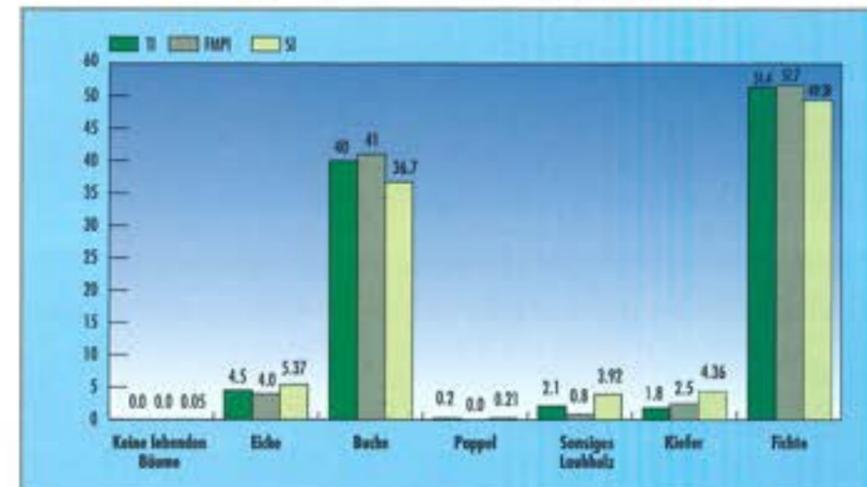


Abb. 3/2: Forstämter, Waldflächen nach Baumartengruppen in %

alle Laubbäume mit kurzen Umtriebszeiten. In der Multiquellen-Inventur setzt sich „sonstiges Laubholz“ aus den Gruppen „Pappel“ und „sonstiges Laubholz“ zusammen.

3.1 Ergebnisse der Satelliteninventur im Vergleich zur terrestrischen Inventur und forstlichen Planung

3.1.1 Ergebnisse für die fünf Forstämter

Für die Altforstämter Siegen-Nord, Siegen-Süd, Hilchenbach, Glindfeld und Schmallenberg wurden zusammen und

Waldfläche der Forstämter nach Baumartengruppen gemäß FMPI, TI und SI								
Baumarten- gruppe	FMPI		TI		SI Einzel		SI Doppel	
	Fläche(ha)	%	Fläche(ha)	%	Fläche(ha)	%	Fläche(ha)	%
Ohne	-	-	-	-	7,28	0,1	11,23	0,1
Eiche	368	4	418	4	503,56	5,4	555,42	5,9
Buche	3809	41	3752	40	3,440,37	36,7	3,240,19	34,6
Pappel	3	0	21	0	20,02	0,2	28,76	0,3
Sonst. Laubholz	76	1	200	2	366,97	3,9	396,99	4,2
Kiefer	234	2	167	2	408,43	4,4	426,71	4,6
Fichte	4797	52	4818	51	4,628,57	49,3	4,715,90	50,3
Insgesamt	9287	100	9376	100	9,375,20	100	9,375,20	100

Tabelle 3-1

Eichenfläche der Forstämter nach Altersgruppen gemäß TI, FMPI und SI							
Altersklasse	Fläche(ha)	TI		FMPI		SI	
		Fläche(ha)	%	Fläche(ha)	%	Fläche(ha)	%
0-20	26,1	6,2	21,3	5,8	61,02	12,1	
21-40	37,0	8,9	15,9	4,3	13,17	2,6	
41-60	28,3	6,8	18,5	5,0	31,71	6,3	
61-80	4,2	1,0	17,8	4,8	62,25	12,4	
81-100	46,2	11,1	47,6	12,9	100,74	20,0	
101-120	72,2	17,3	52,0	14,1	88,11	17,5	
121-140	37,9	9,1	83,2	22,6	50,53	10,0	
141 -max.	166,1	39,7	111,7	30,4	96,02	19,1	
Insgesamt	418	100,0	368	100,0	503,56	100,0	

Tabelle 3-2

Buchenfläche der Forstämter nach Altersgruppen gemäß TI, FMPI und SI							
Altersklasse	Fläche (ha)	TI		FMPI		SI	
		Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%
0-20	438	11,7	295	7,8	550	16,0	
21-40	197	5,3	253	6,6	154	4,5	
41-60	768	20,5	949	24,9	595	17,3	
61-80	406	10,8	224	5,9	484	14,1	
81-100	263	7,0	255	6,7	316	9,2	
101-120	233	6,2	395	10,4	268	7,8	
121-140	453	12,1	631	16,6	384	11,1	
141 -max.	994	26,5	807	21,2	689	20,0	
Insgesamt	3752	100,0	3809	100,0	3440	100,0	

Tabelle 3-3

Kiefernfläche der Forstämter nach Altersgruppen gemäß TI, FMPI und SI							
Altersklasse	Fläche (ha)	TI		FMPI		SI	
		Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%
0-20	84,9	50,8	60,8	25,9	71,78	17,6	
21-40	10,9	6,5	106,2	45,3	120,63	29,5	
41-60	54,4	32,6	60,7	25,9	165,44	40,5	
61-80	15,3	9,2	1,7	0,7	27,36	6,7	
81-100	1,5	0,9	2,4	1,0	19,10	4,7	
101-120	0	0,0	0,1	0,0	1,35	0,3	
121-140	0	0,0	0,7	0,3	1,05	0,3	
141 -max.	0	0,0	1,8	0,8	1,73	0,4	
Insgesamt	167	100,0	234,4	100,0	408,43	100,0	

Tabelle 3-4

Fichtenfläche der Forstämter nach Altersgruppen nach TI, FMPI und SI							
Altersklasse	TI		FMPI		SI		
	Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%	
0-20	368	7,6	588	12,2	396	8,6	
21-40	1064	22,1	1368	28,5	830	17,9	
41-60	1016	21,1	729	15,2	1180	25,5	
61-80	839	17,4	820	17,1	977	21,1	
81-100	838	17,4	683	14,2	787	17,0	
101-120	360	7,5	370	7,7	278	6,0	
121-140	278	5,8	209	4,4	144	3,1	
141-max.	55	1,1	30	0,6	35	0,8	
Insgesamt	4818	100,0	4797	100,0	4629	100,0	

Tabelle 3-5

Flächenanteile der Baumarten im Gebiet der verschiedenen Forstämter gemäß FMPI und SI												
Baumart	Siegen-Süd		Siegen-Nord		Hilchenboch		Glindfeld		Schmallenberg		Insgesamt	
	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI
Ohne	-	0,1	-	0,2	-	0,0	-	0,2	-	0,0	-	0,1
Eiche	12,1	8,6	16,9	10,0	1,6	4,6	3,2	5,5	0,6	3,6	4,0	5,4
Buche	33,4	36,1	26,8	38,4	36,9	31,4	51,5	44,4	48,7	39,7	41,0	36,7
Pappel	0,0	0,2	0,2	0,5	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2
Sonst. Laubholz	1,8	4,1	3,4	3,7	0,7	4,0	0,3	3,5	0,0	4,2	0,8	3,9
Kiefer	4,2	5,0	5,8	4,7	2,7	4,4	1,9	4,1	0,7	4,2	2,5	4,4
Fichte	48,4	45,9	47,0	42,4	58,1	55,4	43,0	42,1	49,9	48,2	51,7	49,4
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 3-6

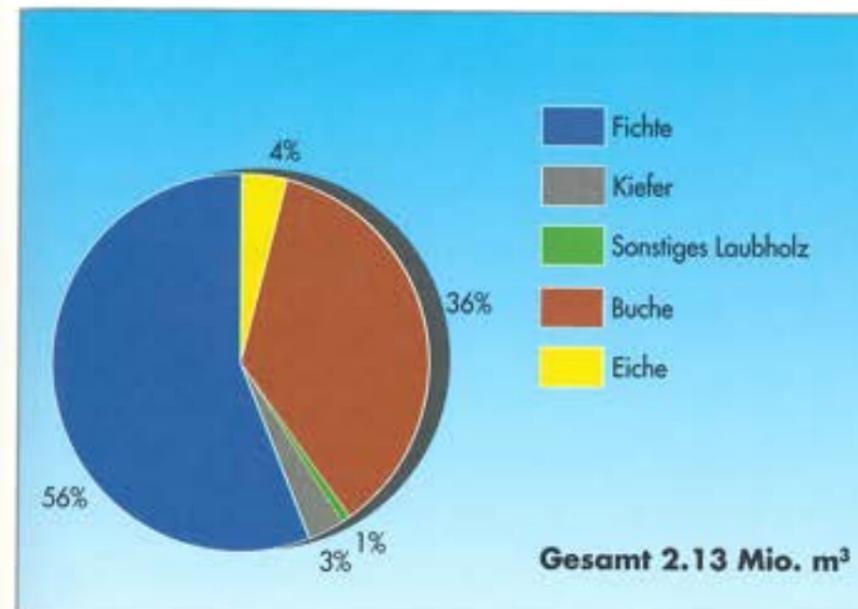


Abb. 3/3: Vorrat nach Baumartengruppen im Gebiet der fünf Forstämter gemäß SI in %.

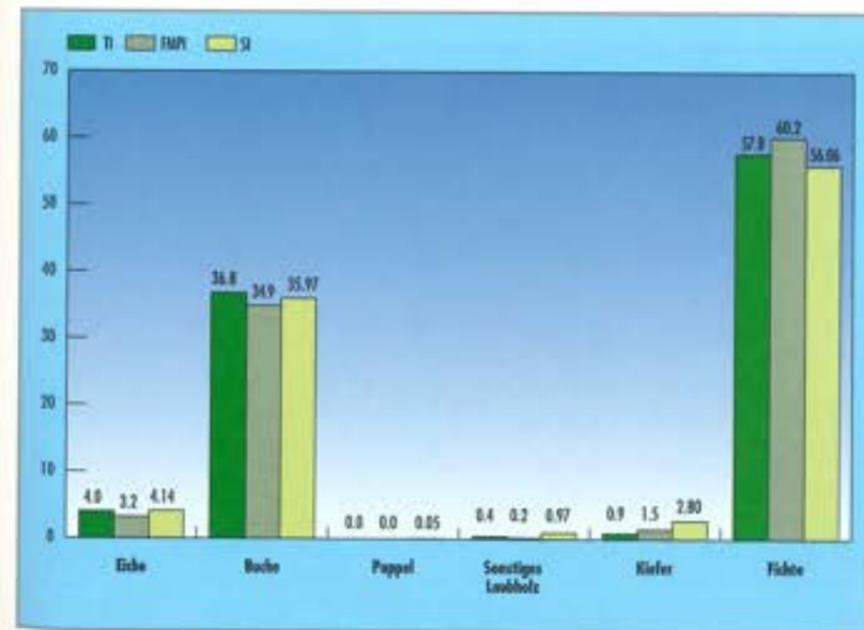


Abb. 3/4: Vorrat nach Baumartengruppen im Gebiet der fünf Forstämter gemäß TI, FMPI und SI in %.

gesondert Ergebnisse hergeleitet. In diesem Kapitel werden die gemeinsamen Ergebnisse der fünf Gebiete in der Inventur auf Satellitenbilddatenbasis (SI) betrachtet. Als Vergleichsdaten stehen sowohl Ergebnisse der forstlichen Planung (FMPI) wie auch Daten aus bloßen terrestrischen Messungen (TI) zur Verfügung. Bei Schlußfolgerungen muß berücksichtigt werden, daß die TI nur ca. 370 Stichproben umfaßt, so daß der Stichprobenfehler in kleinen Berechnungseinheiten recht hoch ist.

Nach Auswertung der Satellitenbildinventur beträgt die Gesamtwaldfläche der Forstämter 8960 ha. Laut LÖBF/LAFA0 beträgt die Gesamtfläche jedoch 9380 ha, in welche auch die Flächen und Volumen der Satellitenbildinventur kalibriert wurden (Tabelle 3/2, Abb. 3/1). Die Forsteinrichtung hat 9230 ha ergeben. Fichte stellt flächenmäßig die größte und Buche die zweitgrößte Gruppe dar. Die Schätzung von Flächen nach Baumarten ist mit der Multiquellen-Technik mindestens zufriedenstellend gelungen (Abb. 3/2). Die Fichtenfläche ist in allen Inventuren beinahe gleich. Die Buchenfläche differiert zwischen der FMPI und der SI um 4 Prozenteinheiten. Die Anwendung von zwei Bildern hat die Unterschiede zwischen der FMPI und der SI nicht reduziert.

Für die vier wichtigsten Baumarten Eiche, Buche, Kiefer und Fichte wird in Tabellen 3-2 bis 3-5 die Flächenverteilung nach Altersklassen zusammengefaßt. Nach Altersklassen betrachtet gibt es zwischen den verschiedenen Inventuren in einigen Fällen große Unterschiede. Die Vergleiche werden außer durch

Volumen (1000 m³) für die fünf Forstämter nach Baumartengruppen gemäß FMPI, TI und SI mit einer und doppelter Überdeckung

Artengruppe	FMPI		TI		SI Einzel		SI Doppel	
	Volumen	%	Volumen	%	Volumen	%	Volumen	%
Eiche	61,5	3	85,6	4	88,2	4	98,51	4,8
Buche	664,2	35	785,8	37	765,5	36	699,58	33,7
Pappel	0,3	0	0,7	0	1,1	0	0,94	0,0
Sonst.								1,1
Laubholz	3,2	0	8,1	0	20,8	1	22,73	
Kiefer	27,8	2	20,2	1	59,6	3	64,22	3,1
Fichte	1.146,0	60	1.233,3	58	1.193,2	56	1.187,88	57,3
Insgesamt	1.902,9	100	2.133,6	100	2.128,38	100	2.073,87	100

Tabelle 3-7

Eichenvolumen für die Forstämter (1000 m³) nach Altersgruppen gemäß TI, FMPI und SI

Altersklasse	Volumen	TI		FMPI		SI	
		Volumen	%	Volumen	%	Volumen	%
0-20	3,04	3,6	0,00	0,0	0,88	1,00	
21-40	2,22	2,6	0,46	0,7	1,10	1,25	
41-60	7,64	8,9	2,04	3,3	3,60	4,08	
61-80	0,55	0,6	2,95	4,8	9,29	10,53	
81-100	8,48	9,9	8,45	13,7	18,87	21,39	
101-120	16,08	18,8	10,03	16,3	19,43	22,02	
121-140	8,59	10,0	16,30	26,5	12,05	13,66	
141 -max.	13,97	45,5	21,26	34,6	23,00	26,07	
Insgesamt	85,57	100,0	61,49	100,0	88,22	100,0	

Tabelle 3-8

Buchenvolumen für die Forstämter (1000 m³) nach Altersgruppen gemäß TI, FMPI und SI

Altersklasse	Volumen	TI		FMPI		SI	
		Volumen	%	Volumen	%	Volumen	%
0-20	2	0,3	0	0,0	8	1,0	
21-40	9	1,1	3	0,5	20	2,6	
41-60	128	16,3	91	13,6	109	14,3	
61-80	75	9,6	43	6,5	112	14,7	
81-100	69	8,8	60	9,0	89	11,6	
101-120	63	8,1	105	15,7	82	10,7	
121-140	134	17,0	168	25,3	125	16,4	
141 -max.	305	38,8	195	29,4	220	28,8	
Insgesamt	786	100,0	664	100,0	766	100,0	

Tabelle 3-9

Fichtenvolumen für die Forstämter (1000 m³) nach Altersgruppen gemäß TI, FMPI und SI

Altersklasse	Volumen	TI		FMPI		SI	
		Volumen	%	Volumen	%	Volumen	%
0-20	7	0,6	2	0,2	9	0,74	
21-40	129	10,5	129	11,2	119	9,96	
41-60	223	18,1	182	15,8	278	23,28	
61-80	278	22,5	306	26,7	325	27,20	
81-100	316	25,6	288	25,2	283	23,74	
101-120	159	12,9	154	13,5	122	10,19	
121-140	102	8,3	74	6,4	45	3,78	
141 -max.	20	1,6	10	0,9	13	1,10	
Insgesamt	1233	100,0	1146	100,0	1193	100,0	

Tabelle 3-10

unterschiedliche Definitionen auch durch die kleine Deckfläche der TI und somit die kleine Anzahl der Probestflächen erschwert.

In Tabelle 3-6 werden die Flächenanteile der Baumartengruppen gemäß FMPI und SI gesondert für die fünf Forstämter dargestellt. Die Inventur auf der Basis von Satellitenbildern scheint die Flächenvariationen von fichtenreichen Wäldern recht gut zu identifizieren. Die Fläche der buchenreichen Wälder hat sich, außer im Gebiet Hilchenbach, etwas in Richtung des Durchschnitts der Forstämter verlagert.

Vorratsvolumen

Der Vorrat ist im Gebiet der fünf Forstämter gemäß der SI 2,13 Mio. m³, was natürlich dem Ergebnis der TI nahe liegt, da als Referenzdaten die gleichen Probestflächen verwendet wurden. In der FMPI beträgt das Gesamtvolumen 1,9 Mio. m³ d.h. es ist etwa 10 % geringer. Die Differenz dürfte sich durch die kleineren Durchschnittsvolumen der Bestandesinventuren begründen lassen. Die Durchschnittsvolumen des Vorrats in den verschiedenen Inventuren betragen: FMPI 204,9 m³/ha, TI 227,6 m³/ha und SI 227,0 m³/ha. Die Multiquellen-Inventur scheint ein Durchschnittsvolumen für die Forstämter erreicht zu haben, das von dem Mittelwert des gesamten NRW abweicht.

Insbesondere der Anteil von Fichte, aber auch der von Buche ist größer als in den Wäldern des gesamten Landes NRW, wenn die BWI und die FMPI als Quelle dienen. Auch die Satellitenbildin-

ventur hat diese Abweichung von den Durchschnittswerten des gesamten Landes NRW identifizieren können (Tabellen 3-7 und 3-18). Die Volumenanteile ähneln sich in allen Inventuren im Gesamtgebiet der Forstämter. Die größte absolute Differenz zwischen der SI und der FMPI liegt bei dem Fichtenanteil, der gemäß der SI um 4 % Einheiten geringer ist als in der FMPI. Auch bezüglich des Volumens verringerte die Verwendung von zwei Bildern die Unterschiede nicht.

In Tabelle 3-8 werden die Durchschnittsvolumen aufgelistet, die nach Baumartengruppen auf zwei verschiedene Weisen (siehe Kapitel 3.2) und mit drei verschiedenen Verfahren berechnet wurden: a) terrestrische Inventur (TI), b) Schätzung nach strukturierten Beständen (Forsteinrichtung = FE) und c) Multiquellen-Inventur (SI). Die Durchschnittsvolumen der wichtigsten Baumarten liegen zufriedenstellend nahe beieinander. Insgesamt betrachtet weichen die FE-Werte am meisten von den anderen Ergebnissen ab.

Die Volumen von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer nach Altersklassen gehen aus den Tabellen 3-7 bis 3-11 und die von Buche und Fichte aus den Abbildungen 3/5 und 3/6 hervor. Hierbei werden drei verschiedene Inventuren d.h. TI, FMPI und SI verglichen. Die Altersstrukturen von Buchen- und Fichtenvolumen weichen jeweils von dem gesamten NRW ab. Die Buchen- und Fichtenwälder der untersuchten Forstämter scheinen überdurchschnittlich alt zu sein. Dies hat sich auch in der Satellitenbildinventur bemerkbar gemacht. Bezüg-

lich Buche scheint die SI das Volumen leicht in die jüngeren Altersklassen zu verlagern. Bei Fichte ist der Trend nicht derartig deutlich. Der Vergleich mit den Zahlen der TI wird wiederum durch die kleine Größe der Berechnungseinheiten und somit die geringe Anzahl der Probestflächen erschwert.

