

R h e i n l a n d - P f a l z

Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten

Mitteilungen aus der
Forstlichen Versuchsanstalt
Rheinland-Pfalz
Schloß, D-6751 Trippstadt
Tel. 06306/8311

Nr. 10/89

Norbert Heidingsfeld

**Verfahren zur luftbildgestützten
Intensiv-Waldschadenserhebung
in Rheinland-Pfalz**

ISSN 0931-9662

Abteilung für...

Information für...

Abteilung für...
Abteilung für...
Abteilung für...
Abteilung für...

Abteilung für...

Abteilung für...

Abteilung für...
Abteilung für...
Abteilung für...

Abteilung für...

VORWORT

Die Untersuchungen zu folgender Arbeit sind von der Europäischen Gemeinschaft im Rahmen der Gemeinschaftsaktion zum Schutz des Waldes gegen Luftverschmutzungen als Forschungsvorhaben Nr. 87.60.DL.0070 "Entwicklung und Praxiserprobung einer luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung" zu 30 % gefördert worden. Für diese Unterstützung wird der Europäischen Gemeinschaft ganz besonders gedankt. Ebenso danken wir dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die freundliche Übernahme der Projektkoordination.

Als Auftragnehmer waren beteiligt:
die Befliegungsfirmen

Delta Luftbild GmbH, Egelsbach

Eurosense GmbH, Aachen

Hansa Luftbild GmbH, Münster

und die Luftbildinterpreten

Ass. d. Fd. Eckart Beutel, FSB GbR, Hütschenhausen

Dr. Mahmut Cagirici, Reise - und Luftbild GmbH, Freiburg

Ass. d. Fd. Norbert Kuhfus, Kuhfus + Partner GbR, Freiburg

Dr. Said Alim Masumy, DORMA-Luftbild GbR, Freiburg

Dipl.-Forstwirt Reiner Smukalla, Freiburg.

Wesentliche Beiträge beruhen auch auf den an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg, Abteilung Luftbildmessung und Fernerkundung, unter Leitung von Herrn Prof. Dr. G. Hildebrandt angefertigten Diplomarbeiten der Herren Horst Delb und Michael Duhr.

Ihnen allen sei für ihre solide und zuverlässige Auftrags-
erfüllung, für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und ihren
persönlichen Einsatz sowie den beteiligten Mitarbeitern der
Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz für ihre enga-
gierte Hilfe herzlich gedankt.

Trippstadt, im November 1989

Der Verfasser

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
KURZFASSUNG	4
1 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	8
11 Allgemeine Anforderungen an Waldzustandsinventuren	8
12 Zielsetzung	9
2 BEFLIEGUNGS- UND TESTGEBIETE	10
3 STAND DER LUFTBILD-INVENTURVERFAHREN	13
31 Gegenwärtige Ansätze	13
32 Methodische Konsequenzen	17
4 INVENTURKONZEPT FÜR VERSCHIEDENE AUSWERTUNGSEBENEN	20
41 Integrierte Kronenzustandserhebung für Großräume	20
411 Konzept eines zweiphasigen Inventurmodells	21
412 Inventurverfahren für großräumige Luftbild- Waldschadenserhebungen	23
4121 Streifenbefliegung	23
4122 Stichprobenplan	24
42 Aeriale Kronenzustandserhebung für Forstbetriebe	29
421 Flächenbefliegung	29
422 Stichprobenplan	30
43 Aeriale Kronenzustandserhebung für Einzelbestände	32
431 Baumweise Vollerhebung ganzer Bestände	33
432 Vollaufnahme von Versuchspartzen nach Signalisierung	37
433 Repräsentative Stichprobe aus Einzelbeständen	40

5	OPTIMIERUNG DER INTERPRETATIONSQUALITÄT	42
51	Standardisierung der Bildqualität	43
52	Abstimmung der Interpreten	44
53	Interpretationskontrolle	48
6	DISKUSSION	50
61	Datenerfassung und -verarbeitung	50
62	Präsentation der Ergebnisse	51
63	Validität des Verfahrens	54
64	Methodisch-organisatorische Erfahrungen	57
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	59
	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	61
	TABELLENVERZEICHNIS	61
	LITERATURVERZEICHNIS	62
	ANHANG	
1	Arbeitsanleitung zur Luftbild-Waldschadenserhebung	67
2	Interpretationsschlüssel zur visuellen Kronenzustands- erfassung aus CIR-Luftbildern	78

KURZFASSUNG

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes ist für die drei Auswertungsebenen Großraum, Forstbetrieb und Einzelbestand je ein geeignetes Stichprobenverfahren zur Luftbild-Waldschadenserhebung entwickelt und in Hauptschadensgebieten von Rheinland-Pfalz auf seine Praxistauglichkeit überprüft worden. Die einheitlichen Grundbausteine dieser neuen Stichprobenpläne nutzen die mit Hilfe neuer Musterinterpretationsschlüssel deutlich verbesserte Reproduzierbarkeit der Einzelergebnisse und ermöglichen eine einzelbaumweise Kontrolle der Interpretation.

Im Gegensatz zu allen bisher in der Literatur beschriebenen Luftbild-Stichprobenplänen arbeiten diese Verfahren analog zur terrestrischen Waldschadenserhebung erstmals mit

- ausschließlich lagedefinierten, permanenten Stichprobenorten
- in systematischer Verteilung mit
- identischen Stichprobenkollektiven, an denen zudem eine
- einzelbaumweise Kontrolle der Schätzergebnisse möglich ist.

Zu diesen vier Bedingungen bietet das neue Inventurkonzept auch ohne teure analytisch-photogrammetrische Geräte hinreichend genaue Lösungen an.

Für die Auswertungsebene **Großraum** ist ein zweiphasiges Inventurmodell entwickelt worden, dessen erste Phase mit der jährlichen terrestrischen Waldschadenserhebung identisch ist. In deren bestehendes Stichprobenraster wird als zweite Phase eine periodische Luftbild-Waldschadenserhebung integriert, und in das relativ grobe Raster der terrestrischen Erhebung als differenzierte Auswertungsebene eingehängt.

Diese zweite, aerielle Phase soll in mittelfristigen Abständen von 5 bis 6 Jahren und turnusmäßiger Gebietsrotation von entsprechend vielen Teilräumen eines Landes durchgeführt

werden, da dies gegenüber einer periodischen landesweiten Befliegung zahlreiche organisatorische, technische und fachliche Vorteile bietet.

Die Luftbildbefliegung erfolgt zur nahtlosen Einbindung ihrer Stichprobenpunkte in das systematische Raster der terrestrischen Waldschadenserhebung streifenweise exakt auf deren Gauß-Krüger-Gitterlinien.

Die **Stichprobenpunkte** für die Luftbildinventur ergeben sich durch systematische Verdichtung des bestehenden 4x4-km-Rasters der terrestrischen Waldschadenserhebung zu einem 0,3x1-km-Raster im Gauß-Krüger-Koordinaten-System. Auf den Flugstreifen liegen damit in Flugrichtung alle 1000 m 3 Aufnahmepunkte mit 300 m Abstand nebeneinander. Von den auf der vorgegebenen Flugachse liegenden mittleren Stichprobenpunkte ist jeder 4. Punkt mit den Stichprobenpunkten der terrestrischen Waldschadenserhebung identisch. Die exakte Lage der Stichprobenpunkte wird unter Verzicht auf aufwendige photogrammetrische Lösungen manuell aus topographischen Karten ins Luftbild übertragen und der Stichprobenmittelpunkt durch einen Nadelstich eindeutig und dauerhaft markiert. Damit kann eine Folgeinventur nach - sofern verfügbar - photogrammetrischer oder abermals manueller Punktübertragung an den identischen Stichprobenorten desselben systematischen Rasternetzes wie bei der Erstinventur durchgeführt werden.

Auf diese Weise wird für den gesamten Stichprobenplan einer Großrauminventur erstmals ein projektiv verzerrtes Raster in die Inventurpraxis eingeführt, das zwar manuell erstellt, photogrammetrischen Verfahren aber gleichwertig ist.

Als **Stichprobenkollektive** werden anstelle der bisher häufig verwendeten 20 anonymen Einzelbäume pro Punkt 4 Sechs-Baum-Stichproben angelegt, deren Einzelbäume nummeriert und in der Regel auch einzeln wiedererkannt werden. Damit

ist eine einzelbaumweise Kontrolle der Interpretationsergebnisse an allen Punkten einer Luftbild-Waldschadenserhebung möglich geworden.

Gleiches gilt für die Auswertungsebene **Forstbetrieb**. Dort sollten allerdings Flächenbefliegungen erfolgen, die ebenfalls mit einem systematischen Raster von kontrollfähigen Sechs-Baum-Stichproben ausgewertet werden.

Auf der Ebene der **Einzelbestände** wird eine baumweise Kronenkartierung des ganzen Bestandes mit anschließender **Vollerhebung** des Kronenzustandes aller Bestandesglieder empfohlen, wenn ein relativ schneller Schadens- oder Genesungsfortschritt zu erwarten ist oder ein bestimmtes Schadensverteilungsmuster und seine potentielle Veränderung kartiert werden soll. Dieses Verfahren ist hier erstmals auch in stammzahlreichen Nadelholz-Jungbeständen mit kleinkronigen Bäumen erfolgreich eingesetzt worden. Es stellt eine praktikable und kostengünstige Alternative zu aufwendigen photogrammetrischen Stereokartierverfahren dar.

In großen homogenen Beständen ist die genaue Lage von **Versuchspartzellen** im Luftbild oft nicht zu erkennen, so daß erst recht keine zweifelsfreie Identifikation der nummerierten Einzelbäume möglich ist. Zur **Signalisierung** der Eckpunkte solcher Versuchsflächen ist eine Markierungsmethode entwickelt worden, bei der witterungsbeständige weiße Tafeln dauerhaft über der Baumspitze von Markierungsbäumen angebracht werden. Dazu wird bei spitzkronigen Nadelbäumen der Wipfel geköpft und eine 40x40 cm große weiße Markierungstafel mit einem 20 cm langen PE-Rohr und aufgeschweißter PE-Platte an der Schnittstelle auf den Baum aufgesetzt. Bei Laubbäumen und breitkronigen Nadelbäumen wird die Tafel auf eine 5 m lange PE-Stange montiert, mit dieser Stange durch den Kronenmantel nach oben geschoben und so fixiert, daß die Markierungstafel etwa in der Mitte über der Krone positioniert ist.

mit dieser Methode ist es möglich, Eckpunkte von Versuchsflächen jeglicher Baumarten und Alter eindeutig, dauerhaft und ohne wesentliche Bestandesbeeinträchtigung wirkungsvoll luftbildsichtbar zu signalisieren.