In Tabelle 3-12 werden die Vorratsvolumen der verschiedenen Forstämter nach Baumarten gemäß der FMPI und der SI gegenübergestellt. Die Inventur auf Satellitenbilddaten erkennt die Vorräte nach Baumarten in den verschiedenen Gebieten deutlich.

Ergebnisse nach Beständen in den fünf Forstämtern

Für das Gebiet der fünf Forstämter wurden die Ergebnisse bis auf Ebene von Abteilungen bzw. Blöcken und mehreren Abteilungen berechnet. Es sollte probiert werden, ob sich die Multiquellen-Inventur zur Schätzung bis auf Abteilungs- bzw. Bestandesebene eignet. In dieser Studie stand jedoch kein Vergleichsmaterial zur Verfügung. Wegen der recht großen Anzahl der Bestände werden die Ergebnisse nach Vereinbarung nur auf Disketten geliefert.

3.1.2 Ergebnisse für den Landesverband Lippe und den Kommunalverband Ruhrgebiet

Lippe
Vereinbarungsgemäß sollten die Ergebnisse auch für die Wälder von zwei Kleingebieten, nämlich dem Lan-

Kiefern volumen für die Forstämter (1000 m³) nach Altersgruppen gemäß TI, FMPI und SI

Altersklasse	TI		FMPI		SI	
	Volumen	%	Volumen	%	Volumen	%
0-20	5,10	25,3	0,11	0,4	1,89	3,17
21-40	1,49	7,4	13,49	48,6	14,96	25,11
41-60	10,36	51,4	12,61	45,4	27,68	46,47
61-80	2,94	14,6	0,35	1,3	6,20	10,41
81-100	0,26	1,3	0,63	2,3	5,98	10,04
101-120	0	0,0	0,03	0,1	0,31	0,52
121-140	0	0,0	0,19	0,7	0,30	0,50
141-max.	0	0,0	0,36	1,3	2,25	3,78
Insgesamt	20,16	100,0	27,77	100,0	59,57	100,0

Tabelle 3-11

Volumenanteile der Baumarten für die verschiedenen Forstämter gemäß FMPI und SI

Baumart	Siegen-Süd		Siegen-Nord		Hilchenbach		Glindfeld		Schmollenberg		Insgesamt	
	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI	FMPI	SI
Eiche	11,0	6,7	14,3	8,3	1,2	3,9	2,6	4,3	0,5	2,9	3,2	4,4
Buche	32,4	37,8	19,6	40,7	31,7	29,8	44,4	44,9	38,9	38,4	34,9	36,0
Pappel	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Sonst. Laubholz	0,4	1,2	0,3	1,3	0,2	1,1	0,1	0,9	0,0	0,9	0,2	1,0
Kiefer	3,8	3,5	3,5	3,7	1,1	3,0	1,5	2,6	0,5	2,5	1,5	2,9
Fichte	52,4	50,8	62,2	45,8	65,8	62,1	51,4	47,2	60,2	55,3	60,2	55,5
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 3-12

Volumen und Flächen nach Baumartengruppen gemäß TI und SI, Gebiet Lippe

Artengruppe	Volumen ohne Rinde, 1000 m³				Fläche, ha			
	TI		SI		TI		SI	
	m³	%	m³	%	ha	%	ha	%
Ohne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	0,1
Eiche	331,2	9,1	359,5	10,0	1,371,7	9,2	1,663,1	11,1
Buche	2,011,6	55,3	2,016,1	56,2	8,113,5	54,2	7,320,6	48,9
Pappel	19,6	0,5	7,8	0,2	131,8	0,9	73,4	0,5
Sonst. Laubholz	71,6	2,0	54,2	1,5	693,3	4,6	651,0	4,3
Kiefer	236,0	6,5	225,1	6,3	1,091,7	7,3	1,200,6	8,0
Fichte	965,6	26,6	924,6	25,8	3,574,5	23,9	4,047,5	27,0
Insgesamt	3.635,7	100,0	3.587,3	100,0	14.976,5	100,0	14.975,1	100,0

Tabelle 3-13

desverband Lippe und dem Kommunalverband Ruhrgebiet berechnet werden. Für das Gebiet Lippe standen terrestrisch erhobene Vergleichsdaten zur Verfügung. In Tabelle 3-14 werden die Flächen wie auch die Volumen der Baumbestände nach Baumartengruppen gemäß TI und SI dargestellt. Das Gesamtvolumen betrug gemäß TI im Gebiet Lippe rund 3,64 Mio. m³, was in etwa dem Ergebnis der SI, d.h. 3,59 Mio. m³ entspricht.

Das Gesamtvolumen des Vorrats im Gebiete Lippe wurde in der TI auf ca. 3636 Mio. m³ und in der SI auf etwa 3600 Mio. m³ geschätzt.

In den terrestrischen Aufnahmen weicht das durchschnittliche Vorratsvolumen des Gebietes Lippe mit 242,8 m³/ha deutlich von dem des gesamten

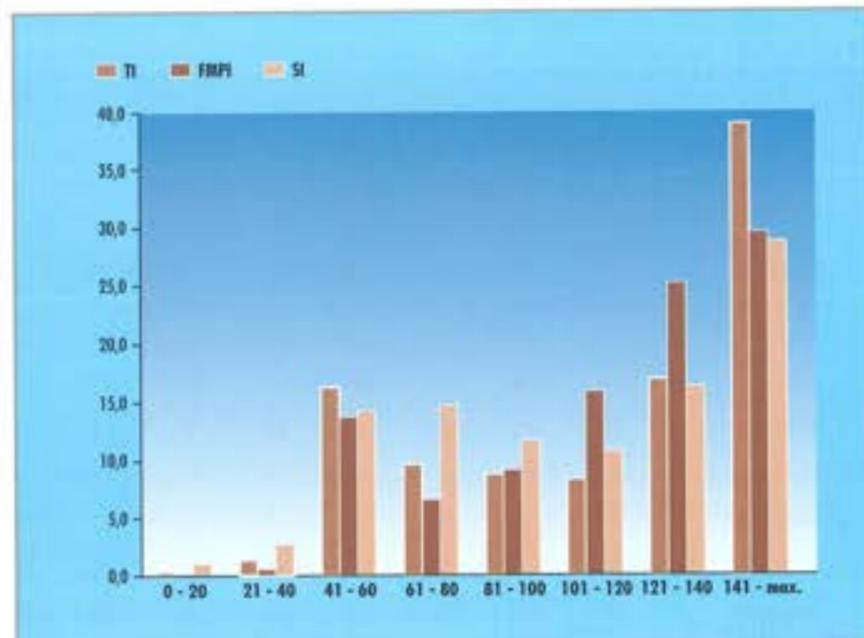


Abb. 3/5: Vorrat von Buche nach Altersklassen im Gebiet der fünf Forstämter gemäß TI, FMPI und SI in %.

NRW (192 m³/ha) ab. Die Satellitenbildinventur ergab für NRW 192 m³/ha und für das Gebiet Lippe 240 m³/ha. Obwohl die Geländeprobefflächen des Gebietes Lippe in der Bildanalyse nicht herangezogen wurden, liegt das geschätzte Volumen der terrestrischen Messung recht nahe. Auch die Volumenanteile der Baumarten liegen in beiden Inventuren in einem ziemlich engen Rahmen und alle Abweichungen sind offensichtlich geringer als der einfache Stichprobenfehler.

Die Flächenanteile der Baumarten stimmen ebenfalls verhältnismäßig gut überein, wenn die angewandte Flächendefinition berücksichtigt wird. Die größten Differenzen gibt es bei Buche und Fichte (Tabelle 3-13).

Kommunalverband Ruhrgebiet

Die Klassifizierung dieses Gebietes ist nicht so gut gelungen wie bei anderen Testgebieten. Bezüglich des Volumens

wurde insbesondere der Anteil der Baumartengruppe „Fichte“ deutlich überschätzt und entsprechend der Anteil der Baumartengruppe „sonstiges Laubholz“

unterschätzt (siehe Tabellen 3-14 und 3-15). Auch das Gesamtvolumen wurde unter Berücksichtigung des Flächenfehlers deutlich größer geschätzt als das

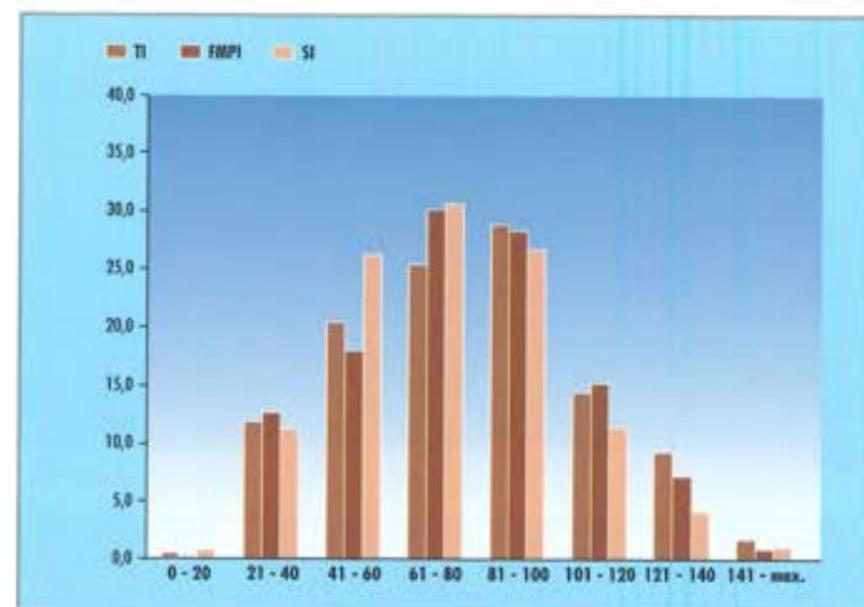


Abb. 3/6: Vorrat von Fichte nach Altersklassen im Gebiet der fünf Forstämter gemäß TI, FMPI und SI in %.

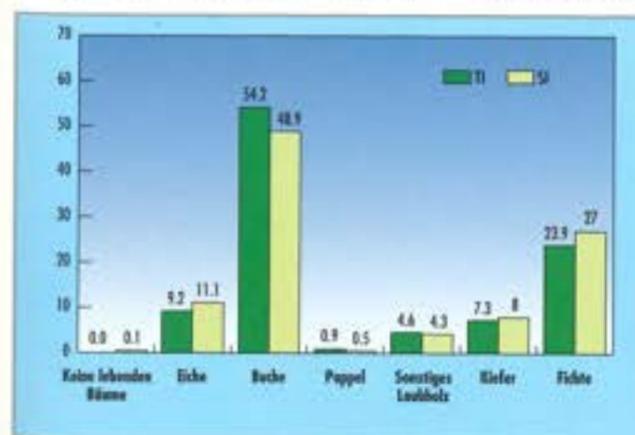


Abb. 3/7: Lippe, Waldflächen nach Baumartengruppen gemäß TI und SI in %.

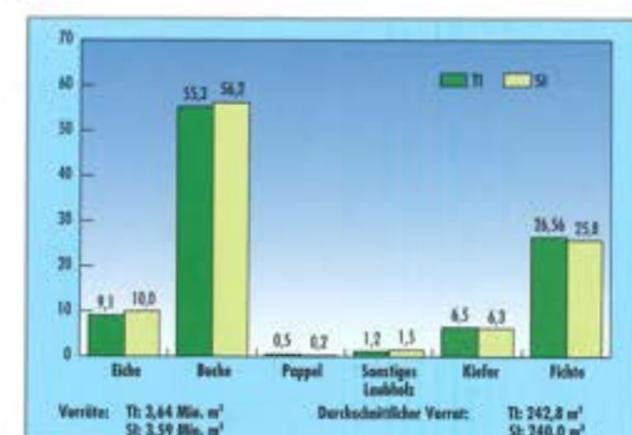


Abb. 3/8: Lippe, Vorräte nach Baumarten in %.

KVR - Gesamtvolumen und Flächen nach Baumartengruppen				
Baumartengruppe	Efm o.R. (SI) 1000 m ³	Efm o.R. (TI) 1000 m ³	Fläche (SI) ha	Fläche (TI) ha
Eiche	211,70	153,52	1260,79	1028,10
Buche	274,61	256,86	1341,53	1129,20
Pappel	35,11	62,45	280,57	341,70
Sonst. Laubholz	95,11	269,86	1031,30	2324,20
Kiefer	490,52	493,22	2466,70	2835,40
Fichte	290,00	148,68	910,68	641,40
Gesamt	1398,63	1384,59	7330,94	8300,00

Tabelle 3-14

KVR - Volumen- und Flächenanteile der Baumartengruppen				
Baumartengruppe	Efm o.R. (SI) %	Efm o.R. (TI) %	Fläche (SI) %	Fläche (TI) %
Eiche	15,14	11,09	17,20	12,39
Buche	19,63	18,55	18,30	13,60
Pappel	2,51	4,51	3,83	4,12
Sonst. Laubholz	6,80	19,49	14,07	28,00
Kiefer	35,07	35,62	33,65	34,16
Fichte	20,73	10,74	12,42	7,73
Gesamt	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabelle 3-15

Ergebnis der terrestrischen Inventur. Bei Schätzung der Flächenanteile ist der selbe Trend zu erkennen, wenn auch nicht gleich stark. Der Schätzfehler in Flächenanteilen ist bei den vorgenannten Baumartengruppen geringer, es gibt jedoch auch hier bei den Anteilen von Eiche und Buche einen Fehler in der Größenordnung von ca. 5 %.

Wegen der Lage des KVR im Überdeckungsbereich zweier angewendeter Bilder kann dieses Gebiet auf verschiedene Weisen klassifiziert werden. In der ersten Phase geschah dies mit Hilfe der Aufnahme fu_0895 und des östlichen Referenzmaterials. Beim Auftreten der Klassifizierungsprobleme wurde jedoch beschlossen, daß auch eine andere Alter-

KVR - Volumen und Flächen nach Baumartengruppen und deren Anteile, fu_0899				
	Efm o.R. (SI)		Fläche (SI)	
	1000 m ³	%	ha	%
Eiche	298,42	19,55	1528,78	20,85
Buche	322,01	21,10	1155,08	15,76
Pappel	10,02	0,66	69,70	0,95
Sonst. Laubholz	87,31	5,72	841,94	11,48
Kiefer	479,91	31,44	2356,12	32,14
Fichte	328,10	21,50	1345,47	18,35
Gesamt	1526,39	100,00	7330,94	100,00

Tabelle 3-16

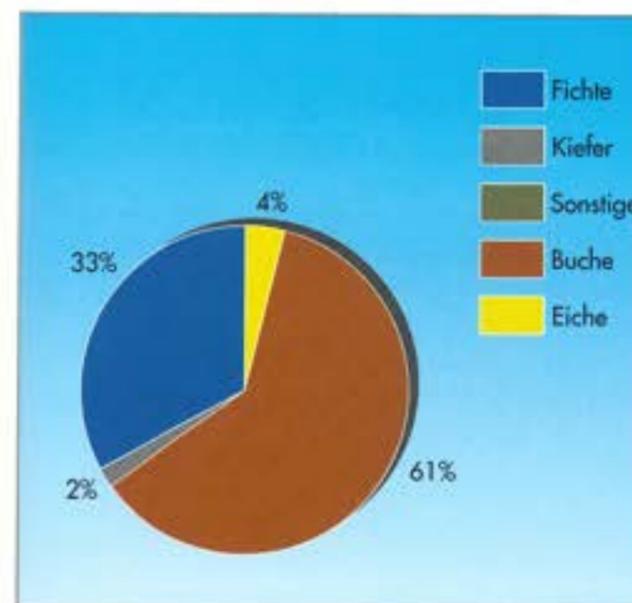


Abb. 3/9: Verteilung des Gesamtvorrats der buchenreichen Bestände auf verschiedene Baumarten in % (im Bereich der fünf Forstämter).

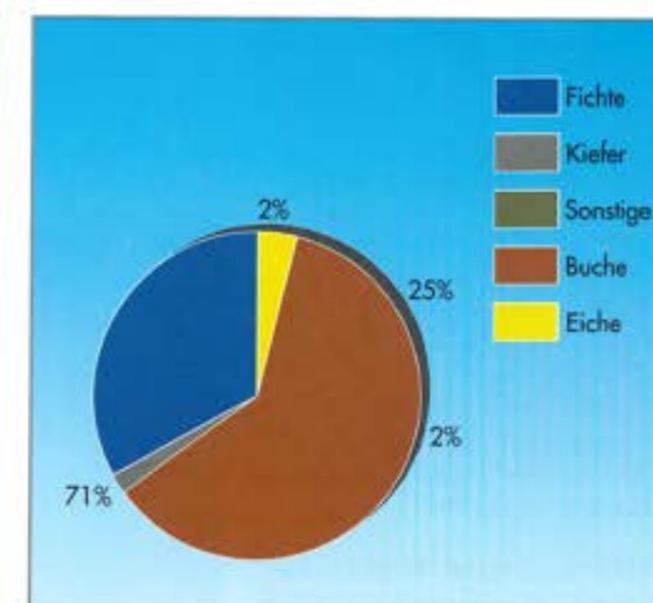


Abb. 3/10: Verteilung des Gesamtvorrats der fichtenreichen Bestände auf verschiedene Baumarten in % (im Bereich der fünf Forstämter).

native getestet wird, nämlich Bild fu_0899 und westliches Referenzmaterial. Die Hauptergebnisse der Klassifizierung werden in Tabelle 3-16 dargestellt. Wie ersichtlich ist, war die Klassifizierung mit dem westlichen Referenzmaterial bezüglich des Volumens bei allen Baumarten nicht so erfolgreich wie die erste Alternative. Nach Flächen konnte lediglich der Anteil von Buche etwas besser geschätzt werden als beim ersten Mal.

Die Gründe zu den Problemen bei Klassifizierung von KVR sind schwer zu schätzen. Anscheinend weicht das Gebiet auf irgendeine Weise von den Wäldern des Referenzmaterials ab. Ein Zeichen hiervon ist der hohe Anteil von sonstigem Laubholz in den Ergebnissen der terrestrischen Inventur.

3.1.3 Ergebnisse nach Waldblöcken (Compartments) im Bereich der „Forstämter“

Für das Gebiet „Forstämter“ wurden auch Ergebnisse nach Waldblöcken errechnet. Diese Einheiten waren im Durchschnitt relativ groß, etwa 91 ha. Sie waren in der Baumartenstruktur nicht homogen, sondern es waren jeweils mehrere Baumarten vorhanden (siehe Abb. 3/9 und 3/10).