Zur Erhebung **repräsentativer Stichproben aus Einzelbeständen**, für die lediglich eine verlässliche Charakterisierung des mittleren Kronenzustands von Versuchsflächenbäumen gefordert ist, wurde eine Rasterfolie für temporäre voneinander unabhängige Stichproben entworfen. Das Stichprobenraster dieser Folie ist aus denselben Grundbausteinen wie bei der Großrauminventur aus hexagonförmig angeordneten Sechs-Baum-Stichproben zusammengesetzt, um ebenfalls eine einzelbaumweise Kontrolle der Interpretationsergebnisse zu ermöglichen. Aus den Daten der aufgenommenen Probestämme wird eine Schadstufenverteilung berechnet und die globale Schadsituation durch ein sogenanntes **Bestandesschadniveau** charakterisiert.

Zur **Optimierung der Interpretationsqualität** werden eine generelle Standardisierung der Bildqualität aller Bildflüge, eine Harmonisierung der anzuwendenden Interpretationsschlüssel und vor allem Maßnahmen zur besseren Abstimmung der Interpretation und Kontrolle der Interpretationsergebnisse empfohlen.

1 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

Die Symptome der neuartigen Waldschäden sind lediglich ein äußeres Zeichen bzw. eine sichtbare Reaktion auf Veränderungen im gesamten Ökosystem Wald. Schadstoffeinträge, Bodenversauerung, Nährstoffverluste oder Grundwasserbeeinträchtigungen sind - ökosystemar betrachtet - wesentlich gravierendere Schädigungen als der Verlust eines Teils der Benadelung oder Belaubung von Einzelbäumen. Sie erfordern aber so umfangreichen und langwierigen Meßaufwand, daß sie bei regelmäßigen flächenrepräsentativen Stichprobenerhebungen nicht erfaßt werden können.

Kronenzustandsveränderungen sind dagegen ein wichtiges Indiz für solche ökosystemaren Beeinträchtigungen und gleichzeitig der einzige Merkmalskomplex, der bei einer in kurzer Zeit durchzuführenden Stichprobenerhebung mit Hilfe einfacher Okulartaxen erhoben werden kann. Der Kronenzustand der Waldbäume wird damit zum "Indikator" der Waldschäden. Dies gilt sowohl für terrestrische Erhebungen als auch für Fernerkundungsverfahren.

11 Allgemeine Anforderungen an Waldzustandsinventuren

Alle Waldzustandsinventuren dienen unabhängig von der Größe des Inventurgebietes und des daraus resultierenden Stichprobenverfahrens sowie unabhängig von der Wahl einer terrestrischen oder luftbildgestützten Methode immer folgenden Zwecken:

- stichprobenweise Erhebung des Kronenzustands von Waldbäumen im Inventurgebiet zu einem bestimmten Stichtag
- bildhafte Dokumentation des Kronenzustands der Waldbäume zu diesem Stichtag (gilt bei terrestrischen Erhebungen nur, wenn wie bei den Sanasilva-Erhebungen in der Schweiz

- zahlreiche markierte und damit später wieder identifizierbare Einzelbäume von einem feststehenden Ort aus fotografiert werden)
- Situationsbeschreibung durch Ergebnismachweis der Schadstufenverteilungen nach Baumartengruppen für das gesamte Gebiet sowie für ausreichend große Teilräume und damit
- kartographische Darstellung der mittleren Schadensausprägung innerhalb der Teilräume zur Aufdeckung von Schadensverteilungsmustern
- Herleitung von Beziehungen zwischen der Schadensausprägung und Bestandes- sowie Standortsparmetern
- Durchführung jährlicher oder periodischer Wiederholungsinventuren für dasselbe Inventurgebiet zur Ermittlung von Veränderungen in der Schadsymptomatik und im Schadensausmaß.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen haben sowohl die Anfang der achtziger Jahre entwickelte bundesweite terrestrische Waldschadenserhebung als auch die in verschiedenen Ländern unabhängig voneinander entworfenen Stichprobenverfahren für Luftbildinventuren in der Regel zufriedenstellende Lösungen angeboten, obwohl die Luftbildinventuren aufgrund unterschiedlicher Schwerpunkte und Fragestellungen teils deutlich voneinander abweichen.

12 Zielsetzung

Die Frage nach dem aktuellen Ausmaß und dem Entwicklungsgang der durch den Kronenzustand repräsentierten Waldschäden in Ländern, Regionen, Forstbetrieben oder auch Einzelbeständen ist ökologisch und ökonomisch von besonderem Interesse. Ziel dieses Projektes war es daher, ein Dokumentations- und Inventurkonzept zu entwerfen und ein anwendungsreifes Verfahren zu entwickeln, das differenzierte Aussagen für Gebiete dieser verschiedenen Größenordnungen ermöglicht.

Mit Hilfe des Luftbildmaterials von Color-Infrarot (CIR)-Befliegungen in vier Hauptschadensgebieten von Rheinland-Pfalz im Sommer 1987 und 1988 sollte ein variables und für verschiedene Auswertungsebenen geeignetes Stichprobenverfahren entwickelt und auf seine Praxistauglichkeit überprüft werden. Das Stichprobendesign sollte so angelegt werden, daß es die mit Hilfe neuer Musterinterpretationsschlüssel deutlich verbesserte Reproduzierbarkeit der Einzelergebnisse nutzen kann und eine einzelbaumweise Kontrolle der Interpretationsergebnisse ermöglicht.

2 BEFLIEGUNGS- UND TESTGEBIETE

Die konkrete Entwicklung und praktische Erprobung des später (Kap. 4) beschriebenen Inventurkonzeptes für verschiedene Auswertungsebenen erfolgte in fünf waldreichen Gebieten in Rheinland-Pfalz.

Für die **Auswertungsebene Großraum** wurden vier Wuchsgebiete oder Teilwuchsgebiete mit besonderen Problemstellungen als Testgebiete für dieses Pilotprojekt ausgewählt:

- der **Pfälzerwald** als aus der terrestrischen Waldschadenserhebung bekanntes Hauptschadensgebiet, in dem über 60 % der Bäume geschädigt oder "geschwächt" sind,
- der **Hunsrück** mit einem baumarten- und altersbedingt insgesamt mittleren Schadniveau, wobei örtlich aber auch starke Schäden vorkommen, die bisher nicht sicher quantifizierbar sind, da sie entweder im mittleren Ergebnis für das gesamte Wuchsgebiet subsummiert oder vom relativ groben Raster der terrestrischen Waldschadenserhebung nicht erfaßt werden,
- die **Westefel**, deren Waldgebiete wegen ihres hohen Anteils junger Bestände insgesamt nur als mäßig geschädigt gelten und

- der **Hohe Westerwald** als rechtsrheinisches Vergleichsgebiet mit einer der Westeifel und dem Hunsrück vergleichbaren Baumartenverteilung, aber anderer Altersstruktur und besseren standörtlichen Voraussetzungen.

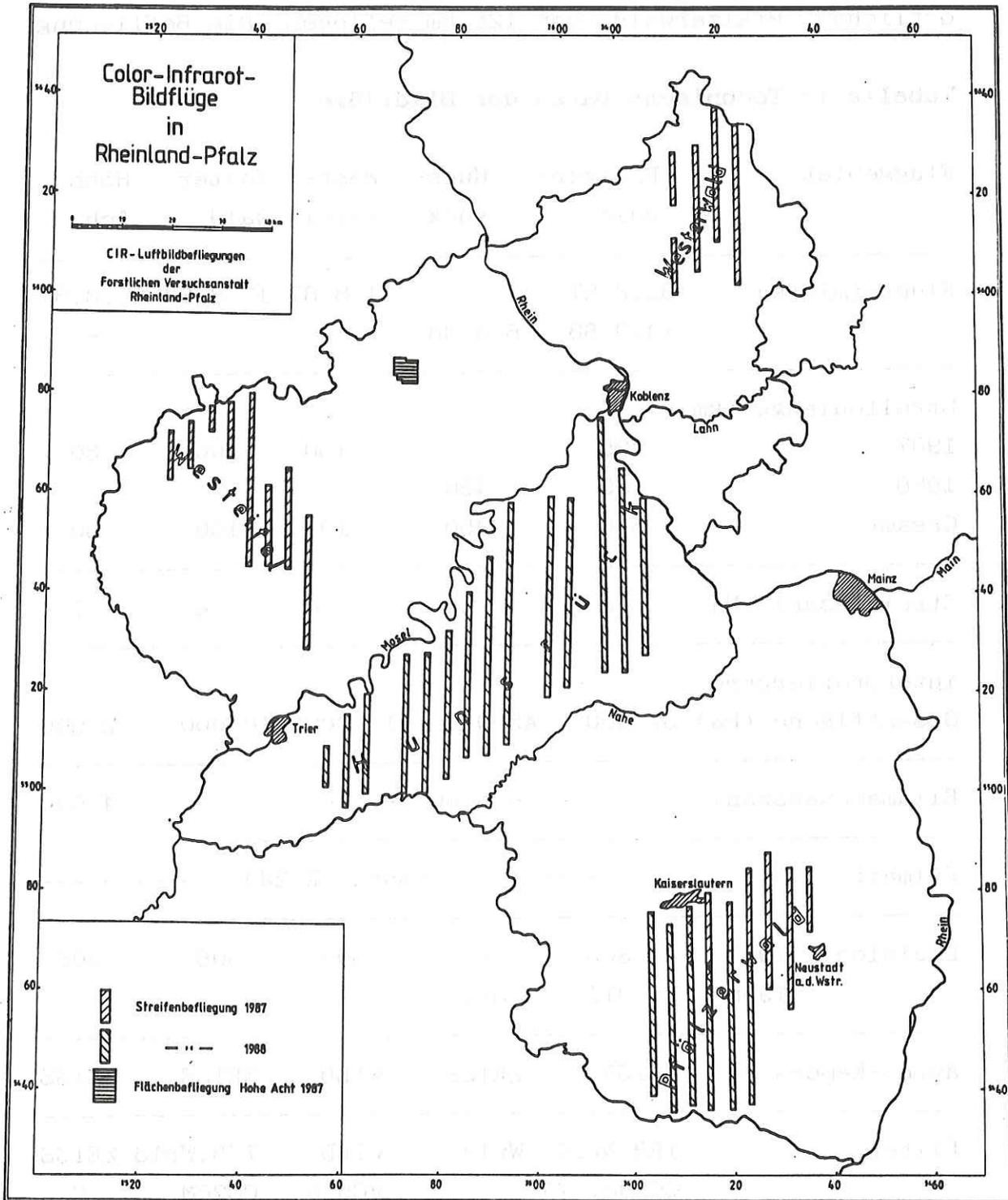


Abb. 1: Fluggebiete und Lage der Flugstreifen

In diesen Gebieten sind in den Jahren 1987 und 1988 Streifenbefliegungen mit CIR-Luftbildern durchgeführt worden. Auf dem Gitternetz der terrestrischen Waldschadenserhebung wurden 1987 im Hohen Westerwald Streifen mit einer Gesamtlänge von 100 km, in der Westeifel von 130 km und im nordöstlichen Pfälzerwald von 125 km befliegen. Die Befliegung

Tabelle 1: Technische Daten der Bildflüge

Fluggebiet	Pfälzerwald	Hunsrück	Westeifel	Westerwald	Hohe Acht
Flugtermin(e)	31.8.87 14.8.88	- 6.8.88	31.8.87 -	17.8.87 -	21.8.87 -

Streifenlänge (km)					
1987	125	-	130	100	30
1988	195	450	-	-	-
Gesamt	320	450	130	100	30

Streifenzahl (N)	9	14	8	4	7

interpretierbare Gesamtfläche (ha)	32 000	45 000	13 000	10 000	2 000

Bildmaßstabszahl	5 000				4 000

Filmart	Kodak IR 2443				

Emulsion	1987	306	-	306	306
	1988	312	311	-	-

Aufn.-Kamera	ZEISS	ZEISS	WILD	ZEISS	ZEISS

Filter	IR3.Wr16 CC20M(87) ZEISS D(88)	Wr12	WILD FC525	IR3.Wr16 CC20M	ZEISS C

des südwestlichen Pfälzerwaldes und des gesamten Hunsrücks mußte 1987 witterungsbedingt ausfallen, konnte aber im Sommer 1988 bei günstigem Flugwetter vollständig nachgeholt werden. Dabei sind im Hunsrück Streifen mit einer Gesamtlänge von etwa 450 km und im Pfälzerwald nochmals 195 Flugkilometer befliegen worden.

Bei einer im Bildmaßstab 1 : 5 000 interpretierbaren Streifenbreite von etwa 1 km sind im Rahmen dieses Forschungsprojektes in den beiden Jahren damit etwa 100 000 ha Gesamtfläche mit CIR-Luftbildern erfaßt worden (Abb.1, Tab. 1).

Neben den großräumigen Streifenbefliegungen ist 1987 eine kleinere Flächenbefliegung für das Gebiet der **Hohen Acht**, der höchsten Erhebung der Eifel, durchgeführt worden. Dort sind in sieben mit Querüberdeckung versehenen Flugstreifen insgesamt 2000 ha Geländeoberfläche vollständig im Bildmaßstab von etwa 1 : 4 000 erfaßt worden (Abb.1, Tab.1). Das Bildmaterial dieser Flächenbefliegung ermöglicht sowohl die Simulation von Stichprobenverfahren auf **Betriebsebene** als auch auf der **Ebene einzelner Bestände**.

3 STAND DER LUFTBILD-INVENTURVERFAHREN

31 Gegenwärtige Ansätze

Die jährlich nach voller Vegetationsentfaltung, aber vor Beginn der Herbstverfärbung durchzuführenden terrestrischen Waldschadenserhebungen müssen auf ein relativ grobes Raster beschränkt bleiben, um von wenigen, einheitlich geschulten qualifizierten Aufnahmetrupps in der knappen zur Verfügung stehenden Zeit bewältigt werden zu können. Die Hauptschadensgebiete der Mittelgebirgsregionen, die sich vor allem auf deren relativ kleinräumige Kammlagen oder auf geschlos-

sene Waldgebiete beschränken, werden von einem solchen groben Raster nur unzureichend erfaßt. Diese Situation wird noch augenfälliger, wenn nur eine Unterstichprobe des permanenten 4x4-km-Rasters (STRELETZKI, 1987) aufgenommen wird.

Da die Nachfrage nach detaillierten Informationen über Stand und Entwicklung der Waldschäden in den Hauptschadensgebieten aber ständig steigt, wächst auch der Bedarf nach einem Verfahren für eine verfeinerte, hinreichend genaue, aber möglichst personalextensive Kronenzustandserhebung. Dafür kommen vor allem aerielle Inventurverfahren in Betracht, da sie

- geringeren Personaleinsatz als terrestrische Vollerhebungen erfordern (allerdings höhere Sachkosten verursachen)
- weniger termingebunden sind (dafür aber mit dem Wetterrisiko behaftet sind)
- gleichzeitig ein Informations- und Dokumentationssystem darstellen,
- transparentere und reproduzierbarere Ergebnisse liefern, die damit auch
- nachprüfbar sind, und
- bei Bedarf nachträglich Rasterverdichtungen zulassen.

Bei den Anfang der achtziger Jahre in verschiedenen Ländern unabhängig voneinander entworfenen Stichprobenverfahren für Luftbildinventuren herrschten vor allem unterschiedliche Vorstellungen hinsichtlich der kleinsten Befundeinheiten, für die ein Ergebnisausweis gefordert wurde.

So war die landesweite Luftbild-Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 ausschließlich als Großrauminventur geplant, von der lediglich landesweite Ergebnisse sowie Auswertungen auf der Ebene von 7 großen Wuchsgebieten bzw. der 4 Forstdirektionen verlangt waren. Dementsprechend konnte das Stichprobendesign sehr grob und mit einer ökonomischen Klumpung der Stichprobenorte in jedem 3. Bild ange-

legt werden (SCHÖPFER, HRADETZKY, 1984).

Die Luftbild-Waldschadenserhebung Niedersachsen 1983 war ebenfalls für den Großraum ausgerichtet, landesweit durchgeführt und für die Auswertung zunächst ebenfalls jede 3. Aufnahme herangezogen worden. Im Gegensatz zum baden-württembergischen Stichprobenplan ist der mittlere Teil jeder 3. Aufnahme jedoch vollflächig mit einem engen Einzelbaumraster überzogen und dann ein bestandesbezogener Ergebnismachweis erbracht worden (HARTMANN, 1984). Dieses Verfahren ist bei betriebsweisen Inventuren häufig übernommen und auch in Rheinland-Pfalz schon erfolgreich angewendet worden (BEUTEL, 1986).

Die Inventurmethode anderer Länder liegen bezüglich ihrer Stichprobendichte und der jeweils kleinsten Befundseinheit in der Regel zwischen diesen beiden großen Vorreitern. Die meisten Länder haben bisher bewußt von landesweiten Bildflügen abgesehen und gezielt ausgewählte Teilräume befliegen (z.B. KUHLE, 1987; TRANKNER et al., 1988; RUNKEL et al., 1986; SCHWARZENBACH et al., 1986; ZINDEL, 1989 oder ZIRM et al., 1985).

In keiner dieser Luftbildinventuren ist jedoch das von HILDEBRANDT (1983) aufgestellte Postulat erfüllt worden, daß bei Wiederholungsinventuren identische Stichprobenpunkte aufgenommen und ausgewertet werden können. Die Stichprobenfehler zweier Inventuren mit unabhängigen Stichproben können sich damit also bei geringen Veränderungen des Kronenzustandes überlagern und die jeweiligen inneren Streuungen größer sein als die festgestellten Veränderungen. Aus diesen statistischen Gründen, außerdem aus inventurtechnischen Erwägungen und zur Verringerung des Schätzfehlers, sollte ein modernes Stichprobenverfahren über die o.g. allgemeinen Zwecke hinaus zusätzlich noch folgende Bedingungen erfüllen:

- ausschließlich lagedefinierte permanente Stichprobenorte
- in systematischer Verteilung mit

- identischen Stichprobenkollektiven, an denen zudem eine
- einzelbaumweise Kontrolle der Schätzergebnisse möglich ist.

Alle vier Bedingungen werden vom Stichprobenverfahren der terrestrischen Waldschadenserhebung in vorbildlicher Weise erfüllt. Dort findet die Aufnahme auf einem systematischen 4x4-km-Raster an permanenten, einzeln markierten Probebäumen statt, an denen die Schätzergebnisse der Aufnahmeteams bereits während der laufenden Inventur stichprobenweise oder gezielt kontrolliert werden.

Vereinzelt wurde deshalb schon frühzeitig gefordert (HILDEBRANDT, 1983) und später bekräftigt (HILDEBRANDT et al., 1987), daß auch bei Luftbildinventuren ähnlich vorzugehen und so ein Baum-zu-Baum-Vergleich zu ermöglichen sei. Aber selbst dort wurde wegen des hohen organisatorischen, technischen und photogrammetrischen Aufwands konsistiert, daß dies nur an einem Teilkollektiv durchzuführen sei. Erst nach jeweils 3 Clustern mit je 9 temporären Stichprobenpunkten folgt eine permanente Stichprobe mit definierter Lage. Die Probebäume der übrigen 27 Stichprobenpunkte erfüllen keine der o.g. vier Bedingungen. Insbesondere fehlt hier die Möglichkeit einer einzelbaumweisen Kontrolle der Interpretationsergebnisse, die immer noch baumartenweise summarisch notiert werden (HILDEBRANDT et al., 1986). Angesichts der selbst bei erfahrenen Interpreten nicht auszuschließenden Schätzfehler und bei Anwendung neuer wesentlich differenzierterer Interpretationsschlüssel (AFL, 1988) bedarf dies einer praktikablen Korrektur.