Die nach dem Volumenanteil bestimmte Hauptbaumart war gemäß den zur Verfügung gestellten Vergleichsdaten bei 25 % der Bestände Buche und bei 74 % Fichte. In einem

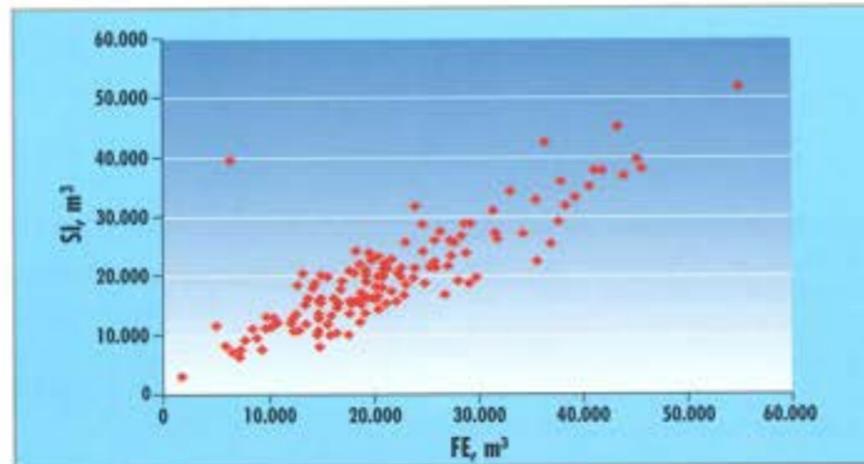


Abb. 3/11: Gesamtvolumen der strukturierten Bestände gemäß Forstplanung (FE) und Multiquellen-Inventur (SI), Durchschnitt ca. 90 ha

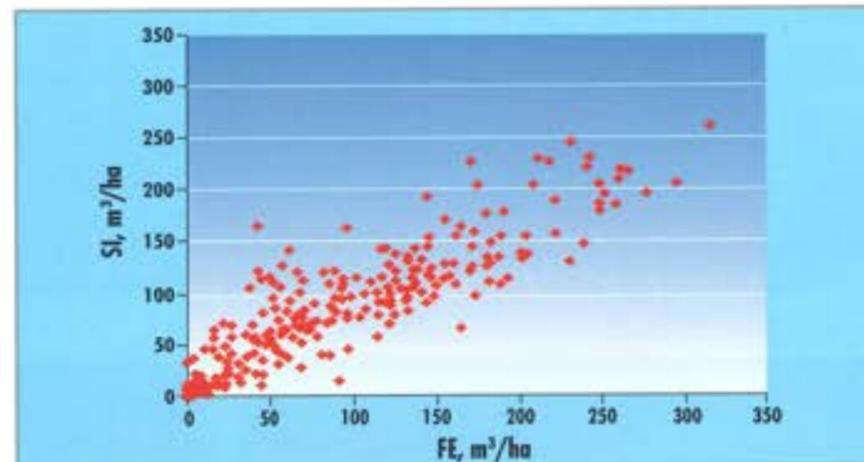


Abb. 3/12: Beobachtete Durchschnittsvolumen nach strukturierten Beständen gemäß FE und SI

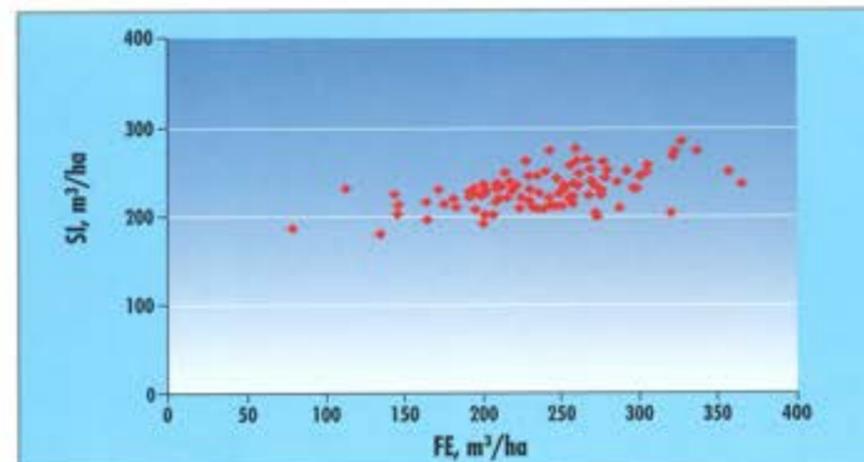


Abb. 3/13: Durchschnittsvolumen der sturkturierten Bestände gemäß FE und SI

Fall dominierte Eiche. Nach den Ergebnissen der Multiquellen-Inventur betragen die entsprechenden Anteile 31 und 69 %. Die richtige Hauptbaumart wurde für 84 % der Bestände identifiziert.

Die Schätzungen der Gesamtvolumen nach Beständen und der Durchschnittsvolumen nach Baumarten korrelieren stark mit den beobachteten Variablen (Abb. 3/11 und 3/13), die Schätzung der Durchschnittsvolumen nach Beständen ist aber schlechter gelungen (Abb. 3/12). Das Ergebnis erklärt sich dadurch, daß bei diesem Verfahren die Schätzungen den Durchschnittswerten zu nahe liegen, d.h. es wurden hierbei keine Extremwerte erreicht.

3.2 Ergebnisse der Satelliteninventur im Vergleich zu der Bundeswaldinventur

Flächen

Gemäß BWI beträgt die Waldfläche NRWs 873 000 ha, davon sind 844 000 ha als Wirtschaftswald ausgewiesen. Von dieser Fläche sind 839 000 ha bewaldet. In der Multiquellen-Inventur (SI) basierte die gesamte Waldfläche auf den digitalen Waldgrenzen, die als Fläche 817 000 ha ergaben (Tabelle 3-17).

Buche vertritt 27 %, Eiche 13 %, sonstiges Laubholz 10 %, Fichte 37 % und Kiefer 13 % von der Waldfläche Nordrhein-Westfalens (Tabelle 3-17).

Waldflächen des gesamten Gebietes NRW nach Baumartengruppen gemäß BWI und SI mit einer und doppelter Bildüberdeckung

Baumartengruppe	BWI		SI Einzelüberdeckung		SI Doppelüberdeckung	
	Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%	Fläche (ha)	%
Ohne	4521	0,5	6400	0,8	5900	0,7
Eiche	125167	14,8	109000	13,3	109000	13,4
Buche	169529	20,1	222300	27,2	226500	27,7
Sonst. Laubholz	108163	12,8	77900	9,5	80000	9,8
Kiefer	97845	11,6	103700	12,7	110400	13,5
Fichte	338750	40,1	297700	36,5	285400	34,9
Insgesamt	843 975	100,0	817 100	100,0	817 100	100,0

Tabelle 3-17

Vorratsvolumen der gesamten Waldfläche NRW nach Baumartengruppen gemäß BWI und SI mit einer und doppelter Bildüberdeckung

Baumartengruppe	BWI		SI Einzelüberdeckung		SI Doppelüberdeckung	
	Volumen (1000 m³)	%	Volumen (1000 m³)	%	Volumen (1 000 m³)	%
Eiche	21000	13,0	20000	12,0	19800	11,9
Buche	41000	25,3	52000	31,1	53300	32,1
Sonst. Laubholz	10000	6,2	7000	4,2	7100	4,3
Kiefer	16000	9,9	19000	11,4	20400	12,3
Fichte	73000	45,1	69000	41,3	65600	39,4
Insgesamt	162 000	100,0	167 000	100,0	166 200	100,0

Tabelle 3-18

Die Bundeswaldinventur kommt zu folgenden Ergebnissen: Buche 20 %, Eiche 15 %, sonstiges Laubholz 13 %, Fichte 40 % und Kiefer 12 %.

Die Flächenangaben sind verhältnis-

mäßig ähnlich, wenn der geschätzte Stichprobenfehler berücksichtigt wird. Die größte Differenz tritt bei der Buche auf. Die Probeflächen, durch welche die Wälder des Landes vertreten waren,

haben in der Interpretation vermutlich die Fläche von Buche etwas vergrößert und die von Fichte reduziert. (In der BWI waren die Flächenanteile der Landeswälder wie folgt: Buche 27 %, Eiche 18 %, Fichte 36 %, Kiefer 11 %.) Durch Bilder mit zwei Aufnahmezeitpunkten wird die Schätzung der Buchenfläche etwas in Richtung des Wertes der BWI verlagert. Bei anderen Baumarten ist keine Verbesserung erkennbar. Die Einschätzung der Fläche für Fichte mit zwei Bildern weicht sogar etwas mehr von den Ergebnissen der BWI ab.

Vorratsvolumen

Das Gesamtvolumen beträgt nach der Multiquellen-Inventur 167 Mio. m³, während es bei der BWI auf 162 Mio. m³ geschätzt wurde (s. Tabelle 3-18). Wenn die SI-Ergebnisse so kalibriert werden, daß sie der in der BWI erfaßten Fläche entsprechen, ergibt sich ein Gesamtvolumen von 172 Mio. m³. Der Unterschied von 6,5 % dürfte durch den Zuwachs des Bestandes sowie die Tatsache zu erklären sein, daß das Gesamtvolumen der terrestrischen Stichproben, die für die Bildinterpretation gemessen wurden, relativ hoch war. Das Durchschnittsvolumen des Bestandes betrug gemäß der BWI 192 m³/ha und der Multiquellen-Inventur 204 m³/ha. Die Stichproben, die als Referenzmaterial der Bildinterpretation dienten, hatten ein durchschnittliches Volumen von 206 m³/ha.

Die Anteile der Baumarten (in Klammern die entsprechende Zahl der BWI) betragen: Eiche 12 (13), Buche 31 (25),

Durchschnittsvolumen nach Baumartengruppen des gesamten Landes NRW auf zwei verschiedene Weisen berechnet				
	VOL 1		VOL 2	
	SI	BWI	SI	BWI
Eiche	24,03	25,03	180,13	168,74
Buche	64,05	48,87	235,30	243,27
Sonstiges Laubholz	8,80	11,43	92,21	89,17
Kiefer	23,44	19,53	184,45	168,42
Fichte	84,07	86,91	230,71	216,52
Insgesamt	204,45	191,75	206,07	192,78

Tabelle 3-19

sonstiges Laubholz 4 (6), Kiefer 11 (10) und Fichte 41 (45)% (Abb. 3/17). Auch die Übereinstimmung der Volumen nach Baumarten ist zufriedenstellend. Bei der SI ist das Buchenvolumen jedoch deutlich größer und das der Fichte etwas kleiner als in der BWI. Das Gesamtvolumen von Kiefer und Fichte liegt jedoch dem entsprechenden Wert der BWI recht nahe. Die Überschätzung von Buche und die Unterschätzung von Fichte könnte entweder daran liegen, daß im Probestflächenmaterial Fichte als Unterwuchs weniger vorkommt als in den Wäldern des gesamten Landes NRW, oder daran, daß im Probestflächenmaterial das Durchschnittsvolumen von Fichte kleiner ist als das der vorherrschend mit Fichte bestockten Wälder im gesamten NRW. Im ersten Fall sind laubholzreiche Bestände mit Fichte als Unterwuchs in der Klassifizierung womöglich als reine Laubwälder erschienen und im zweiten Fall ist den fichtenreichen Wäldern durchschnittlich ein zu kleines Volumen zugeordnet worden. Ferner ist zu beachten, daß der Anteil von Buche in den landeseigenen Wäldern gemäß der BWI größer ist als in Wäldern des gesamten

NRW. Das Heranziehen von Bildern mit zwei Aufnahmezeitpunkten hat die Unterschiede zwischen den Volumenschätzungen nach Baumarten und den Schätzungen der BWI nicht reduziert.

Die durchschnittlichen Volumen nach Baumarten wurden auf zwei verschiedene Weisen berechnet: 1) das Gesamtvolumen einer Baumart (Haupt- und Nebenbestand) wurde durch die Gesamtfläche dividiert (Tabelle 3-19, VOL 1), 2) das Gesamtvolumen einer Baumart wurde durch die von der Baumart selbst vertretenen Fläche geteilt (Formeln 2 und 3, Seite 4) (Tabelle 3-19, VOL 2). Das Verhältnis der aus der Spalte VOL/PA erkennbaren Unterschiede zwischen SI und BWI ist wie in Tabelle 3-18. Die Überschätzung von Buche ist auch beim Durchschnittsvolumen ersichtlich. Wenn als Fläche die kalkulatorische Fläche der Baumart eingesetzt wird, sinkt das Durchschnittsvolumen von Buche unter den entsprechenden Wert der BWI. Dies bedeutet, daß in der gemäß Definition 2 berechneten Buchenfläche eine noch größere Überschätzung enthalten ist als im Volumen. Ohne genauere Daten und Informationen

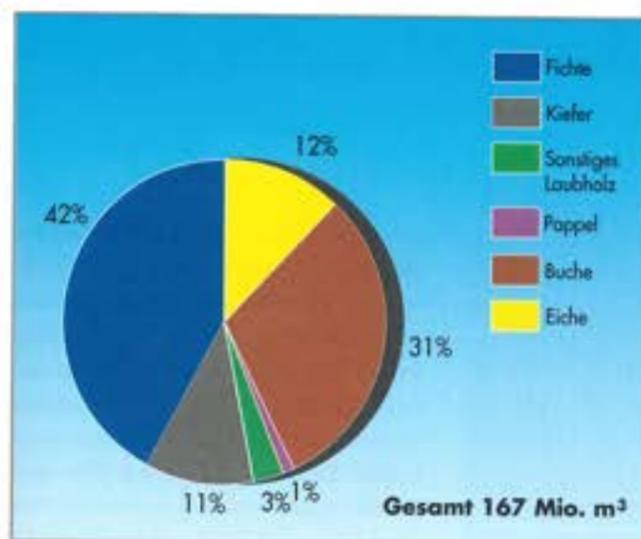


Abb. 3/16: Relative Vorratsvolumen nach Baumartengruppen gemäß SI

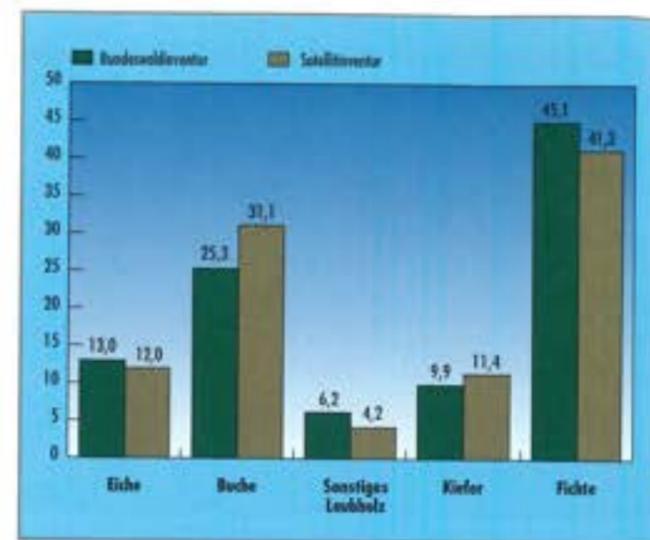


Abb. 3/17: Vorratsvolumen nach Baumartengruppen gemäß BWI und SI

über die Struktur der durch die Referenzprobestflächen vertretenen Wälder und andererseits über die der Wälder der gesamten Bundesrepublik können die Gründe zu diesem Phänomen kaum identifiziert und analysiert werden.

Altersklassen

Die Volumen wurden auch nach Altersklassen in Gruppen von 20 Jahren berechnet. In Tabelle 5 wird die Altersklassenverteilung des Buchenvolumens und in Tabelle 6 die des Fichtenvolumens mit den entsprechenden Zahlen der BWI verglichen.

Die größten Abweichungen in der Altersklassenverteilung des Buchenvolumens gibt es in den über 100 Jahre alten Wäldern (Tabelle 3-20, Abb. 3/18). Eine Erklärung scheint die Abweichung der Altersstruktur von Buche in den landeseigenen Wäldern im Vergleich zu der Gesamtheit der Wälder zu bieten. Zum Beispiel waren die Anteile der drei ältesten Altersklassen gemäß der BWI in den landeseigenen Wäldern jeweils 14,6,

12,0 und 18,5 %. Das Ergebnis der Multiquellen-Inventur lag bezüglich der Altersstruktur von Buche gewissermaßen in Richtung der landeseigenen Wälder. Eine mögliche Erklärung für die Differenzen könnte auch die Mischung der drei ältesten Altersklassen miteinander oder die Alterung der Bestockung sein.

Die Altersklassenverteilung des Fichtenvolumens ist der entsprechenden Verteilung nach BWI ziemlich ähnlich, insbesondere wenn einige Altersklassen wie 21-40 und 41-60 sowie 61-80 und 81-100 zusammengezogen werden (Tabelle 3-21, Abb. 3/19).

Insgesamt scheinen sich sowohl die Flächen wie auch die Volumen in Richtung der durch Probestflächen vertretenen landeseigenen Wälder zu verlagern. Die Anwendung von Bildern mit zwei Aufnahmezeitpunkten schien die Ergebnisse nicht wesentlich zu beeinflussen. Die Volumen nach Stärkenklassen sind in der Anlage dargestellt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND MÖGLICHKEITEN DES VERFAHRENS

Ziel der Studie war, das zur nationalen Forstinventur in Finnland angewendete Multiquellen-Verfahren auf seine Anwendungsfähigkeit in den Wäldern Nordrhein-Westfalens hin zu prüfen. Das Verfahren basiert außer auf terrestrischen Messungen auch auf Satellitenbildern und numerischen Kartendaten, z.B. Grenzen der Bodennutzungsklassen und numerischem Geländemodell. Die Nutzung von phänologischen Eigenschaften des Vorrats in der Bildanalyse wurde getestet, indem alternativ Satellitenbilder von zwei Aufnahmezeitpunkten verwendet wurden. Wegen Wolken war es nicht möglich, Aufnahmen zu optimalen Zeitpunkten zu machen. Die in dieser Studie verwendeten Geländeprobeflächendaten waren in den landeseigenen Wäldern erfaßt worden, d.h. nur in einem kleinen Teil der Wälder des gesamten Landes NRW. Gemäß Statistiken weichen die landeseigenen Wälder

Buchenvolumen nach Altersklassen, Gesamtgebiet NRW gemäß BWI und SI

Altersklasse	BWI		SI	
	Volumen (1.000 m³)	%	Volumen (1.000 m³)	%
0-20	506	1,2	669	1,3
21-40	2.832	6,9	4.047	7,7
41-60	3.615	8,8	7.588	14,5
61-80	6.931	16,9	7.880	15,1
81-100	6.458	15,7	7.492	14,3
101-120	8.847	21,5	6.271	12,0
121-140	7.435	18,1	7.289	13,9
141-max.	4.447	10,8	11.100	21,2
Insgesamt	41.071	100,0	52.336	100,0

Tabelle 3-20

Fichtenvolumen nach Altersklassen, Gesamtgebiet NRW gemäß BWI und SI

Altersklasse	BWI		SI	
	Volumen (1.000 m³)	%	Volumen (1.000 m³)	%
0-20	2.108	2,9	916	1,3
21-40	18.570	25,3	13158	19,2
41-60	18.494	25,2	19053	27,7
61-80	20.290	27,7	16031	23,3
81-100	10.953	14,9	13921	20,3
101-120	2.046	2,8	4400	6,4
121-140	556	0,8	961	1,4
141-max.	329	0,4	255	0,4
Insgesamt	73.346	100,0	68.696	100,0

Tabelle 3-21

in ihrer Baumartenverteilung etwas von der Gesamtheit der Wälder im Gebiet NRW ab. Der Anteil der Buche ist in den landeseigenen Wäldern höher als auf der Gesamtwaldfläche.

Im Prinzip sollte das Verfahren auch mit nicht-repräsentativem Probestflächenmaterial funktionieren. Voraussetzung ist jedoch, daß alle im Gelände vorkommenden Baumarten-/Alters-/Volumen-

Kombinationen in dem verwendeten Probestflächenmaterial erscheinen. Im vorliegenden Fall wurde die Voraussetzung offensichtlich nicht ganz erfüllt.

Möglicherweise waren laubbaumreiche Wälder mit Nadelbaumunterwuchs im Probestflächenmaterial nicht ausreichend vertreten.

Als Vergleichsmaterial wurden Ergebnisse mehrerer Inventuren verwen-

det. Im Gesamtgebiet von NRW wurden die Ergebnisse mit denen der Bundeswaldinventur (BWI) aus den Jahren 1986-1990, im Gebiet der fünf Forstämter mit Ergebnissen der Bestandesinventur (FMPI) und Ergebnissen auf der Basis von Probestflächenmessungen verglichen. Das letztere gilt auch für das Gebiet Lippe.