Das bei der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung (LÖLF) Nordrhein-Westfalen entwickelte Hexagonverfahren (KUHL, 1985) ermöglicht wahrscheinlich eine einzelbaumweise Kontrolle, sofern gewährleistet werden kann, daß die LÖLF-Folie bei einem späteren Arbeitsgang wieder exakt genauso in die Randmarken des Luftbildes eingehängt wird wie beim ersten Arbeitsschritt.

Dann dürfte, zumindest in der Mehrzahl der Fälle, reproduziert werden können, welchen Baum der Interpret an jedem Eckpunkt des Hexagons in die Stichprobe einbezogen hat.

Dies gilt prinzipiell, in der Praxis aber eingeschränkt, für alle Rasterfolien, die in die Luftbild-Randmarken eingehängt werden. Da solche Folien bildbezogen und nicht in Landeskoordinaten eingehängt werden, handelt es sich jedoch auch hier nie um permanente Stichprobenorte mit identischen Probebäumen. Selbst die Forderung nach systematischer Verteilung der Stichprobenorte erfüllen diese Folien nur vordergründig. Die jeweiligen Rasterpunkte sind zwar auf der Folie systematisch verteilt, da sie aber auf zentralperspektivische Bilder aufgelegt wird, ermöglicht erst ein der Geometrie des Luftbildes angepaßtes "projektiv verzerrtes" Raster eine systematische Verteilung im Gelände (HILDEBRAND, 1984). Die Differenzen zu einem tatsächlich systematischen Raster sind aber umso geringer, je enger die Stichprobenorte beieinander liegen. Sofern der Ergebnisausweis dann zwar nicht an lagedefinierten Stichprobenpunkten und identischen Bäumen, aber für identische Bestände vorgelegt und für Vergleiche herangezogen wird, dürfte damit die bisher operationellste und statistisch vertretbarste Behelfslösung angewendet werden.

32 Methodische Konsequenzen

Da die stichprobentheoretische Optimallösung zur Erfüllung der oben genannten vier Bedingungen nur mit Hilfe analytisch-photogrammetrischer Auswertegeräte (z.B. ZEISS Planicomb oder KERN-DRS1) verwirklicht werden kann, würde sie eine unverhältnismäßige Verteuerung und Komplizierung der Inventurtechnik verursachen (HILDEBRANDT, 1987).

Aufgabe des vorliegenden Forschungsprojekts ist es deshalb, ein Inventurkonzept zu entwickeln und zu erproben,

das zu allen oben genannten vier Bedingungen zumindest näherungsweise Lösungen anbietet und trotzdem ohne teure analytisch-photogrammetrische Geräte und die mit ihnen verbundenen verfahrenstechnischen Schwierigkeiten auskommt. Da solche Geräte in Zukunft möglicherweise preiswerter, praktikabler und damit auch für Landesforstverwaltungen einsetzbar werden könnten, wird die Option für einen nachträglichen Wechsel zum Einsatz analytischer Geräte bei Folgeinventuren bewußt offen gehalten.

Das für drei Auswertungsebenen entworfene Inventurkonzept arbeitet auf den beiden oberen Ebenen, Großraum und Forstbetrieb, streng nach den von HILDEBRANDT (1983) aufgestellten Postulaten ausschließlich an Stichprobenpunkten, die systematisch nach X-Y-Koordinaten des Gauß-Krüger-Gitternetzes bestimmt werden und deren definitive Lage permanent festgehalten ist. Auf ihre genaue und treffsichere Rekonstruierbarkeit im Vergleich zu anderen Verfahren wird im folgenden noch einzugehen sein.

Die in den meisten Luftbildinventuren unübersichtlich großen Stichprobenkollektive mit in der Regel 20 anonymen Einzelbäumen pro Stichprobenpunkt werden analog zur terrestrischen Waldschadenserhebung in überschaubare Teilkollektive untergliedert, deren Einzelbäume numeriert werden und (unter Tolerierung weniger Verwechslungen) in der Regel auch einzeln wiedererkannt werden können. Damit liegt neben den aufwendigen analytischen Verfahren erstmals ein technisch einfaches Verfahren vor, das analog zu der terrestrischen Waldschadenserhebung jederzeit eine einzelbaumweise Kontrolle der Interpretationsergebnisse ermöglicht.

Zu den Hauptkonzessionen an eine technisch einfache Lösung gehört jedoch, daß die Aufnahme identischer Stichprobenbäume in einer Folgeinventur einige Probleme bereiten und damit einen Baum-zu-Baum-Vergleich erschweren könnte, wenn analytische Geräte dann immer noch nicht erschwinglich

und die Verfahren damit auch nicht in der Praxis etabliert sein sollten.

Auf der Ebene des Einzelbestandes soll schließlich eine von der Fragestellung abhängige Wahlmöglichkeit zwischen zwei Vollaufnahmen und einem Stichprobenverfahren mit zwar nicht lagedefinierten, aber systematisch verteilten Stichprobenpunkten und einzelbaumweiser Kontrollierbarkeit der Schätzergebnisse vorgeschlagen werden.

Ein allgemeingültiges Stichprobenverfahren für alle Inventuraufgaben existiert nicht, da die Wahl des geeignetsten Stichprobenplanes einerseits von der Größe des gesamten Inventurgebietes und andererseits von der Größe der kleinsten Befundeinheiten innerhalb des Inventurgebietes abhängt, für die ein Ergebnismachweis gefordert ist. Streifenbefliegungen großer Räume werden beispielsweise ohne Querüberdeckung geflogen und lassen somit einen je nach Streifenabstand unterschiedlich breiten Zwischenraum unberücksichtigt. Auswertungen auf Betriebsebene sind folglich nur möglich, wenn der infrage kommende Forstbetrieb so groß ist, daß er von mehreren Flugstreifen geschnitten wird und die auf der Gesamtstreifenlänge innerhalb des Betriebes abgebildeten Waldbestände seine Waldstruktur repräsentieren. Die Mehrzahl kleinerer Betriebe und die meisten Einzelbestände liegen dagegen in der Regel zwischen den Flugstreifen. Auswertungen auf dieser Ebene sind somit nur dann möglich, wenn ein Kleinbetrieb oder ein Einzelbestand zufällig unter einem Flugstreifen liegt.

Betriebs- und Bestandesinventuren sollten daher im Zuge einer planvollen und nicht zufallsorientierten Inventurorganisation von großräumigen Befliegungen gelöst werden. Sie erfordern eine individuelle Befliegung und einen für diese Ebene adäquaten Stichprobenplan. Das folgende Inventurkonzept sieht für die Auswertungsebenen **Großraum** (Land, Wuchsgebiet), **Forstbetrieb** und **Einzelbestand** deshalb auch drei verschiedene Stichprobenpläne vor.

4 INVENTURKONZEPT FÜR VERSCHIEDENE AUSWERTUNGSEBENEN

41 Integrierte Kronenzustands- erhebung für Großräume

Parallel zur Optimierung der terrestrischen Aufnahmeverfahren ist auch an der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz seit 1984 an der Entwicklung eines operationalen Fernerkundungsverfahrens zur einzelbaumweisen Erhebung des Kronenzustands von Waldbäumen mit CIR-Luftbildern gearbeitet worden.

Terrestrische Erhebungen sind vor allem für sehr großräumige Inventuren, die in der Regel zu überregionalen oder internationalen Vergleichen herangezogen werden, insbesondere wegen ihrer unübertroffenen Aktualität durch kein anderes Verfahren zu ersetzen. Aufgrund ihres groben Rasters versagen sie jedoch bei der Aufdeckung kleinräumlicher Schadensverteilungsmuster, für die Luftbildinterpretationen wegen ihres vollständigen Informationsgehalts über den vom Flugstreifen abgedeckten Geländeausschnitt wesentlich bessere Voraussetzungen liefern (vgl. HARTMANN et al., 1985; NIEHAUS, 1986). Ebenso lassen sich Entwicklungstendenzen der Waldschäden in Schadensschwerpunkten durch Vorlage von Luftbilddokumenten glaubwürdiger belegen (HARTMANN et al., 1986) als durch terrestrische Erhebungen, deren Ergebnisse bereits zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung wegen der zwischenzeitlich eingetretenen Herbstverfärbung und des Laubfalls nicht mehr reproduzierbar sind. Für differentialdiagnostische Untersuchungen, bei denen auch der Stamm in Augenschein genommen werden muß, zur Minimierung des Sachkostenaufwands oder zur Vermeidung des bei Luftbildbefliegungen nie ganz auszuschließenden Wetterrisikos sind terrestrische Erhebungen dagegen günstiger zu bewerten.

Dieser nur beispielhafte und keineswegs erschöpfende Vergleich zeigt, daß keines der beiden Verfahren **allen** Anforderungen gerecht werden kann. Bedenkt man je-

doch, daß beide Verfahren ihre ganz spezifischen Stärken besitzen, so liegt es nahe, die Entwicklung eines Inventur-systems in Angriff zu nehmen, das die Vorteile beider Ver-fahren miteinander verbindet (HEIDINGSFELD, 1987).

411 Konzept eines zweiphasigen Inventurmodells

Das System der integrierten Kronenzustandserhebung beinhal-tet ein **zweiphasiges Inventurmodell**, wie es prinzipiell auch von HILDEBRANDT et al.(1986) bereits vorgeschlagen wurde. In konsequenter Fortentwicklung des damaligen Vor-schlags ist die **erste Phase** hier identisch mit dem am Krankheitsfortschritt orientierten flexiblen Inventursystem der aus Voll- und Unterstichproben bestehenden terrestri-schen Waldschadenserhebung (TWE), die **jährlich** mindestens landes-, bundes- und EG- bzw. ECE-weite Zustandsberichte und Trendanalysen vorlegt (FBW, 1986; HEIDINGSFELD, 1987).

Da die Datenbasis der terrestrischen Waldschadenserhe-bung - zumindest in Jahren mit Unterstichproben - keine Auswertung für Wuchsgebiete zuläßt, geschweige denn für de-ren Teilräume (Wuchsbezirke o.ä.), wird als **zweite Phase** eine **periodische** intensive Luftbild-Waldschadenserhebung (LWE) in die terrestrische Erhebung integriert. Sie soll das relativ grobe Raster der terrestrischen Erhebung syste-matisch verdichten und somit als differenzierte Auswer-tungsebene in das bestehende Stichprobenraster der Wald-schadenserhebung eingehängt werden (Abbildung 2a, S.26). Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied zu dem von HILDE-BRANDT et al. (1986) vorgeschlagenen zweiphasigen Inven-turmodell, bei dem - genau umgekehrt - eine systematische terrestrische Phase in das bestehende Befliegungs- und Aus-wertungsschema ihrer Luftbildinventur eingepaßt worden war.

Die zweite, aerielle Phase soll in mittelfristigen Abständen von 5 bis 6 Jahren nach dem im folgenden beschriebenen Ver-fahren durchgeführt werden. Der tatsächliche Abstand zwi-

schen diesen periodischen Luftbild-Waldschadenserhebungen richtet sich einerseits nach den Trendergebnissen der jährlichen terrestrischen Erhebungen und den dabei gewonnenen örtlichen und regionalen Beobachtungen, andererseits nach der Anzahl und Größe der Großräume (Wuchsgebiete), für die der jeweilige Auftraggeber (z.B. Landesforstverwaltung) die jährlich erforderlichen organisatorischen und finanziellen Voraussetzungen für eine Luftbildbefliegung schaffen kann.

Ein Land in der Größenordnung von Rheinland-Pfalz, mit etwa 800 000 ha Waldfläche, erfordert für einen landesweiten Bildflug im 4-km-Streifenabstand Bildflugstreifen in einer Länge von etwa 2 000 Kilometern. Da das Land Rheinland-Pfalz - abgesehen von besonders waldarmen Gebieten - in 5 bis 6 etwa gleich große waldreiche Naturräume eingeteilt werden kann, bietet es sich an, im Turnus von ebenfalls 5 bis 6 Jahren jährlich einen dieser Naturräume zu befliegen und einer intensiven Auswertung zu unterziehen.

Alternativ dazu könnte kostenneutral auch alle 5 - 6 Jahre das ganze Land entsprechend befliegen und ausgewertet werden. Der einzige Vorteil dieser Variante läge in der fast gleichzeitigen Dokumentation des Zustandes der Wälder aller Naturräume des Landes zu einem einheitlichen Zeitpunkt. Dies wäre zwar bei einer turnusmäßigen Befliegung von Teilräumen des Landes nicht der Fall. Sie hätte dagegen folgende Vorteile:

- höhere Erfolgsaussichten auf eine vollständige Erfüllung der im jeweiligen Jahr geplanten Befliegung, da das Wetterrisiko umso geringer wird, je kleiner das zu befliegende Gebiet ist,
- Beteiligung von weniger Flugfirmen als bei einem landesweiten Flug und damit Schaffung einheitlicheren Bildmaterials,
- Einsatz von weniger Interpreten und damit Vereinheitlichung und Verbesserung der Interpretationsqualität,
- Einsatz derselben Interpreten in mehreren Jahren hinter-

einander zur Schaffung vergleichbarer Interpretationsmaßstäbe in unterschiedlichen Großräumen,

- Erhaltung und Verbesserung der fachlichen Qualifikation des beteiligten Personals durch ständige Übung und Fortbildung,
- Aufrechterhaltung des erforderlichen technischen und organisatorischen "Know-Hows", das bei periodischen landesweiten Luftbild-Waldschadenserhebungen alle X Jahre wieder neu geschaffen oder mit einer neuen unerfahrenen Mannschaft reaktiviert werden müßte, und
- gleichmäßige Verteilung der Kosten.

412 Inventurverfahren für großräumige Luftbild-Waldschadenserhebungen

4121 Streifenbefliegung

Zur nahtlosen Einbindung der Luftbildstichprobenpunkte in das systematische Raster der terrestrischen Waldschadenserhebung ist es erforderlich, daß die Luftbildbefliegung streifenweise exakt auf den Gauß-Krüger-Gitterlinien des 4x4-km-Rasters der terrestrischen Waldschadenserhebung erfolgt (Abb. 2a, S.26). Die Abweichung der Flugroute vom vorgegebenen Kurs sollte im Flugauftrag auf maximal 100 m begrenzt, kann bei Anwendung des im folgenden beschriebenen Stichprobenplanes aber bis etwa 300 m toleriert werden. Der Abstand der Flugstreifen untereinander beträgt 4 km oder, je nach Waldanteil oder Fragestellung, acht bzw. zwölf Kilometer. Die Flugstreifen sollten ausschließlich Nord-Süd ausgerichtet sein, auch wenn die Topographie des Landes oder die Längenausdehnung von Waldgebieten eine andere Orientierung wünschenswert erscheinen lassen. Nur eine Nord-Süd-Ausrichtung sorgt für einheitliche Lichtverhältnisse auf der ganzen Breite des in einem Stereo-Bildpaar auszuwertenden Streifenabschnitts. Bei einer Ost-West-

Orientierung erscheinen dagegen in beiden Bildern eines Stereopaars alle Objekte der südlichen Bildhälfte im Gegenlicht und in der nördlichen Bildhälfte im Mitlicht.

Nicht bewaldete oder sehr gering bewaldete Gebiete können ausgespart werden; es ist jedoch nicht ratsam (und auch nicht preiswerter), einzelne Flugstreifen wegen Ortschaften oder landwirtschaftlichen Flächen immer wieder zu unterbrechen. Im übrigen gelten die von anderen Autoren schon häufiger begründeten technischen Anforderungen für CIR-Bildflüge, wie sie in der neuen VDI-Richtlinie Nr. 3793, Bl.1 als anerkannte Regel der Technik niedergelegt sind (VDI, 1990).

4122 Stichprobenplan

Der Stichprobenplan ist ausschließlich auf eine einzelbaumweise Ansprache des Kronenzustands von Probebäumen ausgerichtet.

Die erforderlichen **Stichprobenpunkte** ergeben sich durch systematische Verdichtung des bestehenden 4x4-km-Rasters der terrestrischen Waldschadenserhebung zu einem 0,3x1-km-Raster im Gauß-Krüger-Koordinaten-System (Abb. 2a und b, S.26). Auf dem Flugstreifen liegen damit in Flugrichtung alle 1000 m 3 Aufnahmepunkte mit 300 m Abstand nebeneinander. Von den auf der vorgegebenen Flugachse liegenden mittleren Stichprobenpunkten ist jeder 4. Punkt mit den Stichprobenpunkten der terrestrischen Waldschadenserhebung identisch. Analog zur terrestrischen Waldschadenserhebung werden auch hier nur auf Wald fallende Koordinatenpunkte berücksichtigt. Zur aktuellen Auswertung kommen nur diejenigen Waldpunkte, die im Jahr der Aufnahme mit Bäumen bestockt sind, und deren Bestandesstruktur (nach Alter etc.) eine einzelbaumweise Kronenzustandserfassung zuläßt.

Im Gegensatz zu dem in Baden Württemberg für Luftbildinventuren mit streifenweiser Befliegung entwickelten vierstufigen Stichprobenplan (HRADETZKY, 1984), bei dem nur jedes 3. Bild zur Auswertung kam, entfällt hier die Stichprobenebene "Bild", denn bei systematischer Verteilung der Stichprobenorte auf dem Flugstreifen kann theoretisch jedes Bild innerhalb des betreffenden Flugstreifens zur Auswertung herangezogen werden.

Hier besteht der Stichprobenplan daher aus folgenden 3 Stufen:

1. Stufe: k von insgesamt K möglichen Flugstreifen im Inventurgebiet
2. Stufe: n von insgesamt N möglichen Stichprobenpunkten je Flugstreifen
3. Stufe: r von insgesamt R möglichen Bäumen je Stichprobenpunkt

Die exakte Lage der Stichprobenpunkte wird aus der topographischen Karte im Maßstab 1 : 25 000 (TK 25) und, wo es möglich ist, unter Zuhilfenahme von Forstbetriebskarten (1 : 10 000) ins Luftbild übertragen. Dabei wird das Luftbild gewählt, auf dem die Punkte auf der Mitlichtseite und möglichst nahe zur Bildmitte abgebildet sind. Damit werden die bestmöglichen Lichtverhältnisse ausgenutzt und eine Minderung der Übertragungsgenauigkeit durch an den Bildrändern auftretende Verzerrungen vermieden. Diese Punktübertragung kann bei entsprechender Geräteausstattung photogrammetrisch erfolgen. Aus Praktikabilitätsgründen wird hier jedoch die in diesem Projekt getestete gutachtliche manuelle Übertragung empfohlen, die bei verdeckten Wiederholungstests Lagedifferenzen von nur wenigen Metern in der Natur gezeigt hat. Angesichts der bekannten Schwierigkeiten bei der Beschaffung geeigneter Paßpunkte in ausreichender Anzahl und Lage (HILDEBRANDT, 1984) ist anzunehmen, daß die technisch aufwendige photogrammetrische Lösung auch nicht treffsicherer wäre.

Auf diese Weise wird für den gesamten Stichprobenplan einer Großrauminventur erstmals ein zwar manuell erstelltes, aber im Vergleich zum TWE-Raster und den photogrammetrischen Möglichkeiten und Unzulänglichkeiten in Waldgebieten völlig gleichwertiges projektiv verzerrtes Raster in die Inventurpraxis eingeführt.