Zur Klassifizierung des Gebiets NRW wurden von Deutschland aus zwei dieses Gebiet deckende Forstmasken nach Finnland gesandt. Die Pixelgröße der ersten Maske betrug 5 m², aber wegen festgestellter Mängel hat der Auftraggeber als Ersatz eine neue Maske mit einer Pixelgröße von 2,5 m² geliefert. Auch diese Maske war jedoch mangelhaft. Im Mittelteil des Gebiets NRW befand sich eine rechteckige Fläche, die gemäß der Maske nicht bewaldet war. Diese „Lücke“ wurde mit Hilfe der früheren Maske ausgebessert. Insgesamt deckte das gelieferte Maskenmaterial 1,2 Mio. ha Wald. Innerhalb der bekanntgegebenen äußeren Grenzen NRWs befanden sich hiervon ca. 817 000 ha.

Die Flächen und Volumen nach Baumartengruppen im Gebiet von NRW decken sich verhältnismäßig gut mit den Ergebnissen der BWI. Die Fläche und das Volumen von Buche wurden etwas überschätzt und die von Fichte entsprechend unterschätzt. In den Schätzungen nach Altersklassen gab es dagegen etwas mehr Abweichungen zu den Vergleichsdaten. Der deutlich frühere Zeitpunkt der BWI könnte den Unterschied teilweise erklären.

Die Schätzungen für die fünf Forstämter und Lippe nach Baumartengruppen stimmen mit den Vergleichsdaten recht gut überein, obwohl sich die Baumartenverhältnisse von denen der Referenzgebiete unterscheiden. Das abweichend hohe Durchschnittsvolumen des Gebietes Lippe konnte nicht ganz erreicht werden. Ferner gab es in diesen Kleingebieten bei den Schätzungen nach Altersklassen Unterschiede zu den Vergleichsdaten.

Mit zwei Bildern konnten die Gesamtdifferenzen zwischen den Schätzungen und den Vergleichsdaten kaum verbessert werden. Die Schlußfolgerungen bezüglich der Verwendbarkeit phänologischer Eigenschaften in der Multiquellen-Inventur blieben jedoch teilweise offen, da wegen der Wolken keine

optimale Bildüberdeckung des zweiten Zeitpunktes möglich war. Die zweiten Bilder wurden spät im Herbst aufgenommen, als die Lichtmenge und die Unterschiede der Farbabstufungen im Bild gering waren. Beispielsweise konnten die Eigenschaften von Bildern vom Frühjahr oder Frühsommer z.B. in der Schätzung von Altersklassendaten nicht getestet werden. Eine Erklärung zu dem kleinen zusätzlichen Nutzen der zweiten Bildüberdeckung kann natürlich auch sein, daß bereits mit einem Bild die Differenzierung der Baumarten recht gut gelungen ist.

Die Ergebnisse wurden teilweise auch für kleine Waldblöcke der „Forstämter“ berechnet. Die Gesamtfläche beträgt rund 9400 ha und die mittlere Blockgröße 91 ha. Die Durchschnittsvolumen nach Baumarten und strukturierten Beständen sowie die geschätzten Gesamtvolumen der strukturierten Bestände stimmen mit den terrestrischen Erhebungen relativ gut überein. Dagegen schienen die (Gesamt)Durchschnittsvolumen nach strukturierten Beständen den Durchschnittswerten zu nahe zu liegen. Teils dürfte dies dadurch zu erklären sein, daß die Variation des Durchschnittsvolumens der Waldblöcke von vornherein gering war. Der größte Teil lag zwischen knapp 200 und gut 300 m³/ha. Wenn sich hiervon die kleinsten und die größten Flächen dann immer mehr wie der Durchschnitt schätzen lassen, wenn die Strukturvariation nicht die des Durchschnittsvolumens erklärt, bleibt die Variation der Schätzungen sehr gering. Wenn sich die Durchschnittsvolumen der terrestrischen

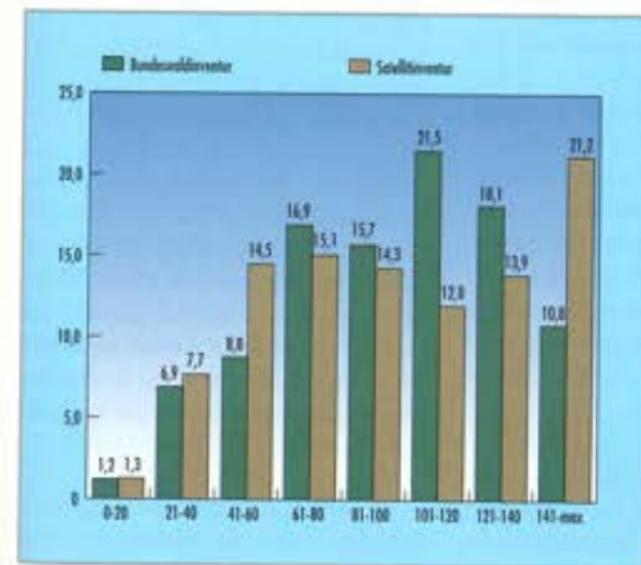


Abb. 3/18: Volumenverteilung von Buche in Altersklassen gemäß SI und BWI, gesamtes NRW-Gebiet (in %).

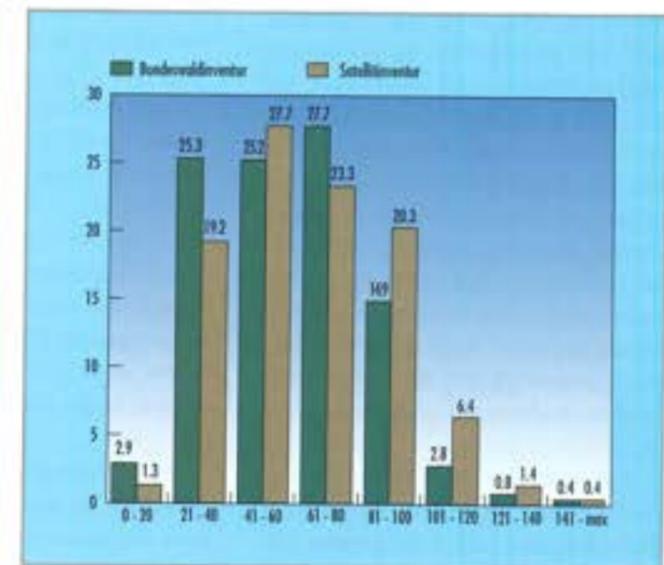


Abb. 3/19: Volumenverteilung von Fichten in Altersklassen gemäß SI und BWI, gesamtes NRW-Gebiet (in %).

Probeflächen mehr voneinander unterschieden hätten, wäre das Ergebnis womöglich besser gewesen.

Gemäß den Tests lassen sich auch in solchen Gebieten, in denen keine Buche vorkommt, gewisse Mengen dieser Baumart annehmen. Das Ergebnis muß als Schätzfehler interpretiert werden. Mit zunehmender Gebietsgröße ist es sehr wahrscheinlich, daß bei einigen Bildelementen solche Probeflächen angewendet werden, auf denen die häufigste Baumart des Gebiets vorkommt, insbesondere wenn die Probeflächen nicht unbedingt alle Variationen des Waldes abdecken. Also wird immer bei einem Bildelement, für das sich unter den Probeflächen nicht unbedingt ein Gegenstück finden läßt, am wahrscheinlichsten die Probefläche mit der häufigsten Baumart benutzt.

Teilweise dürfte das Problem zu beheben sein, wenn für den Volumenanteil einer Baumart bei jedem Bildelement eine Untergrenze gesetzt wird, zum Beispiel so, daß sehr kleine Volumenanteile an die Volumen anderer Baumarten, die gemäß dem Bildelement ein größeres Volumen aufweisen, angehängt werden. Zur Gewährleistung der Unverzerrtheit würde die Entwicklung des Verfahrens einer fortwährenden Forschung bedingen. Auch durch Erhöhung der Repräsentativität der Probeflächen kann das Problem reduziert werden.

Das richtige Funktionieren des Verfahrens kann nicht mit Gebieten in Bestandesgröße (z.B. 5 ha) getestet werden. Wie die früher in Finnland ausgeführten Tests gezeigt haben, sind die Bestandesvariablen mit Landsat- TM

und Spot-Satellitenbildern nur richtunggebend und eignen sich ohne eine terrestrische Überprüfung nicht als Ausgangsdaten der Planung operativer Forstwirtschaft (Tomppo 1986, 1988). Aufgrund der früheren Untersuchungen läßt sich feststellen, daß mit Hilfe von Satellitenbildern die Bestandesstrukturierung eines Waldgebiets erfaßt werden kann.

Die Eignung des Verfahrens und der Satellitenbilder für eine bestandesbezogene Waldinventur hängt von den Zielen der Inventur ab. Wenn lediglich die Schätzung von Gesamtvolumen oder Volumen der wichtigsten Baumarten nach strukturierten Beständen als Zielsetzung gilt, dürfte das Verfahren zumindest eine Art anwendbare Ausgangsinformation über den Bestand bieten. Dagegen ist z.B. eine Prognose der Waldpflege- und Einschlagsmaßnahmen, die im Fall einer Bestandesplanung benötigt werden, recht unzuverlässig.

Ohne technologische Entwicklung ist es kaum möglich, etwas zur Verbesserung der Ergebnisse zu tun. Das Auflösungsvermögen der Satellitenbilder ist jedoch bereits heute besser (z.B. Indien: IRS 1-C, gestartet am 28.11. 1995). Neue Bilder mit sowohl spektrisch wie auch räumlich höherem Auflösungsvermögen werden in den nächsten Zeiten auf dem Markt angeboten.

Als Ausgangsdaten für eine Schätzung nach strukturierten Beständen sind auch die numerischen Beobachtungen aus der Luft anwendbar. In der Finnischen Forstlichen Forschungsanstalt wird gerade an der Entwicklung einer

Technologie gearbeitet, die auf einem Bildspektrometer aufgebaut ist. Bei der Entwicklung des einzusetzenden AISA-Instruments in Finnland wurden u.a. Sachverständige der NASA herangezogen.

Im Zuge der besseren Technologie kann auch mit einer Präzisierung der Ergebnisse mittelgroßer Gebiete gerechnet werden, die pro Stratum, z.B. nach Baumarten ermittelt werden sollen. Im Rahmen der Ressourcen, die für dieses Projekt zur Verfügung standen, war eine Weiterentwicklung des Verfahrens jedoch nicht möglich. Mit einer sorgfältigen Verfahrensentwicklung wäre eine kleine zusätzliche Verbesserung in den Ergebnissen mittelgroßer und großer Gebiete vielleicht zu erreichen. Mit wesentlichen Verbesserungen ist nicht zu rechnen.

Mit der heutigen Technologie könnte die größte Verbesserung der Genauigkeit wahrscheinlich erzielt werden, indem die Repräsentativität und Deckung der terrestrischen Probeflächen erhöht wird. Jetzt gab es offensichtliche Schwierigkeiten, in einigen Gebieten unter den Probeflächen der landeseigenen Wälder solche zu finden, die mit den Geländeelementen der zu interpretierenden Gebiete ähnlich gewesen wären. Ebenfalls kann, wie vorstehend genannt, ein besser ausgesuchter Aufnahmeterrain der zweiten Bilder (was hier im Fall der Bilder nicht möglich war) zur zusätzlichen Genauigkeit beitragen.

In den genutzten numerischen Gebietsgrenzen gab es einige Mängel. Die Abgrenzung der Waldgebiete und die Schätzung der Fläche scheinen mit den verfügbaren numerischen Kartenda-

ten nicht gut genug zu gelingen. In Kleingebieten ergaben die numerischen Waldgebietsgrenzen hier eine systematische Unterschätzung. Die Waldfläche dürfte in der eventuell kommenden Großrauminventur entweder mit bloßer Probeflächenaufnahme oder mit kombinierten Karten- und Probeflächendaten zuverlässiger festzustellen sein.

Die Studie hat jedoch gezeigt, daß mit dem Multiquellen-Inventurverfahren die Wälder NRWs mindestens zufriedenstellend eingeschätzt werden konnten, obwohl Probeflächen nur in den landeseigenen Wäldern erfaßt worden waren. Das Ergebnis war besser als erwartet. Es scheint, daß mit dem Verfahren in der eventuell kommenden Inventur der gesamten Bundesrepublik unbestreitbarer Nutzen erzielt werden könnte. Am wichtigsten hierbei ist, daß Forstressourcen für wesentlich kleinere Gebiete als mit nur terrestrischen Messungen erhältlich wären und daß diese wesentlich besser lokalisiert werden könnten. D.h. es bestünde die Möglichkeit, Karten der operativen Ebene zu produzieren. Bei Bedarf kann die Multiquellen-Inventur auch zur Reduzierung der Menge an terrestrischen Messungen und somit der Kosten für die gesamte Inventur verwendet werden.

Im Fall einer weiteren Multiquellen-Inventur muß sorgfältig geplant werden, für welche Gebiete und mit welcher Genauigkeit die Daten mit bloßen terrestrischen Messungen benötigt werden und für Gebiete welcher Größe auf das Multiquellen-Inventurverfahren zurückgegriffen werden soll. Der endgültige Nutzen von Satellitenbildern hängt u.a. von diesen Zielsetzungen ab.

REFERENZLITERATUR

Ritter, P. 1987. A vector-based slope and aspect Generation algorithm. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53: 1109-1111.

Tomppo, E. 1987. Stand delineation and estimation of stand variables by means of satellite images. In: *Remote Sensing-Aided Forest Inventory*. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes No. 19: 60-76.

Tomppo, E. 1988. Standwise forest variate estimation by means of satellite images. IUFRO S4.02.05 Meeting, Aug.

29 - Sept. 2, 1988, Forest Station Hyttälä, Finland, proceedings. University of Helsinki, Department of forest Mensuration and Management, Research Notes No. 21, 103-111.

Tomppo, E. 1991. Satellite Image-Based National Forest Inventory of Finland. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 28, Part 7-1, pp. 419-424.

Tomppo, E. 1992. Satellite image-aided forest site fertility estimation for forest income taxation purposes. 70 pp. *Acta Forestalia Fennica* 229.

Tomppo, E. 1993. Multi-Source National Forest Inventory of Finland. The Finnish Forest Research Institute. *Research Papers* 444. pp. 52-60.

Tomppo, E. 1996. Multi-Source National Forest Inventory of Finland. *New Thrusts in Forest Inventory. Proceedings of the Subject Group S4.02-00 'Forest Resource Inventory and Monitoring' and Subject Group S4.12-00 'Remote Sensing Technology'*. Volume 1. IUFRO XX World Congress 6-12 August 1995, Tampere, Finland. *EFI Proceedings No. 7*. 15 p. European Forest Institute.

Verdichtung des Stichprobenrasters aus dem Testlauf für eine Betriebsinventur im Staatswald des Landes NRW

Günter Spelsberg (*)

1. Einleitung

Aufgrund eines Kabinettsbeschlusses soll in der Landesforstverwaltung Nordrhein-Westfalen eine Kosten- und Leistungsrechnung eingeführt werden. Damit wird das von GMO Management Consulting GmbH, Düsseldorf, erstellte Gutachten „Untersuchung zur Einführung von Methoden der kaufmännischen Buchführung und Bilanzierung sowie zur Prüfung betrieblicher Investitionsmaßnahmen in der Forstverwaltung des Landes Nordrhein-Westfalen“ umgesetzt. In einer Sonderbilanz soll auch das Anlagevermögen „stehendes Holz“ und dessen Veränderung erfaßt werden. Eine aussagefähige Bewertung kann nur auf der Grundlage einer hinreichend exakten Mengenerfassung des stehenden Holzes erfolgen. Neben der Bewertungsfrage ist die Ermittlung des Wertes und des Wertzuwachses immer nur so gut wie die Ermittlung der Menge und der Mengenveränderung.

Als Form für entsprechende Berichte hat GMO eine Matrix vorgeschlagen, bestehend aus den 9 BePla-Baumartengruppen (horizontal) und den vorkommenden 10er BHD-Stufen (vertikal). Eine solche Zelle wird im folgenden als (Auswerte-)Kategorie bezeichnet. Selbstverständlich wird ein Bericht immer für jedes staatswaldbewirtschaftende Forstamt erstellt.

Anhand der Daten aus dem Testlauf zur Landeswaldinventur wurden für GMO umfangreiche Fehlerkalkulationen durchgeführt. Zielvariable war die Baumzahl analog zur Stückzahl bei

Inventuren in Handel und Gewerbe. Ausgewählt wurden drei Beispielforstämter: Münster als kleines, heterogenes Forstamt; Attendorn als durchschnittliches Forstamt und Hürtgenwald als großes, einformig strukturiertes Forstamt.

In jedem Forstamt kamen Auswertekategorien mit sehr hohen Fehlerquoten vor. Selbst eine Verdichtung der Baumarten auf Laub- bzw. Nadelholz änderte nichts am grundsätzlichen Ergebnis. Daher empfiehlt das Gutachten eine Verdichtung der Stichprobe auf die 5fache Stichprobenzahl. Es fehlt allerdings eine Analyse, die diesen gutachterlichen Verdichtungsgrad herleitet.

Eine Auswertungsmatrix nach vorgegebenem Muster wird immer Kategorien enthalten, die mit Stichproben nur schwach besetzt sind und deshalb große Fehler aufweisen. Dabei handelt es sich z.T. um Kategorien mit einem geringen Wert pro Einheit (z.B. Pappel), aber auch um besonders wertvolle Kategorien (z.B. starke Eichen). Unter der Zielsetzung der Wertermittlung sind die hohen Fehler bei den wertvollen Bäumen nicht akzeptabel. Für deren genaue Erfassung ist eine Stichprobeninventur ein völlig ungeeignetes Verfahren. Vielmehr ist es sinnvoll, starke Eichen, starkes Edellaubholz sowie evtl. starke Kiefern und Lärchen in einer Vollaufnahme zu erfassen (z.B. analog zur Wertholzinventur im niedersächsischen Forstamt Erdmannshausen).

Unter der Voraussetzung, daß die wertvollen Bäume separat erhoben werden, wird nachfolgend anhand des Test-

laufes analysiert, welche Stichprobendichte für die Erfassung des übrigen Vorrates zweckmäßig ist.

2. Material und Methode

Verwendet wurden die Daten des Staatswaldes mit folgenden Restriktionen:

- Kein Sondervermögen
- Nur die Fläche der 16 staatswaldbewirtschaftenden Forstämter (= kein kw-Wald)
- Nur lebende Bäume
- Nur Bäume ab 10 cm BHD.

So ergeben sich 70.589 Baum-Datensätze in 4 120 Stichproben.

Auf dieser Basis wurden für jede Zelle der GMO-Matrix folgende Werte berechnet:

- Absoluter Vorrat (Efm o.R.)
- Vorrat je ha (Efm o.R.)
- Anteil am Vorrat im Forstamt
- Ideelle Fläche
- Flächenanteil im Forstamt.

Damit liegen die Grunddaten für die Berechnung des Vorratsfehlers vor. Der Vorratsfehler einer Auswertekategorie setzt sich aus zwei Fehlerkomponenten zusammen, dem Standardfehler des Vorrates je ha und dem Standardfehler der Flächenschätzung.

Für den Standardfehler des Vorrats je ha wird zunächst in jeder Stichprobe der Vorrat je ha in der Kategorie berechnet. Über diese Vorräte je ha wird pro Kate-

gorie eine Mittelwertstatistik durchgeführt, aus der dann der Standardfehler des Vorrates je ha nach dem gängigen Verfahren berechnet wird.

Zur Herleitung der Flächenausstattung einer Kategorie wird zunächst deren Flächenanteil pro Stichprobe kalkuliert. Grundlage dafür sind die Einzelbaumstandräume, auf deren Schätzung hier nicht näher eingegangen wird. Mit Hilfe der Repräsentationsfläche (im Testlauf 500 x 500 m = 25 ha) kann die Flächenausstattung der jeweiligen Kategorie und deren Anteil an der Gesamtfläche der Befundeinheit berechnet werden.

Aus dem Flächenanteil wird analog zur Fehlerschätzung des Waldentscheidendes der Standardfehler der Fläche nach der Binomialformel ermittelt.

Aus den so kalkulierten zwei Fehlerkomponenten wird der Gesamtfehler als quadratischer Mittelwert kalkuliert (Fehlerfortpflanzungsgesetz).

3. Ergebnis

Mit dem geschilderten Vorgehen wurde für jede Zelle der Vorratsfehler berechnet. Anschließend wurden die Zellen innerhalb eines Forstamtes nach aufsteigendem Vorratsfehler sortiert und in dieser Sortierreihenfolge der aufsummierte Vorratsanteil berechnet. Als Beispiele für die Ergebnistabellen der 16 Forstämter geben die Tabellen 1 bzw. 2 die Forstämter Schmallingenberg und Bonn wider.

Anzumerken ist, daß der Gesamtvorrat eines Forstamtes immer geringfügig kleiner ist als in den BI-Standardtabellen, weil Bäume unter 10 cm BHD nicht berücksichtigt sind. Im unteren Teil der Forstamtstabellen abgesetzt sind solche Zellen, in denen wegen nur einer Beobachtung keine Fehlerberechnung möglich ist. Die Zellen mit Fehlerangabe umfassen in jedem Forstamt mehr als 95 % des Vorrates.

Aus der Ergebnistabelle pro Forstamt wurden die Daten für eine Übersichtstabelle „Maximaler Vorratsfehler einer Kategorie (10er BHD-Stufe* BePla-Gruppe) bis zu einem Vorratsanteil von ... %“ abgegriffen (Tabelle 3). Fehlende Angaben in dieser Tabelle ergeben sich dadurch, daß die Kategorie mit dem geringsten Vorratsfehler mehr als 10 bzw. 20 % des Vorrates im Forstamt beinhaltet. Abgelesen wurde für jede Spalte beim nächstniedrigeren Vorratsanteil in der Forstamtstabelle. Die Fehlerangabe wurde mathematisch gerundet.

Diese Übersichtstabelle dient als Basis für ein Variantenstudium möglicher Rasterverdichtungen. Um eine einfache Rasterstruktur beizubehalten, werden nur Verdichtungsvarianten mit dem Faktor 2, 4 oder 8 betrachtet. Verdichtet werden kann grundsätzlich entweder einheitlich für den gesamten Staatswald oder differenziert für jedes einzelne Forstamt. In den folgenden Varianten wird einheitlich unterstellt, daß ein Vorratsfehler in der einzelnen Kategorie von 30 % noch akzeptabel ist. Diese Annahme ist natürlich grundsätzlich variabel.

Zunächst wird eine einheitliche Rasterverdichtung auf das 2fache (500 x 250 m) betrachtet (Tabelle 4). In den nur schwach grau hinterlegten Feldern wird schon im Testlauf der Fehler von 30 % eingehalten. Hierbei schneiden besonders schlecht ab die kleinen Forstämter Münster, Minden und Bergisch Gladbach, aber auch das vergleichsweise große Forstamt Bonn. Letzteres wird verursacht durch die heterogene Baumarten- und Stärkenstruktur. Im FA Bonn liegen alle Kategorien unter einem Vorratsanteil von 5 %, in allen anderen Forstämtern gibt es mindestens eine Kategorie mit mehr als 10 %.

In Bonn ist allerdings auch der Effekt einer Verdoppelung der Stichprobenzahl am stärksten. Durch die Verdoppelung wird die Fehlergrenze von 30 % eingehalten bis zu einer Marge von $30 \times \sqrt{2} = 42 \%$ in der Übersichtstabelle. Dieser Bereich ist dunkelgrau hinterlegt. Aus der Tabelle ist zu entnehmen, daß sich in Bonn der Vorratsanteil innerhalb der Toleranz um 40 % erhöht. In Münster und Minden dagegen nur um 10 % Vorratsanteil.

Beachtenswert ist auch das FA Schmallingenberg. Trotz der geringen Flächengröße des Forstamtes liegen schon im Testlauf 70 %, nach Verdichtung 90 % des Vorrates im Toleranzrahmen. Ein Blick in die Forstamtstabelle von Schmallingenberg zeigt, daß der Vorrat praktisch nur aus Buche und Fichte besteht und sich gleichzeitig auf die Stärkestufen 25 bis 45 konzentriert. Auf sechs stark besetzte Kategorien entfallen 70 % des Vorrates. Entsprechend günstig ist deren Fehler, trotz kleiner Forstamtsfläche.

(*) Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten / Landesamt für Agrarordnung NRW, Recklinghausen

FoA	BaPle-Gruppe	BHD-Stufe	Flm e.R.	Anteil am Vorrat in FA	Aufsummierter Vorrats-Anteil	Anteil am Wert in FA	Aufsummierter Wert-Anteil	Vorratsfehler %
16	Buche	35	107679	12,69	12,69	9,46	9,46	24,22
16	Fichte	35	120310	14,18	26,86	14,02	23,48	25,40
16	Buche	45	102225	12,04	38,91	14,49	37,97	26,48
16	Buche	25	72686	8,56	47,47	2,85	40,82	26,80
16	Fichte	45	129423	15,25	62,72	18,99	59,81	27,38
16	Fichte	25	70253	8,28	71,00	5,75	65,56	28,25
16	Buche	15	28733	3,39	74,38	0,39	65,96	32,98
16	Fichte	15	24485	2,88	77,27	0,92	66,88	38,88
16	Fichte	55	69519	8,19	85,46	10,93	77,81	39,03
16	Buche	55	44973	5,30	90,76	8,54	86,35	43,57
16	Fichte	65	23269	2,74	93,50	3,66	90,01	64,46
16	Buche	65	17742	2,09	95,59	3,63	93,63	71,15
16	ALH	35	4887	0,58	96,17	0,60	94,23	98,43
16	ALH	55	4025	0,47	96,64	1,15	95,38	140,72
16	Eiche	45	3321	0,39	97,03	0,54	95,92	143,48
16	ALH	25	1528	0,18	97,21	0,11	96,03	157,00
16	ALH	45	1883	0,22	97,44	0,40	96,43	165,91
16	ALN	15	381	0,04	97,48	0,00	96,43	213,48
16	Lärche	35	686	0,08	97,56	0,04	96,47	229,62
16	Eiche	55	3454	0,41	97,97	0,86	97,33	231,61
16	Eiche	35	1474	0,17	98,14	0,17	97,50	234,47
16	ALH	15	422	0,05	98,19	0,01	97,50	320,99
16	ALN	25	273	0,03	98,22	0,01	97,51	329,67
16			833629	98,22		97,51		
16	Buche	75	3532	0,42		0,72		
16	Lärche	75	2533	0,30		0,26		
16	Fichte	75	2401	0,28		0,38		
16	Douglasie	65	1963	0,23		0,29		
16	Eiche	75	1951	0,23		0,63		
16	Douglasie	45	851	0,10		0,13		
16	Douglasie	35	460	0,05		0,05		
16	Kiefer	25	351	0,04		0,01		
16	ALN	35	270	0,03		0,01		
16	Lärche	25	190	0,02		0,01		
16	Eiche	15	170	0,02		0,00		
16	Lärche	15	162	0,02		0,00		
16	Pappel	15	131	0,02		0,00		
16	Douglasie	15	56	0,01		0,00		
16	Kiefer	15	56	0,01		0,00		
16			15076	1,78		2,49		
16			848705	100,00		100,00		

Tabelle 1: Schmallenberg

In einer zweiten Variante wird das Raster auf 250 x 250 m verdichtet (Tabelle 5). Dadurch steigt die Stichprobenzahl auf das 4fache, der Fehler halbiert sich. Die Toleranzgrenze wird auf $30 \times \sqrt{4} = 60$ in der Übersichtstabelle erhöht.

Durch diese Verdichtung halten 5 Forstämter die Toleranz für 90 % des Vorrates ein. Die Forstämter Münster und Minden verbessern sich, bleiben aber Schlußlichter. Bis auf diese beiden Forstämter halten alle bis zu mindestens 70 % des Vorrates die Toleranzgrenze

von 30 % Fehler ein. Dafür sind 16 480 Stichproben aufzunehmen.

Durch die einheitliche Verdichtung ergeben sich für die Forstämter unterschiedliche Verbesserungseffekte. Im großen und vergleichsweise homogenen

BaPle-Gruppe	BHD-Stufe	Flm e.R.	Anteil am Vorrat in FA	Aufsummierter Vorrats-Anteil	Anteil am Wert in FA	Aufsummierter Wert-Anteil	Vorratsfehler (%)	
11	Pappel	35	39406	2,82	2,82	1,11	1,11	26,79
11	Buche	15	37457	2,68	5,51	0,28	1,39	28,15
11	ALH	15	36173	2,59	8,10	0,30	1,70	29,14
11	Eiche	45	69174	4,95	13,05	7,15	8,85	29,53
11	Eiche	55	71434	5,12	18,17	10,63	19,48	29,57
11	Eiche	35	51462	3,69	21,85	3,20	22,67	29,82
11	ALH	25	57722	4,13	25,99	1,81	24,49	31,14
11	Eiche	65	72951	5,23	31,22	13,37	37,85	31,31
11	Pappel	25	19469	1,39	32,61	0,24	38,10	31,84
11	Fichte	25	59788	4,28	36,89	2,79	40,89	32,23
11	Buche	25	49146	3,52	40,41	1,08	41,97	32,54
11	Pappel	45	41706	2,99	43,40	2,01	43,99	33,61
11	Fichte	35	72194	5,17	48,57	4,88	48,87	35,41
11	Fichte	15	23598	1,69	50,26	0,47	49,34	35,84
11	Eiche	15	11382	0,82	51,08	0,01	49,35	36,44
11	Kiefer	35	55489	3,97	55,05	1,78	51,13	37,05
11	ALH	35	39009	2,79	57,85	2,22	53,36	37,59
11	ALN	25	23347	1,67	59,52	0,46	53,82	41,91
11	Lärche	25	22064	1,58	61,10	0,40	54,22	42,53
11	Buche	45	45624	3,27	64,37	3,81	58,03	42,72
11	ALN	15	10335	0,74	65,11	0,02	58,06	43,95
11	ALH	45	23259	1,67	66,77	1,93	59,99	44,07
11	Eiche	25	21025	1,51	68,28	0,49	60,48	44,33
11	Buche	35	32034	2,29	70,57	1,63	62,10	44,37
11	Buche	65	33850	2,42	73,00	4,02	66,12	47,00
11	Eiche	75	31580	2,26	75,26	5,89	72,01	47,28
11	Kiefer	45	32037	2,29	77,56	1,55	73,56	47,28
11	ALN	35	19754	1,41	78,97	0,77	74,33	47,61
11	Kiefer	25	23769	1,70	80,67	0,39	74,72	51,01
11	Kiefer	15	6346	0,45	81,13	0,00	74,72	54,70
11	Fichte	45	33574	2,40	83,53	2,84	77,56	55,10
11	Buche	75	32900	2,36	85,89	3,90	81,47	55,76
11	Lärche	35	14514	1,04	86,93	0,47	81,94	57,53
11	Pappel	15	2501	0,18	87,11	0,00	81,94	59,16
11	Pappel	55	17399	1,25	88,35	1,22	83,16	62,62
11	Lärche	15	6080	0,44	88,79	0,00	83,16	64,41
11	Buche	55	20312	1,45	90,24	2,22	85,38	70,05
11	ALH	55	15639	1,12	91,36	2,18	87,55	70,52
11	ALH	65	10979	0,79	92,15	1,96	89,52	79,24
11	ALN	45	7213	0,52	92,67	0,37	89,89	82,30
11	Douglasie	15	906	0,06	92,73	0,02	89,91	91,71
11	Kiefer	55	11055	0,79	93,52	0,70	90,61	93,68
11	Eiche	95	10931	0,78	94,31	2,04	92,65	94,33
11	Douglasie	25	4617	0,33	94,64	0,19	92,84	96,06
11	Fichte	55	12489	0,89	95,53	1,14	93,98	96,25
11	Buche	85	9191	0,66	96,19	1,09	95,07	116,80
11	Lärche	45	3573	0,26	96,45	0,16	95,23	123,33
11	Douglasie	35	4335	0,31	96,76	0,28	95,51	126,49
11	ALN	55	2336	0,17	96,93	0,14	95,66	146,84
11	Douglasie	45	2607	0,19	97,11	0,21	95,87	165,99
11	Fichte	65	3527	0,25	97,36	0,32	96,19	209,34
11			1359265	97,36		96,19		
11	Buche	115	10446	0,75		1,24		
11	Buche	95	6205	0,44		0,74		
11	Pappel	105	5039	0,36		0,37		
11	ALH	85	4850	0,35		0,86		
11	ALH	75	4158	0,30		0,18		
11	Pappel	75	1983	0,14		0,15		
11	Pappel	65	1893	0,14		0,14		
11	Kiefer	65	1113	0,08		0,07		
11	Lärche	55	1106	0,08		0,06		
11			36794	2,64		3,81		
11			1396059	100,00		100,00		

Tabelle 2: Bonn

FA Hürtgenwald ergibt sich durch viele zusätzliche Stichproben nur ein geringer Verbesserungseffekt. Wie schon beschrieben, ist dies im FA Bonn völlig anders zu bewerten. Deshalb wird in einer dritten Variante forstamtsweise unterschiedlich verdichtet: in 4 Forstämtern wird gar nicht verdichtet (Faktor = 1), in Minden und Münster wird die Stichprobenzahl hingegen verachtfacht (Tabelle 6). Durch dieses Vorgehen ergeben sich durchgehend Vorratsanteile von 70 % bzw. 80 % innerhalb der Toleranz. Dafür sind insgesamt 10820 Stichproben erforderlich.

4. Diskussion

Auf den ersten Blick erscheint die dritte Variante besonders effektiv. Es wird der Verdichtungsaufwand bei den homogenen Forstämtern eingespart.

Die Analyse stützt sich auf Zustandsdaten. Ziel ist aber, für die Bilanzierung sogar vorrangig, die Veränderung zu erfassen. Für eine Fehlerbetrachtung der Veränderung fehlt aber jede Datenbasis. Diese wird sich erst im Zuge der ersten Wiederholungsinventur ergeben. Aufgrund von „Wald 2000“ ist aber zu erwarten, daß sich in den homogenen Forstämtern mittelfristig die stärksten Strukturveränderungen ergeben. Es besteht daher die Gefahr, für eine gesicherte Erfassung der Veränderung in den homogenen Forstämtern zu wenige Stichproben anzulegen.

Ein weiterer Aspekt: die Optimierung der Rasterdichte erfolgt nur für den Vorrat in den vorgegebenen Kategorien.

Bei anderen Variablen, die anders räumlich strukturiert sind, wird eine andere Verdichtung vorteilhafter sein. Hierzu sei ein Beispiel im Vergleich der beiden auffälligen Forstämter Bonn und Schmallenberg angeführt. Wäre eine analoge Auswertung gefordert, den Vorrat nicht nach BePla-Gruppen, sondern für Fragen der Rücketechnik nach Hangneigungsstufen zu gruppieren, wäre die Stichprobendichte in Schmallenberg wegen des gegliederten Geländes viel zu gering, während sie für die fast durchweg ebenen Standorte in Bonn selbst ohne Verdichtung mehr als ausreichend wäre.

Ein dritter Aspekt bezieht sich auf forstamtsübergreifende Auswertungen. Bei unterschiedlichen Rastern in den Forstämtern müssen die Stichproben gewichtet werden entsprechend ihrer Repräsentationsfläche. Dies ist zwar kein grundsätzlicher Ausschluß für landesweite Auswertungen, erschwert sie aber z.T. erheblich.

Die im vorliegenden Bericht durchgeführten Analysen beziehen sich auf die von GMO vorgeschlagene Matrix. Diese resultiert aus dem üblichen Vorgehen bei Inventuren in der gewerblichen Wirtschaft. Dort wird der Bestand jedes einzelnen Artikels ermittelt, bewertet und für den Betrieb aufsummiert. Ziel der Inventur ist eigentlich nicht der einzelne Artikel, sondern der Gesamtbetrieb.

Zurück zum Wald. Ist eine Angabe zum Gesamtbetrieb das Ziel der Auswertung der Stichprobeninventur, so ergeben sich drastisch niedrigere Fehler-

raten. Für den Gesamtvorrat in einem 10.000 ha großen Forstamt errechnet sich bei der Stichprobendichte des Testlaufes ein Fehler von ca. 5 %. Wichtig ist, daß direkt das Forstamtsergebnis berechnet wird, d.h. die Auswertung läuft nicht über die Zwischenstufe der in diesem Bericht verwendeten Kategorien und deren anschließende Summierung.

Es mag eingewendet werden, daß sich der Gesamtvorrat eines Forstamtes wegen der Heterogenität der vorhandenen Sorten nicht bewerten läßt. Dieses Problem läßt sich dadurch umgehen, daß nicht der Gesamtvorrat mit einem durchschnittlichen Wert belegt wird, sondern jedes einzelne Stichprobenelement, nämlich der Einzelbaum, bewertet wird, und analog zum Vorrat zu einem Wert auf Forstamtsniveau hochgerechnet wird. Abgesehen von der Problematik des anzusetzenden Wertes ergeben sich Fehlerwerte wie beim Vorrat.

5. Folgerung

Die Erfassung des besonders starken und wertvollen Holzes ist in einer Stichprobeninventur mit der geforderten Genauigkeit nicht möglich. Es empfiehlt sich eine Vollerhebung analog zum Vorgehen im Forstamt Erdmannshausen. Eine Abgrenzung hinsichtlich Baumarten und BHD-Stufen ist erforderlich.

Für eine im Vergleich zum Testlauf genauere Erfassung des übrigen Vorrates ist eine Verdichtung des Stichprobenrasters erforderlich. Grundsätzlich besteht

Übersichtstabelle

FA	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Kleve	-	16	29	32	39	43	55	61	73
Wesel	24	24	29	34	35	47	57	63	69
Hürtgenwald	-	10	10	13	16	27	29	32	50
Bergisch Gladbach	25	25	32	38	46	50	56	60	97
Schleiden	-	18	18	24	30	33	35	44	62
Bonn	28	30	31	32	35	38	44	48	64
Eitorf	-	16	16	22	31	39	43	55	86
Hilchenbach	-	18	18	21	22	31	32	35	62
Schmallenberg	-	24	25	26	27	27	28	39	39
Attendorn	-	-	15	15	17	17	34	42	56
Lennestadt	-	-	27	27	32	32	43	62	94
Arnsberg	-	17	17	21	24	30	33	36	62
Münster	-	29	42	56	60	63	73	77	112
Paderborn	-	17	19	20	20	22	22	26	49
Bad Driburg	17	18	18	19	22	22	23	38	45
Minden	29	29	34	44	59	60	68	78	95

Tabelle 3: Maximaler Vorratsfehler einer Kategorie (10er BHD-Stufe* BePla-Gruppe) bis zu einem Vorratsanteil von ...%

die Möglichkeit, entweder landesweit einheitlich oder forstamtsweise unterschiedlich zu verdichten. Eine differenzierte Verdichtung optimiert die Erfassung der derzeitigen Vorratsstruktur in der vorgeschlagenen Kategorisierung. Es überwiegen jedoch die Nachteile im Hinblick auf eine Erfassung der zu erwartenden Strukturveränderungen und im Hinblick auf andere Fragestellungen.