Der **Mittelpunkt des Stichprobenpunktes** wird durch Perforation mit einer feinen Nadelspitze durch Luftbild und Hülle eindeutig und dauerhaft definiert. Selbst wenn bei dieser manuellen Übertragung der Rasterpunkte von der Karte ins Luftbild geringfügige Lagefehler akzeptiert werden müssen, können die durch Nadelstiche eindeutig definierten Rasterpunkte bei der Folgeinventur entweder nachträglich photogrammetrisch eingemessen oder abermals manuell vom alten Luftbild in das entsprechende Bild der Folgebefliegung übertragen werden.

Die Folgeinventur kann damit an den identischen Stichprobenorten desselben systematischen Rasternetzes wie bei der Erstinventur durchgeführt werden.

An jedem Stichprobenpunkt wird, wie bei der terrestrischen Waldschadenserhebung, ein **Kreuztrakt** mit insgesamt 24 Probebäumen in 4 Sechs-Baum-Stichproben aufgenommen (Abb. 2 c). Damit die Mittelpunkte der 4 Satelliten dieses Kreuztraktes in der Natur etwa 25 m vom Traktmittelpunkt entfernt liegen, werden sie in den vier Haupthimmelsrichtungen um den perforierten Traktmittelpunkt im Abstand von 5 mm (beim Bildmaßstab 1 : 5 000 entspricht das 25 m im Gelände) ebenfalls durch Nadelstiche markiert. Somit sind im Luftbild an jedem Stichprobenort 5 Nadeleinstiche vorhanden. Bezüglich der 4 Haupthimmelsrichtungen wird vereinfachend angenommen, daß die Verbindungslinien durch die Luftbildrandmarken in Nord-Süd- und Ost-West-Richtung verlaufen.

Die möglichst eindeutige Definition der sechs **Probebäume je Satellit** erfolgt durch Auswahl derjenigen sechs Bäume, die am ehesten geeignet sind, um den Satellitenmit-

telpunkt eine Hexagonform entsprechend des LÖLF-Verfahrens (KUHL, 1985) aufzubauen (Abb. 2 d.1 und d.2). Dabei wird der erste Baum in nördlicher Richtung vom Einstich immer als Baum Nr. 1 und der erste Baum in südlicher Richtung als Baum Nr. 4 definiert. Baum Nr. 2 und 3 sind dann die ersten Bäume in Richtung der nach Osten laufenden gedachten Hexagonstrahlen und Baum Nr. 5 und 6 werden von den gedachten Hexagonstrahlen in westliche Richtung geschnitten. Fällt der Nadeleinstich auf eine Baumkrone (Abb. 2 d.1), so wird der getroffene Baum nicht zum Aufbau des Hexagons herangezogen. Dann erhält das Hexagon erfahrungsgemäß eine sehr gleichmäßige Form und die einzelnen Stichprobenbäume können nahezu immer reproduziert werden. Fällt der Satellitenmittelpunkt dagegen zwischen zwei Baumkronen (Abb. 2 d.2), dann liegen die Bäume Nr. 1 und 4 in der Regel relativ nahe beieinander, was eine unregelmäßige und keineswegs hexagonförmige Anordnung der 6 Probebäume zur Folge haben kann. Zur Steigerung der Reproduzierbarkeit ist in Zweifelsfällen deshalb größeres Gewicht auf die Richtung als auf die Nähe zum Satellitenmittelpunkt zu legen!

Identifikationstests haben gezeigt, daß Interpreten, die diese Regeln streng anwenden, im Mittel 22 von 24 Probebäumen gleich definieren. Damit ist ein hoher Grad der Reproduzierbarkeit gegeben. Da die Interpretationsergebnisse einzelbaumbezogen festgehalten werden (vgl. Beleg 1, S. 70), ist erstmals auch eine einzelbaumweise Kontrolle der Schätzwerte möglich geworden.

Weitere Details und eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte zur Erstellung des Stichprobenrasters und zur stereoskopischen Auswertung sind im Anhang in einer weitergehenden Arbeitsanleitung niedergelegt. Dort finden sich auch ein Schlüsselverzeichnis und Musterbelege, aus denen der Umfang der aufzunehmenden Parameter hervorgeht.

42 Aeri ale Kronenzustandserhebung für Forstbetriebe

Bezüglich der Frage, welches Inventurverfahren auf der Ebene einzelner Forstbetriebe anzuwenden ist, gilt grundsätzlich, daß die Eignung grobmaschiger terrestrischer Verfahren mit abnehmender Größe des Inventurgebietes ebenfalls abnimmt, während Luftbildverfahren wegen ihrer vollständigen Erfassung der Erdoberfläche steigende Eignung und immer bessere Repräsentanz der Ergebnisse aufweisen. Daraus folgt, daß Luftbildinventuren auf dieser Ebene die geeignetere Inventurmethode darstellen als terrestrische Verfahren (TRANKNER, 1985).

Auch eine Verknüpfung der forstbetrieblichen Luftbildinventur mit der terrestrischen Waldschadenserhebung zu einem zweiphasigen Inventurmodell ist selbst auf Forstamts-ebene wenig sinnvoll, da die terrestrische Waldschadenserhebung hier zu wenige Stichprobenpunkte und damit eine viel zu geringe Datenbasis aufweist.

In Abhängigkeit von der Größe des zu bearbeitenden Gesamtbetriebes stellt sich nach der grundsätzlichen Entscheidung für eine aeri ale Inventur als nächstes die Frage, ob der Betrieb streifenweise mit mehr oder weniger großen unbeflogenen Zwischenräumen oder vollflächig, das heißt streifenweise mit Querüberdeckung, befliegen werden soll. Auf dieser Entscheidung baut dann, vor dem Hintergrund der kleinsten auszuwertenden Befundeinheit, die Suche nach dem geeignetesten Stichprobenplan auf.

421 Flächenbefliegung

Für sehr große Forstbetriebe kann man eventuell noch eine stichprobenweise Streifenbefliegung analog zur Großrauminventur in Erwägung ziehen und prüfen, bei welchen Streifenabständen die Waldstruktur des Gesamtbetriebes ausreichend

repräsentiert wird. Hier wird aber davon ausgegangen, daß Forstbetriebe, die neben dem Interesse an einer eigenen Kronenzustandserhebung auch die nötige Finanzkraft zur Durchführung einer solchen Inventur besitzen, eine Mindestgröße von 500 ha Waldfläche aufweisen und in der Regel nicht größer als 5000 ha sind. Innerhalb dieses Intervalls und hier vor allem in der unteren Hälfte dieser Größenordnung, in der die meisten kommunalen Forstbetriebe und größeren Privatforstverwaltungen liegen, kommt jedoch nur eine Flächenbefliegung infrage.

Diese Flächenbefliegung sollte in Nord-Süd orientierten Streifen mit 60 % Längs- und mindestens 20 % Querüberdeckung erfolgen. Die Wahl des zweckmäßigsten Bildmaßstabs hängt vor allem vom Alter und der Baumartenzusammensetzung derjenigen Bestände ab, in denen noch eine einzelbaumweise Interpretation gefordert ist. Sollen - wie im Falle des Testgebietes Hohe Acht - auch junge Nadelholzbestände der 2. Altersklasse in die Interpretation einbezogen werden, so sollte ein Bildmaßstab von 1 : 4 000 gewählt werden. Ansonsten kann die Maßstabzahl wie bei Streifenbefliegungen 5 000 bis 6 000 betragen (vgl. VDI-Richtlinien 3793, Bl. 1, 1990).

422 Stichprobenplan

Die Wahl des adäquaten Stichprobenplanes hängt - wie bereits mehrfach betont - von der Frage ab, für welche Befundeinheit noch ein Ergebnismachweis gefordert ist. Sollte zu jedem einzelnen Bestand eine Aussage über den Kronenzustand der Bäume in diesem Bestand gefragt sein, so ist die Anwendung von Rasterfolien mit einem sehr engen systematischen Raster zu empfehlen, wie sie für entsprechende Fragestellungen in Niedersachsen (UEBEL, 1986) oder in Österreich (ZIRM et al., 1985) eingesetzt werden. Dies hat dann aber im vollen Bewußtsein zu geschehen, daß man keine permanenten Stichprobenorte mit identischen Kollektiven auf-

nimmt und eine einzelbaumweise Interpretationskontrolle auch nur sehr eingeschränkt möglich ist. Diese Nachteile muß man bei einem bestandesweisen Ergebnisausweis akzeptieren.

Da eine Aussage für jeden Einzelbestand eines Forstbetriebes aber in den seltensten Fällen gefordert ist, wird hier ein Stichprobenplan empfohlen, der aus einer Modifikation des Vorschlags für großräumige Streifenbefliegungen besteht und damit alle dort beschriebenen Vorteile übernimmt:

Die beflogene Fläche wird mit einem systematischen 200x200-m-Raster nach Gauß-Krüger-Koordinaten überzogen, dessen auf Wald fallende Kreuzungspunkte von der Karte auf die entsprechenden Luftbilder übertragen und dort durch Nadelstiche permanent fixiert werden. Zur Technik gelten hier dieselben Regeln wie bei der Streifenbefliegung. Auch hier wird also mit einem manuell erstellten projektiv verzerrten Raster gearbeitet, das jederzeit nachträglich photogrammetrisch eingemessen oder manuell in die Bilder einer Folgebefliegung übertragen werden kann. Im Gegensatz zur großräumigen Streifenbefliegung wird bei diesem engen Raster an den Stichprobenpunkten jedoch kein Kreuztrakt mit 4 aus je 6 Bäumen bestehenden Satelliten angelegt, sondern direkt eine Sechs-Baum-Stichprobe in Hexagonform um den Stichprobenpunkt orientiert (Abb. 2 d.1 und d.2). Die beschriebenen Regeln zur eindeutigen Definition der sechs Probestämme gelten hier entsprechend.

Damit ist für die Auswertungsebene der Forstbetriebe ebenfalls ein Stichprobendesign mit permanenten Stichprobenorten in systematischer Verteilung und identischen, kontrollierbaren Stichprobenkollektiven eingeführt worden. Mit dieser Stichprobe ist zwar keine Aussage für jeden Bestand möglich, das Raster ist aber dicht genug für Ergebnisausweis auf der Ebene von Distrikten oder Revierteilen, für Betrachtungen der Schäden bestimmter Baumarten, Altersklassen o.ä. sowie für Strukturanalysen.