Die Daten des Testlaufes wurden so aufbereitet, daß eine übersichtliche Grundlage zur Verfügung steht, mit der leicht unterschiedliche Verdichtungsvarianten verglichen werden können. Für eine Verdoppelung bzw. Vervielfachung wird das Ergebnis vorgestellt. Welche Verdichtung zum Tragen kommt, ist letztlich eine Entscheidung der Landesforstverwaltung unter Berücksichtigung des Aufwandes.

Variante einheitlich 500* 250m

FaA	n	STP	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	Faktor	Anzahl
Kleve	241	-	16	29	32	39	43	55	61	73	-	2	482
Wesel	204	24	24	29	34	35	47	57	63	69	-	2	408
Hürtgenwald	509	-	10	10	13	16	27	29	32	50	-	2	1018
Bergisch Gladbach	209	25	25	32	38	46	50	56	60	97	-	2	418
Schleiden	279	-	18	18	24	30	33	35	44	62	-	2	558
Bonn	351	28	30	31	32	35	38	44	48	64	-	2	702
Eitorf	289	-	16	16	22	31	39	43	55	86	-	2	578
Hilchenbach	223	-	18	18	21	22	31	32	35	62	-	2	446
Schmallenberg	147	-	24	25	26	27	27	28	39	39	-	2	294
Attendorn	220	-	-	15	15	17	17	34	42	56	-	2	440
Lennestadt	82	-	-	27	27	32	32	43	62	94	-	2	164
Arnsberg	352	-	17	17	21	24	30	33	36	62	-	2	704
Münster	97	-	29	42	56	60	63	73	77	112	-	2	194
Paderborn	384	-	17	19	20	20	22	22	26	49	-	2	792
Bad Driburg	404	17	18	18	19	22	22	23	38	45	-	2	808
Minden	117	29	29	34	44	59	60	68	78	95	-	2	234
Summe	4120												8240

Tabelle 4: Maximaler Vorratsfehler einer Kategorie (10er BHD-Stufe* BePla-Gruppe) bis zu einem Vorratsanteil von ...%

Variante einheitlich 250* 250m												
FA	n STP	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	Faktor	Anzahl
Kleve	241	-	16	29	32	39	43	55	61	73	4	964
Wesel	204	24	24	29	34	35	47	57	63	69	4	816
Hürtgenwald	509	-	10	10	13	16	27	29	32	50	4	2036
Bergisch Gladbach	209	25	25	32	38	46	50	56	60	97	4	836
Schleiden	279	-	18	18	24	30	33	35	44	62	4	1116
Bonn	351	28	30	31	32	35	38	44	48	64	4	1404
Eitorf	289	-	16	16	22	31	39	43	55	86	4	1156
Hilchenbach	223	-	18	18	21	22	31	32	35	62	4	892
Schmallenberg	147	-	24	25	26	27	27	28	39	39	4	588
Attendorn	220	-	-	15	15	17	17	34	42	56	4	880
Lennestadt	82	-	-	27	27	32	32	43	62	94	4	328
Arnsberg	352	-	17	17	21	24	30	33	36	62	4	1408
Münster	97	-	29	42	56	60	63	73	77	112	4	388
Paderborn	396	-	17	19	20	20	22	22	26	49	4	1584
Bad Driburg	404	17	18	18	19	22	22	23	38	45	4	1616
Minden	117	29	29	34	44	59	60	68	78	95	4	468
Summe	4120											16480

Tabelle 5: Maximaler Vorratsfehler einer Kategorie (10er BHD-Stufe* BePla-Gruppe) bis zu einem Vorratsanteil von ...%

Forstamtsweise differenziertes Raster												
FA	n STP	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	Faktor	Anzahl
Kleve	241	-	16	29	32	39	43	55	61	73	4	964
Wesel	204	24	24	29	34	35	47	57	63	69	4	816
Hürtgenwald	509	-	10	10	13	16	27	29	32	50	1	509
Bergisch Gladbach	209	25	25	32	38	46	50	56	60	97	4	836
Schleiden	279	-	18	18	24	30	33	35	44	62	2	558
Bonn	351	28	30	31	32	35	38	44	48	64	4	1404
Eitorf	289	-	16	16	22	31	39	43	55	86	4	1156
Hilchenbach	223	-	18	18	21	22	31	32	35	62	2	446
Schmallenberg	147	-	24	25	26	27	27	28	39	39	1	147
Attendorn	220	-	-	15	15	17	17	34	42	56	2	440
Lennestadt	82	-	-	27	27	32	32	43	62	94	4	328
Arnsberg	352	-	17	17	21	24	30	33	36	62	2	704
Münster	97	-	29	42	56	60	63	73	77	112	8	776
Paderborn	396	-	17	19	20	20	22	22	26	49	1	396
Bad Driburg	404	17	18	18	19	22	22	23	38	45	1	404
Minden	117	29	29	34	44	59	60	68	78	95	8	936
Summe	4120											10820

Tabelle 6: Maximaler Vorratsfehler einer Kategorie (10er BHD-Stufe* BePla-Gruppe) bis zu einem Vorratsanteil von ...%

Anwendungsergebnisse des Testlaufes zur LWI im Staatswald

Günter Spelsberg (*)

1. Berechnungen

Die Berechnungen erfolgten mit dem Programm der Betriebsinventur Baden-Württemberg, das freundlicherweise von der Forstlichen Versuchsanstalt zur Verfügung gestellt wurde. Die wesentlichen Berechnungsschritte waren:

- Umfangreiche Plausibilitätsprüfungen
- Gewichtung der Probebäume in unvollständigen Probekreisen (von Waldaußengrenzen geschnittene Stichproben)
- Höhenschätzung pro Baum aus Einheitshöhenkurven mit Einhängung anhand der Höhenmeßbäume
- Berücksichtigung landesspezifischer Schaffformverhältnisse, abgeleitet aus den Landesdaten der Bundeswaldinventur
- Voluminierung und Sortierung mit dem Unterprogramm BDAT

2. Auswertungen

Die Standardauswertungen wurden ebenfalls mit dem Programm der Betriebsinventur durchgeführt.

Die Eckpunkte dabei waren:

- Baumartenzusammenfassung nach den neun BePla-Baumartengruppen
- Zuordnung der Bäume zu den üblichen Altersklassen

- Gesamtfläche der Auswerteeinheiten aus der Stichprobe (25 ha x Anzahl Stichproben): Die Auswertungen beziehen sich auf diese Gesamtfläche; eine Korrektur auf die Holzbodenfläche der Forsteinrichtung ist grundsätzlich möglich, aber hier nicht erfolgt
- Dendrometrische Kennwerte für den Hauptbestand
- Gesamtvorrat einschließlich Nebenbestand
- Angabe des absoluten Standardfehlers für die Fläche und den Vorrat je ha
- Vorratsgliederung nach BHD-Stufen und Sortimenten
- Mittenstärkensortierung nach Standardvorgaben der Betriebsinventur Baden-Württemberg

Diese Ergebnisübersichten wurden jeweils erstellt für:

- Den Staatswald insgesamt (einschl. Sondervermögen und kw-Wald)
- Den Staatswald nach Landesteilen (Bewirtschaftszuständigkeit, einschl. Sondervermögen und kw-Wald)
- 16 staatswaldbewirtschaftende Forstämter (ohne Sondervermögen, ohne sog. kw-Wald).

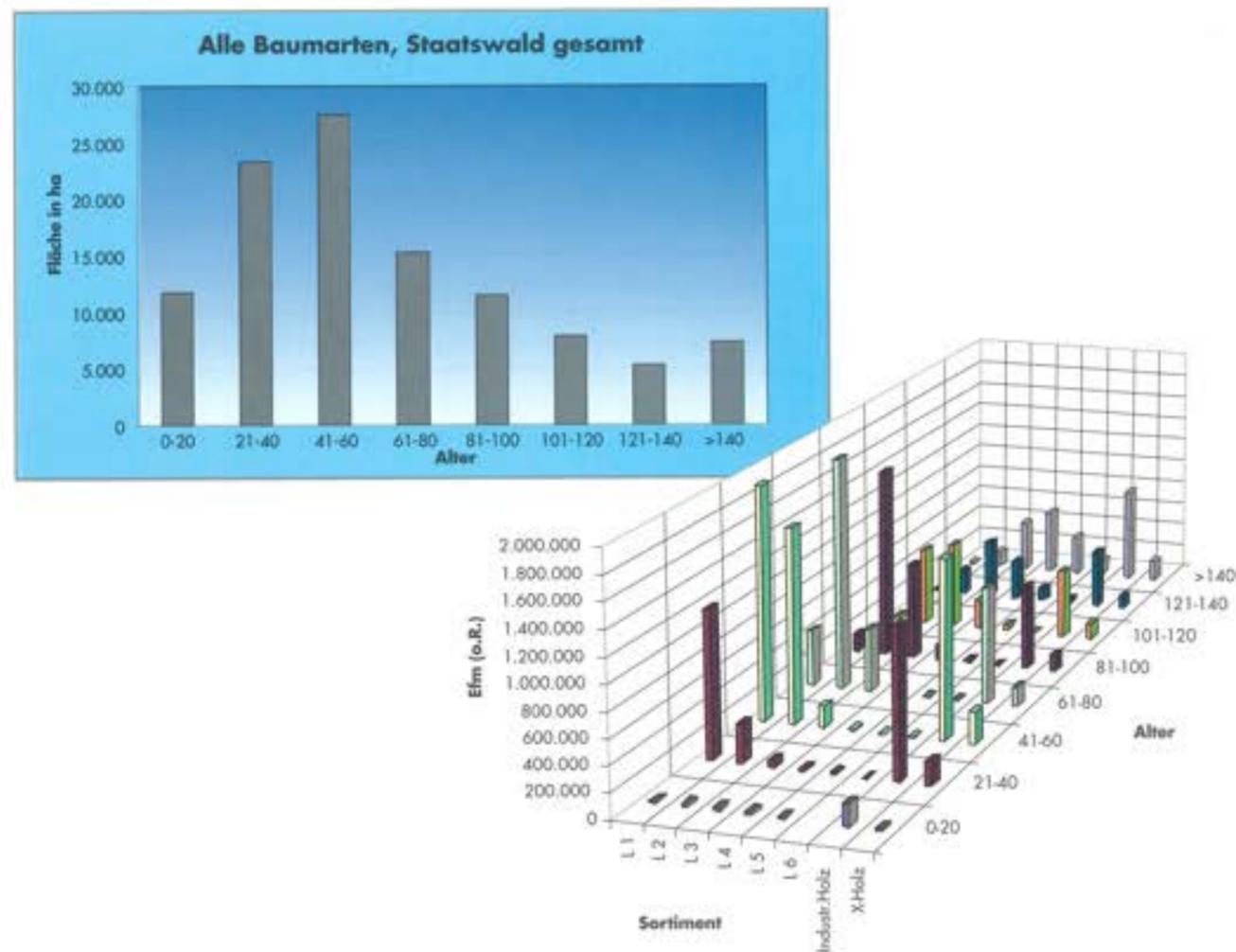
Aus Raumgründen werden nachstehend nur die Ergebnisse für den Staatswald insgesamt abgedruckt.

3. Ergebnisdarstellung

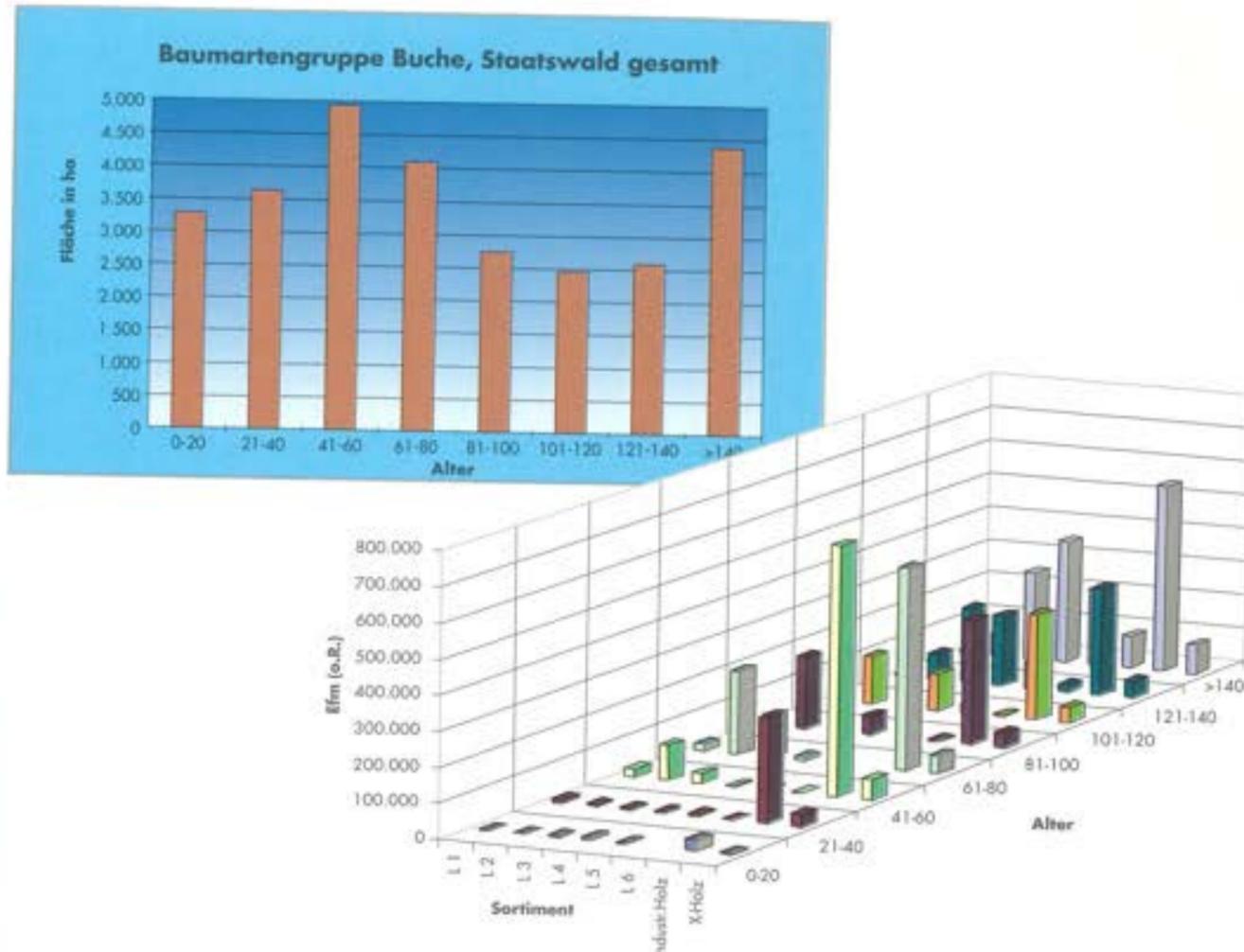
Aus den Standardtabellen wurden die wichtigsten Ergebnisse ausgewählt und zu einer einseitigen Ergebnisübersicht pro Baumartengruppe zusammengefaßt. Die Tabelle wird ergänzt durch zwei Grafiken zur Altersstruktur der Fläche und zur Altersstruktur der Vorräte nach Sortimenten.

Ergänzend zu den Einzelergebnissen der neun Baumartengruppen faßt eine Gesamtübersicht alle Baumarten zusammen.

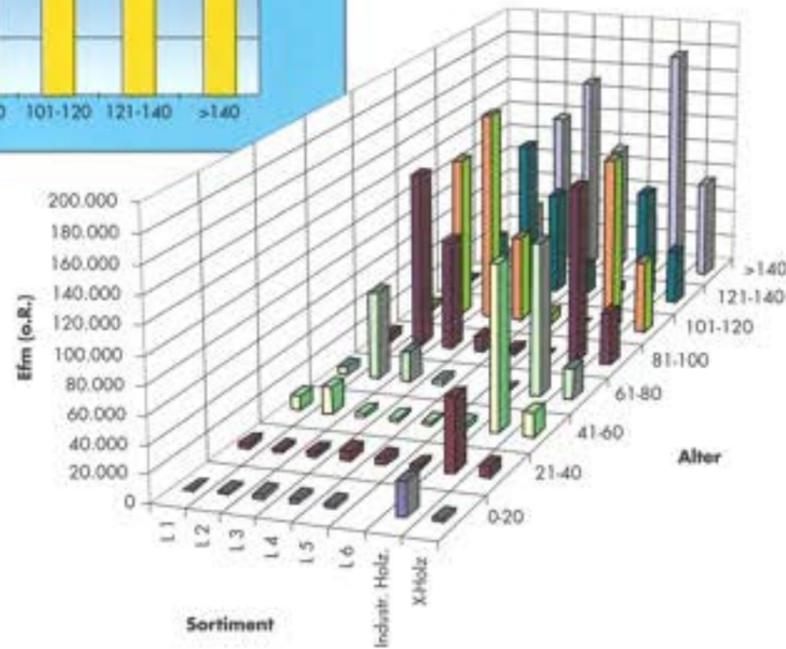
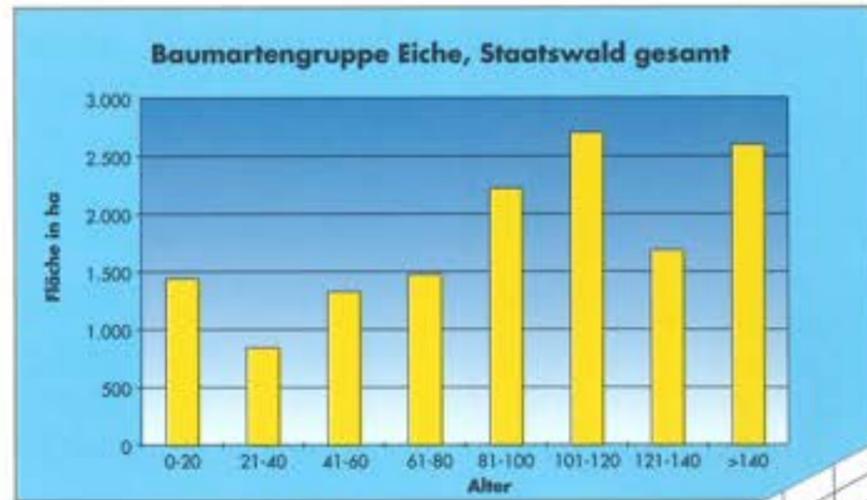
(*) Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten / Landesamt für Agrarordnung NRW, Recklinghausen



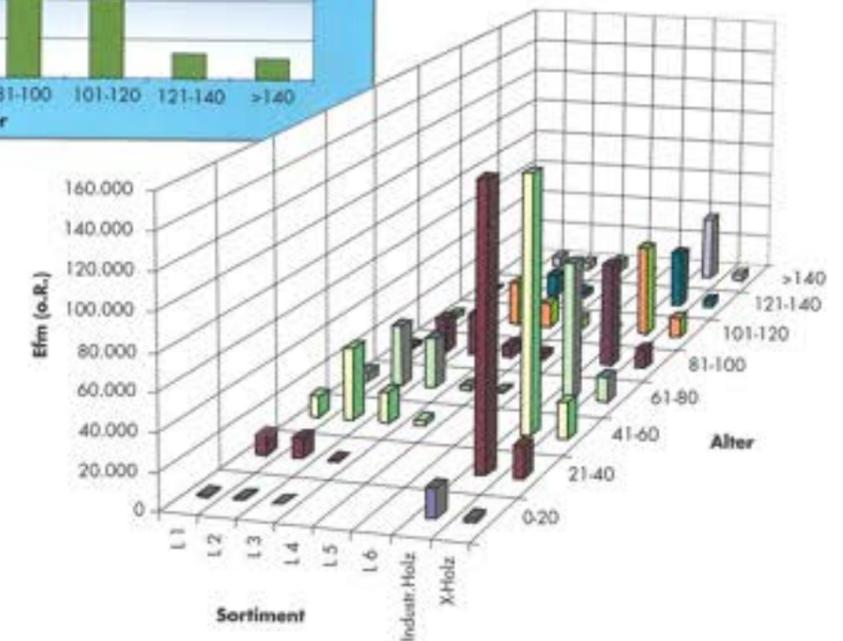
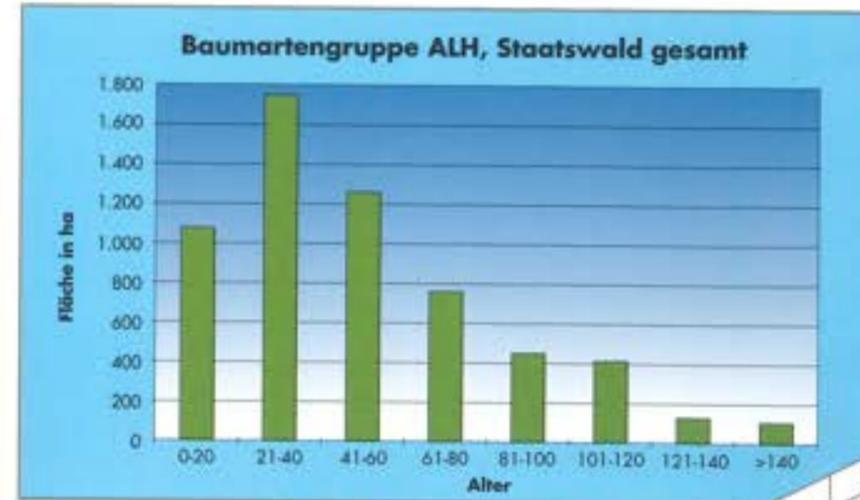
Alle Baumarten	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	
Fläche (ha)	11.744,5	23.308,6	27.477,9	15.265,5	11.471,4	7.894,0	5.278,8	7.359,4	109.800,1
Fehler (+ha)	744,9	677,5	717,7	573,2	506,8	428	354,4	414,3	
Vorrat Vfm m. R.	391.364	3.983.024	708.885	5.220.421	4.506.402	3.066.917	2.205.382	3.161.236	23.243.631
Vorrat Vfm/ha	37	162	250	333	380	371	402	410	259
Fehler (+ Vfm/ha)		3	3	5	7	8	10	9	2
Alter									
m. BHD (cm)									
m. Höhe (m)									
G/ha (ms)	9,5	23,1	28,2	31,4	32,6	29,5	29,5	28,4	25,7
Bäume je ha	13.511	1.234	642	418	302	224	170	130	1.251
L 1	14.230	1.179.146	1.888.844	455.846	144.935	44.098	11.475	10.424	3.748.999
L 2	27.106	318.081	1.579.580	1.893.847	1.561.259	644.013	206.845	127.460	6.358.188
L 3	26.168	59.726	175.899	516.575	793.193	712.524	489.413	421.455	3.194.954
L 4	24.216	24.033	15.822	42.849	126.153	241.935	330.308	543.485	1.348.800
L 5	9.211	17.444	5.031	3.555	18.059	45.399	109.155	327.966	535.817
L 6		4.246	9.181	887	3.923	6.126	27.441	137.592	189.395
Industr.Holz	170.061	1.192.191	1.436.639	949.645	695.792	564.393	479.361	794.776	6.282.859
X-Holz	19.202	189.978	262.192	159.306	138.146	127.698	100.653	169.125	1.166.304
Vorrat (Efm o.R.)	290.194	2.984.845	5.373.188	4.022.510	3.481.460	2.386.186	1.754.651	2.532.283	22.825.316



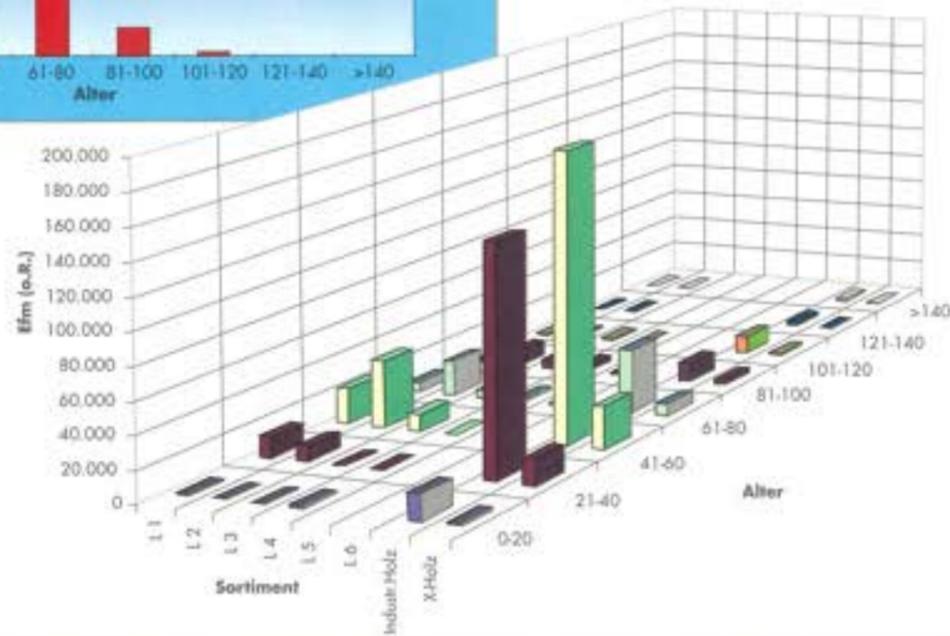
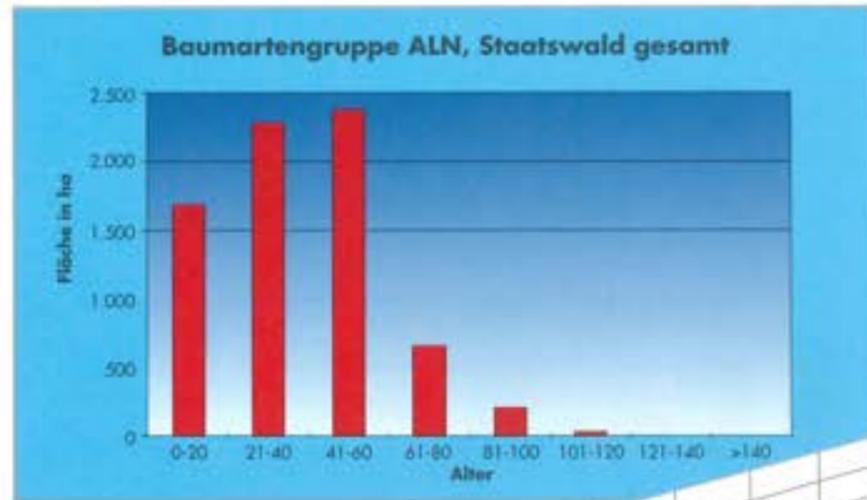
Baumartengruppe Buche	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	
Fläche (ha)	3.269,3	3.630,6	4.941,4	4.086,5	2.751,9	2.458,4	2.589,8	4.368,7	28.096,6
Fehler (+ha)	401,1	296,2	343,5	313,6	259	245,1	251,4	323,8	723
Vorrat Vfm m. R.	68.346	434.861	1.090.262	1.212.886	1.041.625	1.055.362	1.155.424	1.967.230	8.025.996
Vorrat Vfm/ha	19	104	206	277	350	394	430	431	266
Fehler (+ Vfm/ha)		5	5	6	9	11	14	12	3
Alter	33	50	70	90	109	131	158		
m. BHD (cm)		13,2	19,3	26,1	33,5	41,1	47	52,8	
m. H*he (m)		14,1	18,2	22,4	25	27,8	29,6	29,8	
G/ha (ms)		18,5	24,4	25,8	28,3	28,5	29,4	29,1	23,3
Bäume je ha		2.341	881	491	321	215	170	133	
L 1	633	10.366	23.741	19.709	9.399	9.402	4.075	6.533	83.856
L 2	919	6.336	99.685	240.135	210.126	140.772	76.757	66.818	841.549
L 3	2.910	5.490	28.694	120.090	186.282	245.905	220.461	259.901	1.069.734
L 4	9.861	6.114	2.991	10.660	55.957	105.994	206.871	362.273	760.722
L 5	4.688	7.214	2.019	1.453	6.568	27.668	79.876	227.406	356.892
L 6		2.054	3.081		3.028	4.607	20.370	96.606	129.746
Industr.Holz	32.129	295.905	712.236	580.204	360.332	307.515	316.469	554.150	3.158.940
X-Holz	3.453	35.111	59.207	51.752	42.512	45.115	50.111	88.154	375.416
Vorrat (Efm o.R.)	54.593	368.590	931.654	1.024.003	874.204	886.978	974.990	1.661.841	6.776.855



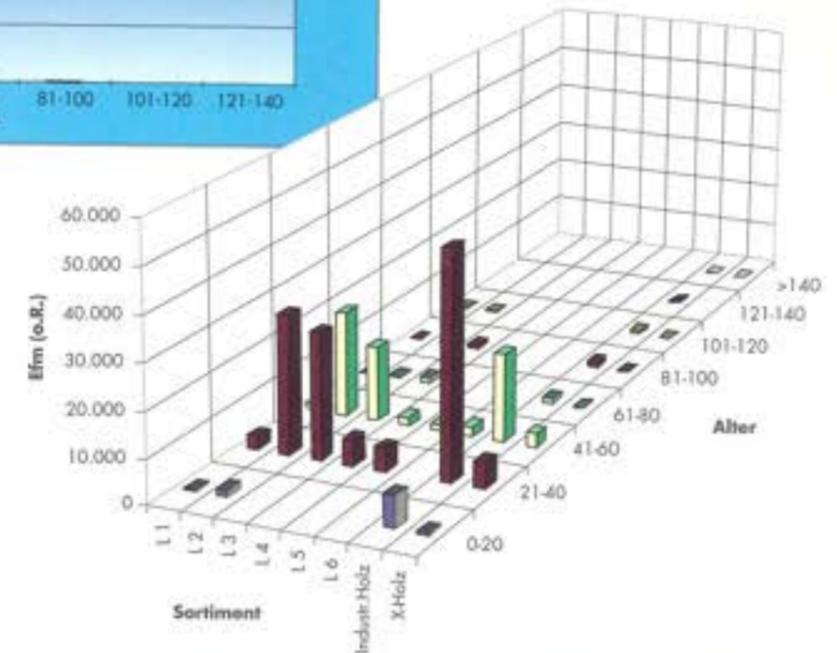
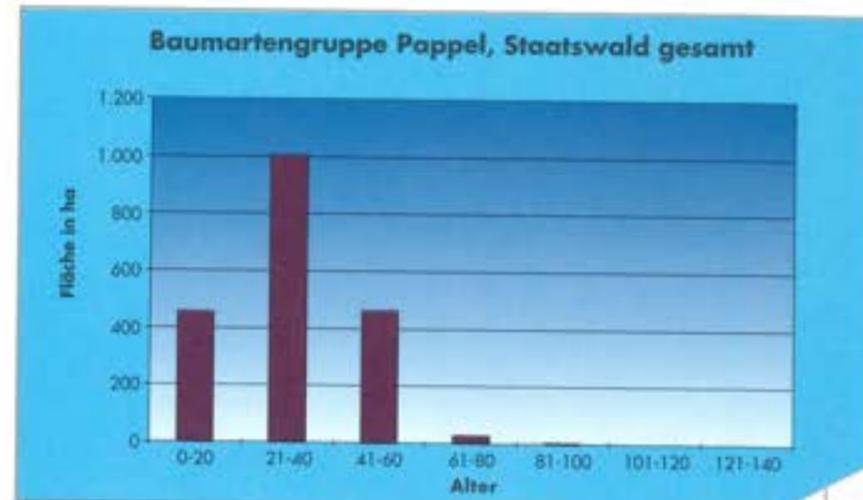
Baumartengruppe Eiche									
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Fläche (ha)	1.436,2	839,7	1.320,4	1.471,0	2.219,1	2.706,1	1.680,7	2.595,4	14.268,6
Fehler (± ha)	267	144,3	180,6	190,5	233,1	256,9	203,4	251,7	557,1
Vorrat Vfm m. R.	51.280	119.565	257.053	332.217	582.846	779.814	547.870	985.233	3.655.879
Vorrat Vfm/ha	33	83	171	220	255	285	324	377	245
Fehler (± Vfm/ha)		7	5	7	7	8	13	11	3
Alter	30	51	71	92	110	130	164		
m. BHD (cm)		13,7	20,1	26,2	33,3	38,9	47,2	53	
m. H'he (m)		13,5	17	19,3	21,6	23,8	26,3	27,2	
G/ha (mcs)		14,8	21,4	23,1	23,3	23,6	24,4	26,6	21,5
Bäume je ha		1978	675	427	268	199	140	121	
L 1	42	3.514	10.367	5.689	5.511	4.076	1.579	508	31.286
L 2	1.752	2.226	19.958	64.521	131.813	123.119	38.710	41.808	423.906
L 3	2.901	3.269	3.368	21.746	82.497	160.720	115.910	120.351	510.762
L 4	2.769	6.676	2.452	3.596	11.287	65.774	78.492	152.920	323.965
L 5	2.263	5.023	1.849		3.942	6.869	22.975	97.063	139.984
L 6		2.192	3.891	887	895	549	5.798	38.818	53.029
Industr. Holz	24.248	52.962	121.209	113.228	132.710	133.071	86.175	180.057	843.660
X-Holz	2.376	7.873	17.660	22.735	39.676	55.197	40.633	75.525	261.675
Vorrat (Efm o.R.)	36.351	83.735	180.754	232.402	408.331	549.375	390.272	707.050	2.588.267



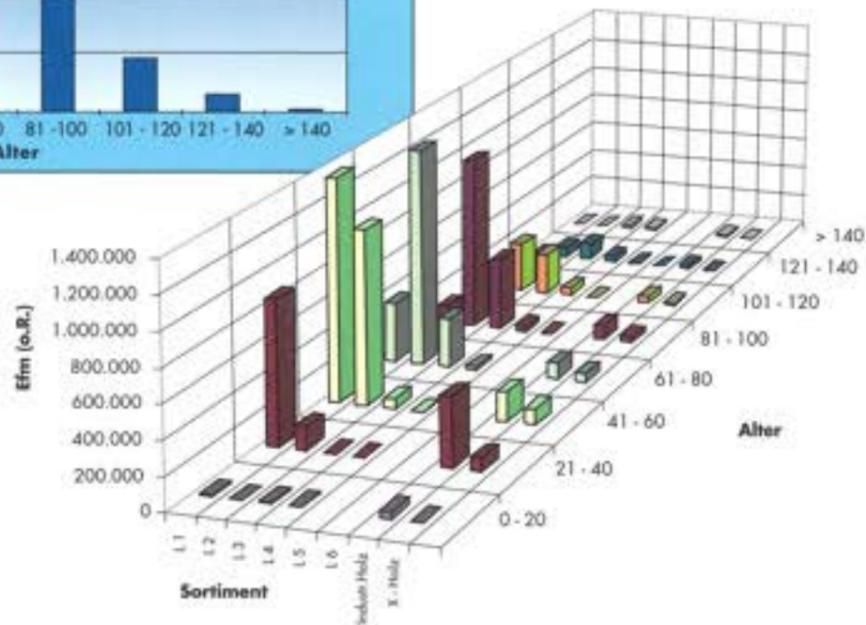
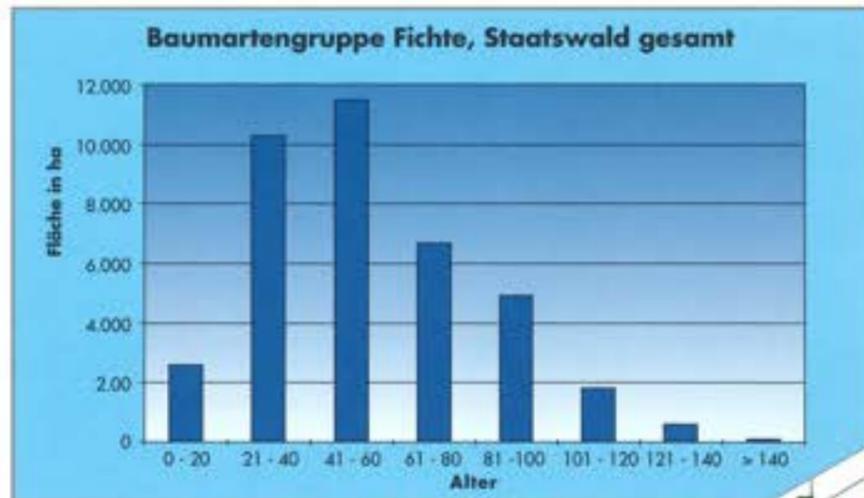
Baumartengruppe ALH									
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Fläche (ha)	1.075,1	1.745,0	1.255,6	756,5	448,7	408,8	126,6	106,1	5.922,4
Fehler (± ha)	231	207,2	176,2	137,1	105,7	100,9	56,2	51,5	374,3
Vorrat Vfm m. R.	24.438	240.487	296.194	207.434	160.709	167.454	76.333	78.344	1.251.394
Vorrat Vfm/ha	37	135	210	246	293	336	353	303	177
Fehler (± Vfm/ha)		6	7	11	16	20	30	39	3
Alter		32	49	71	92	110	130	157	
m. BHD (cm)		15,2	22,3	27	32,8	39,4	44,6	47,6	
m. H'he (m)		16,1	19,4	22,4	24	28,2	27,9	27,5	
G/ha (mcs)		20	22,5	22,9	24,6	25	26,2	20,7	18,8
Bäume je ha		1.242	732	433	292	216	168	116	2.427
L 1	813	10.847	11.357	5.685	2.208	2.664	762	1.983	36.320
L 2	923	10.770	39.918	33.525	19.626	18.686	6.111	6.557	136.115
L 3	136	647	17.072	28.083	24.113	25.328	12.922	4.542	112.843
L 4			3.210	2.706	6.773	14.172	4.049	6.440	37.349
L 5				856	3.861	5.828		614	11.158
L 6					970			1.064	2.034
Industr. Holz	15.380	153.149	141.714	76.724	58.721	52.230	32.630	38.424	568.972
X-Holz	1.917	17.439	19.791	14.162	10.764	11.252	4.257	3.794	83.376
Vorrat (Efm o.R.)	19.169	192.852	233.062	161.741	126.066	131.130	60.731	63.418	988.167