Selbst für den Bestand bzw. Bestandesteil, in den ein Stichprobenpunkt fällt, kann mit der Sechs-Baum-Stichprobe bereits eine verlässliche Aussage gemacht werden, denn bei einer zufälligen Verteilung der Schäden im Bestand wird die tatsächliche Schadverteilung bereits mit einem geringen Stichprobenumfang erfaßt. Bei räumlich zufälliger Verteilung des Schadmerkmals wird unabhängig von der Häufigkeit der einzelnen Schadklassen durch eine Erhöhung des Stichprobenumfangs und der Größe der Aufnahmeeinheiten keine Steigerung der Genauigkeit erzielt (KÖHL, 1987). Weitere Details sind in der Arbeitsanleitung im Anhang geregelt.

43 Aeri ale Kronenzustandserhebung für Einzelbestände

Bei der Planung einer Luftbild-Waldschadenserhebung für Einzelbestände werden entweder Luftbilder eines zu bearbeitenden Bestandes herangezogen, die aus einer streifen- oder flächenweisen Befliegung für ein übergeordnetes Projekt vorliegen, oder sie müssen gezielt durch eine **Punktbe-
fliegung** aufgenommen werden. Wird die Punktbe-
fliegung unter Leitung eines erfahrenen Navigators vorgenommen, genügen in der Regel drei Luftbildaufnahmen, um einen Bestand vollständig stereoskopisch erfassen zu können. Ist der Bestand danach im Zentralbild etwa in Bildmitte abgebildet, so kann der Interpret wählen, ob er den nördlichen oder südlichen Stereopartner zur stereoskopischen Auswertung hinzuzieht. Da bei der bestandesweisen Auswertung in der Regel mehr Detailinformationen als bei Streifen- oder Flächenbefliegungen gefragt sind, sollte der Maßstab dieser Luftbilder, je nach Baumart und Alter des Bestandes, eher etwas größer gewählt werden. Hier haben sich Bildmaßstäbe von 1 : 4 000 bis 1 : 3 000 hervorragend bewährt.

Der erforderliche Stichprobenumfang ergibt sich aus der Frage, ob für den betreffenden Bestand eine generelle Charakterisierung der mittleren Schadensausprägung bzw. eine repräsentative Schadstufenverteilung gefordert ist, oder, ob eine Kartierung von Schadensverteilungsmustern und ein daraus abgeleiteter multitemporaler Vergleich angestrebt wird. Schadensverteilungsmuster sind nur durch aufwendige baumweise Vollaufnahmen zu kartieren, während repräsentative Schadstufenverteilungen schon mit Stichproben vergleichsweise geringen Umfangs zutreffend erfaßt werden können.

431 Baumweise Vollerhebung ganzer Bestände

In Beständen, die einen relativ schnellen Schadens- oder Genesungsfortschritt erwarten lassen, steht die Frage nach dem aktuellen Schadensverteilungsmuster zu einem bestimmten Stichtag und der Wunsch, die Entwicklung dieses Musters verfolgen zu können, immer vor der Frage nach dem globalen Kronenzustand des Bestandes.

Diese Situation liegt in Rheinland-Pfalz in zahlreichen jungen Douglasienbeständen vor, die an einer noch nicht endgültig geklärten Komplexkrankheit örtlich bestandesbedrohend erkrankt sind. Ein Schwerpunkt dieser Douglasienenerkrankung liegt in der östlichen Eifel im Bereich der Hohen Acht. Das Testgebiet Hohe Acht war für die Flächenbefliegung auf Forstbetriebsebene deshalb auch in der Hoffnung ausgewählt worden, diese Schäden dort trotz des jungen Alters der Bestände einzelbaumweise interpretieren und kartieren zu können.

Die Methode zur einzelbaumweisen Kronenkartierung ganzer Bestände und anschließender Vollerhebung des Kronenzustandes aller Bestandesglieder hat sich im Rahmen dreier Diplomarbeiten an der Universität Freiburg (MARX, 1985; HÖGER, 1987 und FÜNFGELD, 1987) für ältere stammzahlarme Be-

stände mit großkronigen Bäumen als praktikabel erwiesen. Eingebunden in dieses Forschungsprojekt ist daher in einer bei der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz durchgeführten und an der Universität Freiburg eingereichten Diplomarbeit diese Methode verfahrenstechnisch fortentwickelt und erstmals auch für stammzahlreiche Nadelholz-Jungbestände mit kleinkronigen Bäumen erfolgreich eingesetzt worden (DELB, 1989). Im konkreten Fall der erkrankten Douglasienbestände an der Hohen Acht war die Zielsetzung,

- der forstlichen Praxis eine betriebliche Entscheidungshilfe zur Beurteilung der Schadensverteilung in den terrestrisch unüberschaubaren Jungbeständen an die Hand zu geben,
- der bei der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz angelaufenen Ursachenforschung flankierende Informationen über die kleinräumlichen Schadensverteilungsmuster in Untersuchungsbeständen zu liefern und damit die Interpretation der Meß- und Analysenergebnisse zu unterstützen,
- ein bei der einzelbaumweisen Kronenzustandserfassung erarbeitetes Schadensverteilungsmuster mit Gelände- und Standortparametern bzw. der Standortskarte zu korrelieren und somit zur Ursachenforschung beizutragen und
- die Schadensdynamik bei einer später vorzunehmenden Folgebefliegung festzustellen, vergleichend zu bewerten, und gegebenenfalls zu quantifizieren.

Die einzelbaumweise Schadinterpretation erfolgt bei gleichzeitiger Orientierung in der Kronenkarte. Somit können die Ergebnisse in den einzelnen Kronenumrissen der Kronenkarte farblich, bzw. durch Schraffur (Abb 3), dargestellt werden. Zur Feststellung einer Schadensentwicklung mit Hilfe individueller Baum-zu-Baum-Vergleiche müssen die Bäume, die man in Luftbildern angesprochen hat, einzeln in den Bildern einer Folgebefliegung identifiziert werden, um sie erneut auf ihren Kronenzustand anzusprechen. Weiter besteht die Möglichkeit, die Kronenzustandsdaten mit Gelände- und Stand-

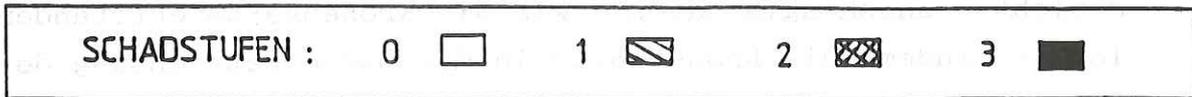
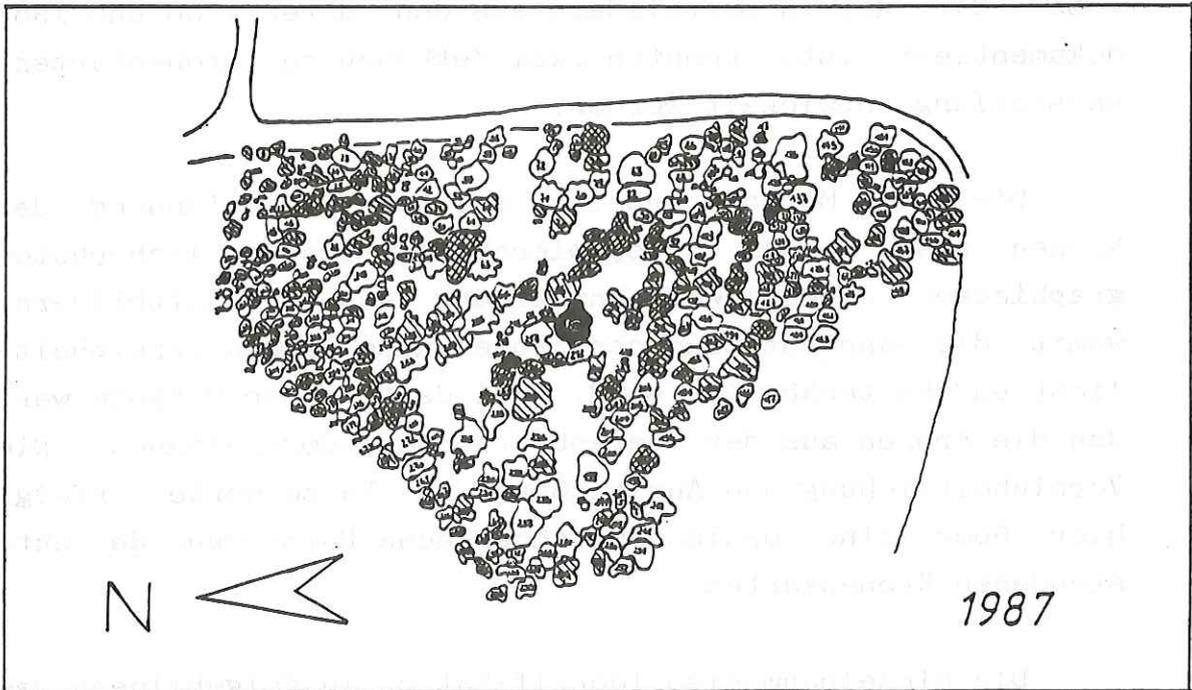
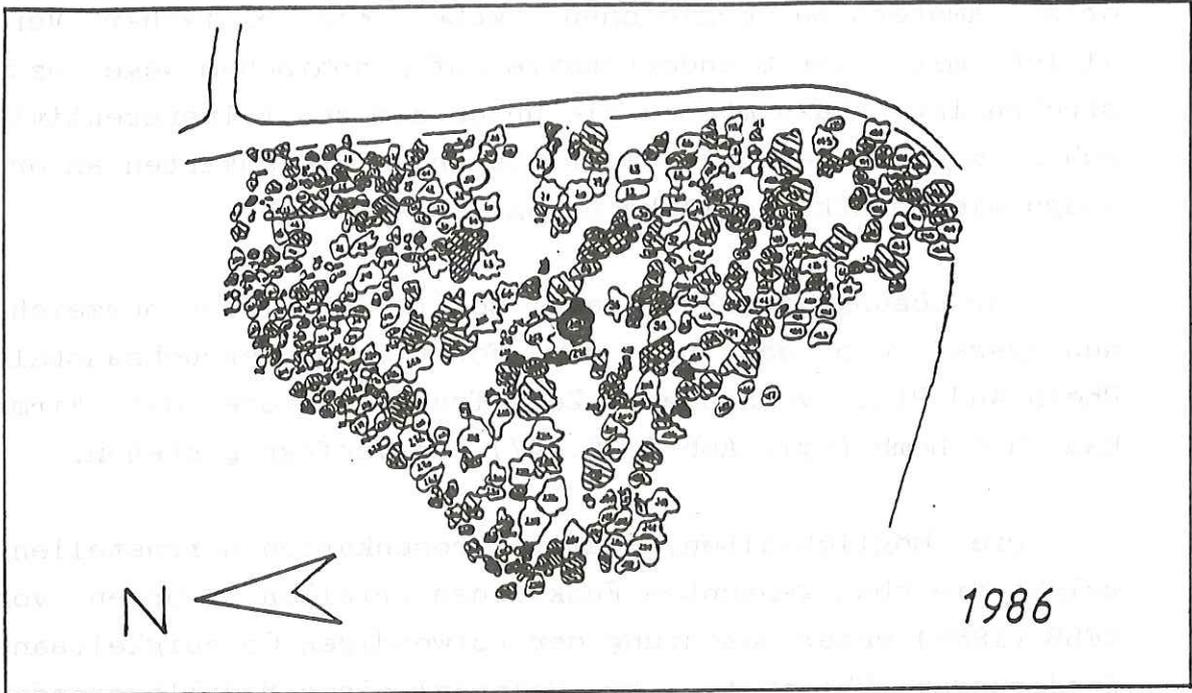