Baumartengruppe ALN									
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Fläche (ha)	1.686,7	2.278,9	2.375,5	656,8	208	32,3	2,5	1,4	7.242,1
Fehler (+ ha)	289,2	236,2	241	127,8	72	28,4	7,9	6	411,2
Vorrat Vfm m. R.	28.737	250.573	384.952	119.232	51.693	21.238	5.410	2.606	864.441
Vorrat Vfm/ha	25	106	156	168	222	404	287	212	111
Fehler (+ Vfm/ha)		4	4	9	20	105	3		2
Alter									
m. BHD (cm)									
m. Höhe (m)									
G/ha (mc)									
Bäume je ha									
L 1	1.105	13.295	22.219	6.420	1.731	889	318	91	46.068
L 2	609	9.560	41.753	22.019	9.770	779	413	134	85.037
L 3	231	558	10.432	5.279	5.582	1.348			23.430
L 4	1.462	267	237	2.023	3.039	720			7.747
L 5				1.246	1.047				2.293
L 6									
Industr.Holz	16.082	142.475	181.426	40.296	12.122	11.047	2.955	1.608	408.011
X-Holz	1.649	16.264	26.620	7.665	3.477	1.606	424	103	57.808
Vorrat (Efm o.R.)	21.138	182.419	282.687	84.948	36.768	16.389	4.110	1.936	630.394

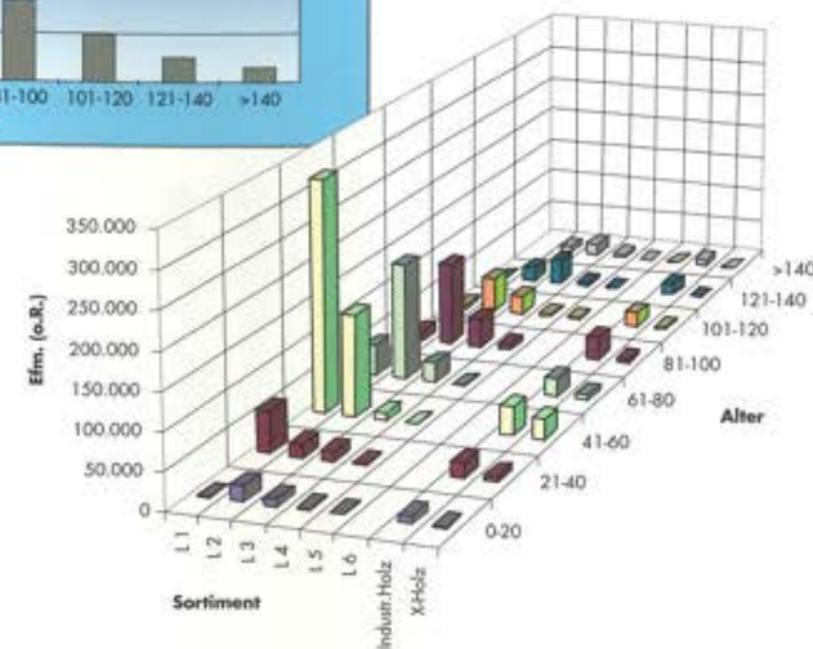
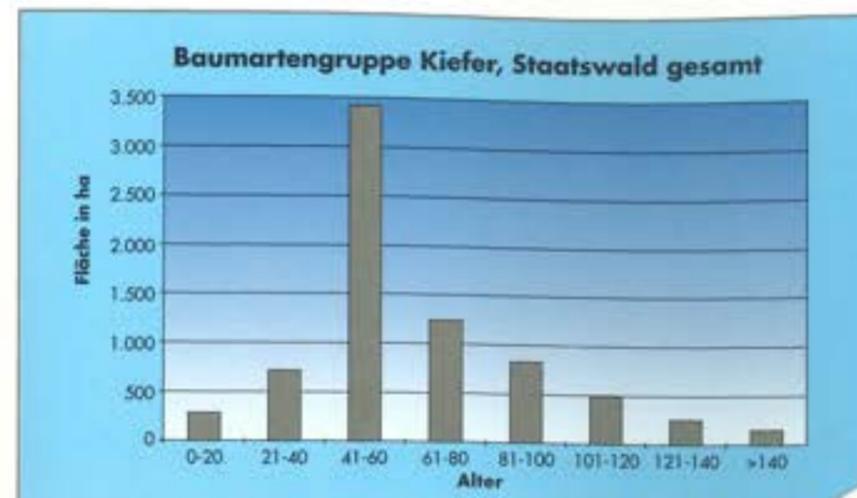


Baumartengruppe Pappel									
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Fläche (ha)	455,6	1.007,2	461,6	29,7	3,3	1,2			1.958,4
Fehler (+ ha)	150,8	158	107,2	27,2	9	5,4			219,3
Vorrat Vfm m. R.	13.138	177.407	95.192	4.239	3.322	1.779	398	152	295.625
Vorrat Vfm/ha	57	163	202	113	351	408			141
Fehler (+ Vfm/ha)		13	47	44					13
Alter									
m. BHD (cm)									
m. Höhe (m)									
G/ha (mc)									
Bäume je ha									
L 1		374	2.791	1.046	85	49	53		4.398
L 2		1.481	30.669	23.285	542	159	264		56.399
L 3			27.821	16.546	1.069	755			46.191
L 4			5.671	1.822					7.493
L 5			5.207	1.163					6.370
L 6				2.209					2.209
Industr.Holz	7.042	50.300	19.666	962	1.208	781	279	97	80.335
X-Holz	605	5.869	3.023	254	187	123		8	10.069
Vorrat (Efm o.R.)	9.502	128.328	68.760	2.912	2.358	1.221	279	105	213.464



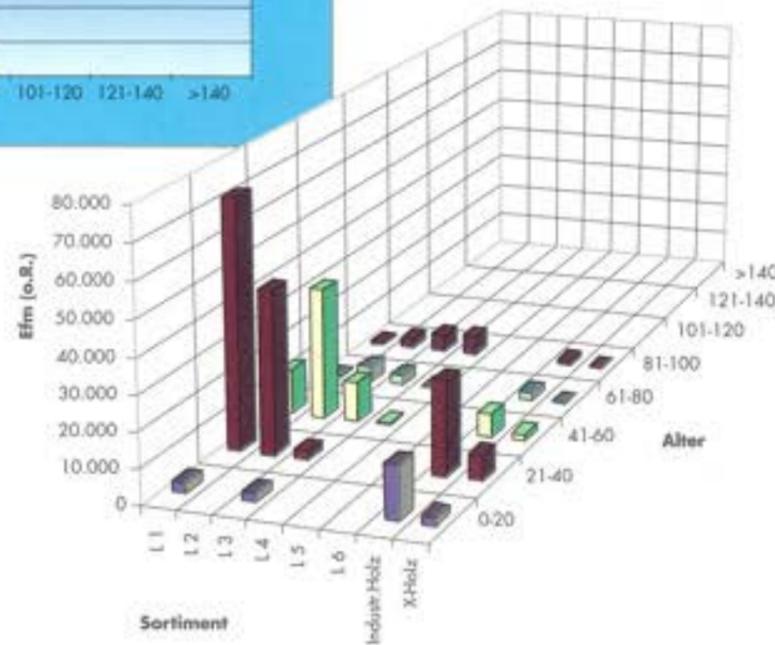
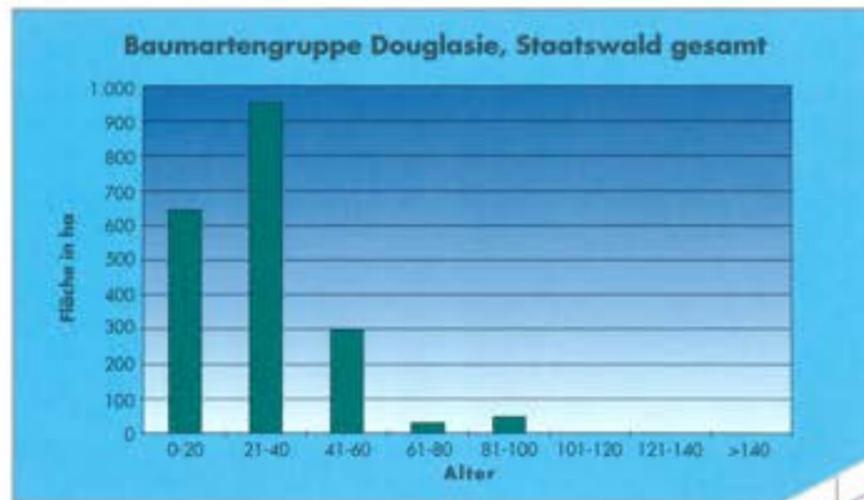
Baumartengruppe Fichte

Alter	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 140	> 140	
Fläche (ha)	2.579,6	10.278,6	11.462,5	6.665,6	4.901,7	1.788,0	590,2	107,3	38.373,5
Fehler (± ha)	356,5	482,6	506,6	395,6	342,2	209,7	121,1	51,8	790
Vorrat Vfm m. R.	91.657	2.022.155	3.678.864	2.877.630	2.346.241	900.521	308.714	64.439	12.290.221
Vorrat Vfm/ha	47	194	317	429	476	501	517	549	317
Fehler (± Vfm/ha)	4	5	8	10	18	25	62	3	3
Alter	32	48	70	90	109	127	154	154	
m. BHD (cm)	18	26,3	36,3	40,3	43,8	48,6	50,4	50,4	
m. Höhe (m)	15	20,2	25,8	28,9	30,4	31,2	32,3	32,3	
G/ha (ms)		27,5	34,9	39,6	40,4	41,4	42,5	45	33
Bäume je ha		1.127	643	405	318	275	229	225	
L 1	5.633	867.054	1.354.103	364.304	110.738	21.814	3.518	1.236	2.728.400
L 2	2.044	144.424	1.061.555	1.330.770	1.068.954	310.982	62.014	3.693	3.984.435
L 3	8.671	3.287	61.132	298.894	443.702	253.307	102.641	19.999	1.191.634
L 4	6.292	2.814	3.873	21.595	34.410	50.657	35.664	14.022	169.327
L 5					1.184	2.154	4.958		8.295
L 6							1.273		1.273
Industr.Holz	40.940	416.730	178.185	99.597	91.690	39.573	23.676	9.743	900.134
X - Holz	3.684	79.942	94.515	52.677	35.625	12.007	3.518	902	282.872
Vorrat (Efm o.R.)	67.264	1.514.251	2.753.363	2.167.837	1.786.303	690.494	237.262	49.595	9.266.369
Alter	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	101 - 120	121 - 140	> 140	

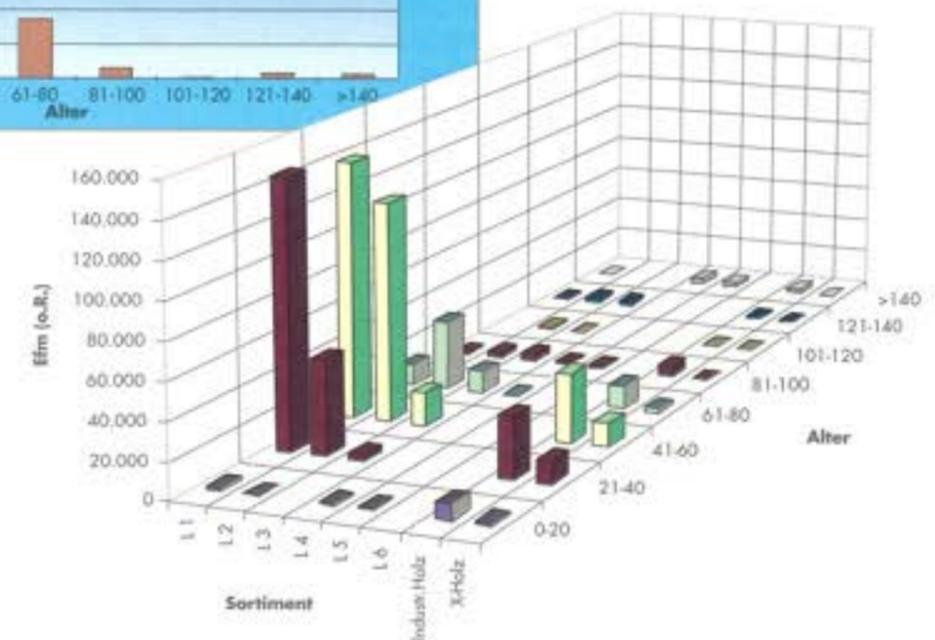
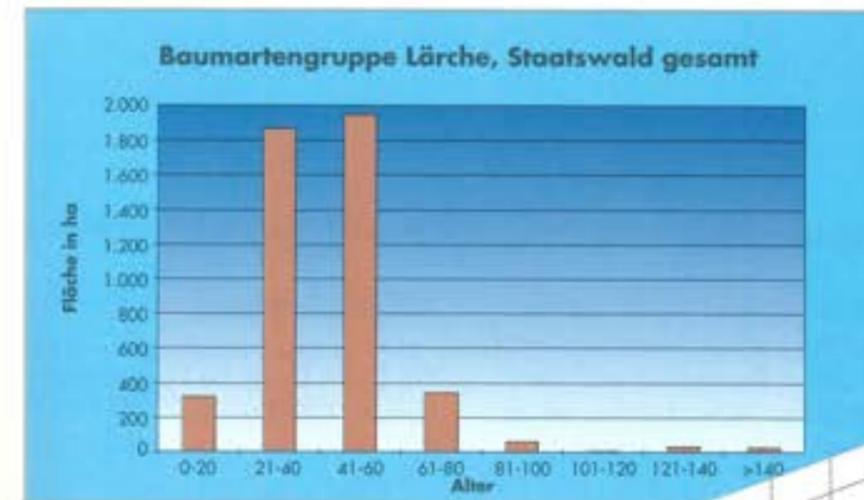


Baumartengruppe Kiefer

Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Fläche (ha)	281,9	712,8	3.418,0	1.233,9	832,8	495	257	155,5	7.386,8
Fehler (+ ha)	112,4	133,1	287,7	174,6	143,7	111	80,1	62,3	415
Vorrat Vfm m. R.	60.721	159.792	699.093	338.190	274.614	138.655	100.890	51.141	1.823.095
Vorrat Vfm/ha	81	178	203	274	330	280	393	328	235
Fehler (+ Vfm/ha)	10	5	11	16	22	27	32	32	4
Alter	35	46	71	93	110	129	152	152	
m. BHD (cm)	18,3	24,2	34,2	37,3	39,9	45	50,2	50,2	
m. Höhe (m)	15,4	18	22,2	23,8	23,8	25,1	25,5	25,5	
G/ha (ms)		25,5	25	27,9	31,7	27,8	36,2	30,3	26,7
Bäume je ha		975	542	304	290	222	228	153	
L 1	1.114	56.301	315.215	42.404	13.984	5.200	584		434.802
L 2	19.240	16.909	137.947	160.398	115.297	48.384	20.186	8.450	526.811
L 3	9.004	12.831	9.894	26.906	40.979	25.579	34.924	16.662	176.778
L 4	2.938	2.491	571	1.629	8.062	4.618	5.232	4.601	30.143
L 5						2.880	1.346		5.592
L 6									1.104
Industr.Holz	10.612	20.994	38.599	23.956	31.931	20.134	16.290	8.407	170.924
X-Holz	1.799	8.057	26.560	7.703	5.506	2.356	1.567	599	54.147
Vorrat (Efm o.R.)	45.626	117.583	528.786	262.996	215.759	109.151	80.129	40.270	1.400.301



Baumartengruppe Douglasie									
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Fläche (ha)	641,9	951,2	297,9	28,1	47,4				1.966,4
Fehler (+ ha)	166,7	153,5	86,2	26,5	34,4				219,7
Vorrat Vfm m. R.	30.996	207.843	96.698	14.145	20.982				370.663
Vorrat Vfm/ha	52	218	318	458	440				185
Fehler (+ Vfm/ha)		11	17	18	75				6
Alter		31	46	70	87				
m. BHD (cm)		20,3	34,7	43,6	50,2				
m. Höhe (m)		17,5	22,7	26,5	32,9				
G/ha (mc)	13,2	28,9	33,8	45,9	39,3				23,3
Bäume je ha	5.250	940	358	307	198				
L 1	2.871	71.150	12.578	420	710				87.729
L 2		46.350	37.194	4.459	2.741				90.744
L 3	2.315	2.374	11.114	2.832	4.985				23.620
L 4			666	330	5.398				6.394
L 5									
L 6									
Industr.Holz	15.064	26.842	6.468	2.051	1.279				51.704
X-Holz	2.250	7.056	1.888	221	169				11.584
Vorrat (Efm o.R.)	22.500	153.772	69.908	10.313	15.282				271.775



Baumartengruppe Lärche									
Alter	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Gesamt
Fläche (ha)	318,3	1.864,6	1.945,1	337,4	58,6	4,2	31,8	25	4.585,1
Fehler (+ ha)	109	214,1	218,6	91,7	38,3	10,3	28,2	25	331,4
Vorrat Vfm m. R.	22.051	370.342	490.549	114.449	24.370	2.094	10.344	12.092	1.046.292
Vorrat Vfm/ha	61	196	249	339	414	495	325	453	225
Fehler (+ Vfm/ha)		6	6	16	47	29	63		4
Alter		33	46	93	108	129	144		
m. BHD (cm)		23,2	28,6	37,8	52,3	42,3	43	75,7	
m. Höhe (m)		18,2	21,8	26,1	30,5	33	26,8	32,3	
G/ha (mc)		23,6	25,5	30,1	32,4	36,7	28,5	37,8	24,4
Bäume je ha		581	396	268	151	261	196	84	
L 1	1.645	143.828	138.218	11.130	605	639	73		296.140
L 2	138	50.837	118.285	37.478	2.773	1.027	2.654		213.192
L 3		3.449	17.647	11.676	4.298	337	2.555		39.962
L 4	894			310				3.229	5.660
L 5	1.341				1.457			2.436	5.233
L 6									
Industr.Holz	8.564	32.834	37.136	12.627	5.799	42	887	2.290	100.179
X-Holz	1.469	12.367	12.928	2.137	230	42	143	40	29.357
Vorrat (Efm o.R.)	14.051	243.315	324.214	75.358	16.389	1.448	6.878	8.068	689.723

Danksagung

Ein so großes Projekt wie der Testlauf zur Landeswaldinventur ist nur in Teamarbeit realisierbar. Allen Mitwirkenden sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.

In den einzelnen Arbeitsschritten waren dies namentlich:

Projektmanagement:

Herr Dirk Brodersen
Frau Irene Lucaschewski
Frau Ute Messerschmidt
Herr Günter Spelsberg
Herr Manfred Wegener
Herr Werner Wessels

Kartenvorbereitung:

Frau Hannelore Balázs
Herr Ronald Boyé
Frau Maria Fraczek
Herr Hans-Georg Kassler †
Herr Hans Kordisch
Frau Sigrid Lindnau
Frau Ute Schlienkamp
Frau Martina Wengelinski
Herr Josef Wengelinski
Frau Regina Wüller

Außenaufnahmen:

Fa. DFS - Deutsche Forstservice GmbH, München

Kontrollmessungen:

Herr Sigfried Hesse
Herr Gerd Hönscheid
Herr Rudolf Kroll
Herr Harald Kummer
Herr Norbert Nolte
Herr Klaus Schwabedissen
Herr Rolf Theres
Herr Martin Volmering

Auswertung:

Frau Marlies Graner
Frau Christine Siekierka
Herr Ulrich Suntrup
Herr Holger Teske

Ausrichtung des Symposiums:

Landesverband Lippe

Schriftenreihe der Landesforstverwaltung NRW

Heft 1 - Bilder aus dem Hauberg, 1995

Heft 2 - Beispielhaftes Bauen mit Holz, 1996

Heft 3 - Bäume als Zeitzeugen, 1996

Heft 4 - Landeswaldbericht 1996, 1997

Heft 5 - Landeswaldinventur, 1997

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen.

Mißbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.