Abb.: 3
KRONENKARTE
 HERRESBACH 15 b Maßstab ~ 1:1000
FORSTAMT MAYEN
KOMBINATIONSSCHADSTUFEN
abgeändert nach DELB, 1989

ortsparametern zu vergleichen, wobei ein einfacher Vergleich mit einer Standortskarte auf graphischem Wege anzustreben ist. Dazu müssen die unter dem zentralperspektivischen Einfluß der Luftbilder stehenden Kronenkarten an orthogonale Forstkartenwerke angeglichen werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe sollte ein Stereoumzeichnungsgerät wie das bei der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz vorhandene Zoom-Transfer-Scope der Firma Bausch & Lomb (vgl. Abb 5, S. 47) zur Verfügung stehen.

Die Möglichkeiten, damit Kronenkarten herzustellen, welche die oben genannten Funktionen erfüllen, wurden von DELB (1989) unter Beachtung der notwendigen Genauigkeitsanforderungen überprüft. Am Beispiel eines Modellbestandes (Abb. 3), der in Luftbildern aus den Jahren 1986 und 1987 dokumentiert ist, konnten zwei Methoden zur Kronenkartenherstellung entwickelt werden.

Die erste Methode arbeitet mit der Hochzeichnung der Kronen über einem Photopapierabzug einer optisch-photographischen Schwarz-Weiß-Entzerrung aus CIR-Luftbildern, womit die dann entstandenen Kronenkarten schon vereinheitlicht und kartenähnlich sind. Bei der zweiten Methode werden die Kronen aus der Stereobetrachtung umgezeichnet. Die Vereinheitlichung und Angleichung an Kartenwerke erfolgt hier über eine optisch-zeichnerische Entzerrung der entstandenen Kronenkarten.

Die einzelbaumweise Identifikation in Folgebildern geschieht - unabhängig davon, wie die Kronenkarte entstanden ist - indem die Kronenkarte in die Stereobetrachtung der Folgebilder einprojiziert wird und dann die Kronen den dazugehörigen Bäumen im Raumbild zugeordnet werden. Dazu betrachtet man nur Teilflächen des Bestandes und orientiert benachbarte Kronen in Relation zueinander.

Aufgrund des geringen materialen Aufwands stellen die in dieser Arbeit entwickelten Methoden eine kostengünstige Alternative zu aufwendigen photogrammetrischen Stereokartierverfahren dar. Eine eingehende Arbeitsanweisung, wie die Kronenkarten hergestellt werden und wie sie zur Erfüllung der gestellten Aufgaben anzuwenden sind, enthält DELB (1989).

432 Vollaufnahme von Versuchspartzen nach Signalisierung

Versuchspartzen wie Waldschadens-Dauerbeobachtungsflächen oder Düngungsversuchsflächen mit verschiedenen Behandlungsvarianten werden in der Regel in relativ homogene, größere Bestände gelegt, in denen ausreichend Abstand zwischen einzelnen Teilpartzen und zum Bestandesrand eingehalten und so eine Störung durch Nebeneinflüsse ausgeschlossen werden kann. Innerhalb der Versuchsflächen werden alle Bäume einzeln nummeriert. Damit können sowohl alle meßbaren Parameter als auch die Taxation des Kronenzustands einzelbaumbezogen gespeichert und für Zeitreihen- und Wirkungsanalysen herangezogen werden.

Bei der Luftbildinterpretation fällt es oft sehr schwer, die genaue Lage der jeweiligen Versuchsfläche oder Partze innerhalb eines großen homogenen Bestandes zu erkennen und jeden nummerierten Einzelbaum zweifelsfrei zu identifizieren. Ein Baum-zu-Baum-Vergleich ist jedoch nur möglich, wenn es gelingt, jede im Luftbild sichtbare Krone der richtigen Baumnummer zuzuordnen. Dieses Problem ist bisher behelfsweise mit durch örtliche Einmessung entstandenen Stammfußkarten gelöst worden, aus denen auch auf die relative Anordnung der Baumkronen innerhalb der Versuchsfläche geschlossen werden kann (HEIDINGSFELD, 1986). Das Einhängen dieser Stammfußkarte in den gesamten Bestand muß dann über besonders markante Bäume, z.B. einer anderen Baumart, über Bestandeslücken oder ähnliches erfolgen. Ist dies nicht möglich, so ist damit auch keine sichere Identi-

rikation der Versuchsflächenbäume zu erwarten. Ein weiteres Problem ist, daß diese etwa lagegetreuen Stammfußkarten mit zentralperspektivischen, und damit weder winkel- noch längentreuen Luftbildern verglichen werden müssen.

Daher ist es zweckmäßiger, den umgekehrten Weg zu beschreiten und erst eine Kronenkarte aus dem Luftbild herauszuzeichnen, dann (ggfls. durch terrestrische Kontrolle) die Baumnummer einzutragen und auf dieser Basis schließlich eine zügige und vor allem reproduzierbare Interpretation des Kronenzustands aller Versuchsflächenbäume vorzunehmen. Eine so erstellte Versuchsflächen-Kronenkarte kann nach den von DELB (1989) beschriebenen Methoden jederzeit in die Luftbilder einer Folgebefliegung eingepaßt werden.

Dieses Vorgehen setzt voraus, daß die Möglichkeit des Einhängens der Kronenkarte nicht wie bisher dem Zufall überlassen, sondern durch eine dauerhaft luftbildsichtbare Markierung von mindestens zwei Bäumen an Eckpunkten jeder Versuchsparzelle garantiert wird. Alle bisher bekannten Verfahren zur luftbildsichtbaren Markierung von Einzelbäumen erwiesen sich vor allem wegen mangelnder Dauerhaftigkeit, aber auch wegen ihrer zum Teil unbefriedigenden Markierungsqualität als ungeeignet.

Gleichzeitig demonstrierte HAENEL, GSF, Neuherberg, die brillante Erkennbarkeit der von ihm in Zusammenarbeit mit TRANKNER, Bayerische Forstliche Versuchsanstalt, München, zur Skalierung von Farbinfrarotfilmen entwickelten Remissionstafeln. Hierbei handelt es sich um quadratische, etwa 1 qm große Hartspanplatten, deren glatte Seite deckend mit handelsüblicher, matter Fassadenfarbe schwarz, weiß, grau und mit einem binär gestaffelten Streifenmuster gestrichen oder gespritzt worden war. Diese Tafeln wurden vor der Befliegung auf Wiesenflächen ausgelegt (HAENEL, 1988). Vor allem die etwa 90 % des einfallenden Lichtes reflektierende weiße Tafel ist so gut in Luftbildern zu erkennen, daß im Rahmen dieses Forschungsprojektes versucht wurde,

solche Tafeln über der Baumspitze von Markierungsbäumen anzubringen. Zahlreiche technische Details und grundsätzliche photogrammetrische Fragen sind dazu in einer Diplomarbeit gelöst worden (DUHR, 1989).

Bei spitzkronigen Nadelbäumen wird Wipfelköpfung vorgenommen und eine Markierungstafel mit einem Trägerkörper auf der Schnittfläche befestigt. Bei Laubbäumen und breitkronigen Nadelbäumen wird die Tafel auf eine Stange montiert, mit dieser Stange durch den Kronenmantel nach oben geschoben und so fixiert, daß die Markierungstafel etwa in der Mitte über der Krone positioniert ist.

Der Trägerkörper für Nadelbäume besteht aus einem 20 cm langen PE-Rohr, auf dem eine 25x25 cm große PE-Platte aufgeschweißt ist. Damit wird eine 40x40 cm große weiße Tafel aus Kömapor (UV-stabiler aufgeschäumter PVC-Kunststoff) verschraubt und von Baumsteigern nach Abschneiden der Baumspitze auf die Schnittstelle aufgesetzt. Der Zopf des Baumes wird durch die Reichhöhe der Baumsteiger bestimmt, die bis zu einer Höhe steigen, in der der Stamm eine Stärke von etwa 8 cm hat. Mit den Händen können sie dann eine Höhe erreichen, die einen Zopf von 4 cm zuläßt. Die lichte Weite des PE-Rohres braucht deshalb nur 5 cm zu betragen. Eine Befestigung durch zwei Alustifte ist ausreichend, um den Träger gegen Abstreifen oder Herunterfallen zu sichern.

Für den Einsatz in Laubbäumen ist eine Stangenkonstruktion notwendig, die eine Mindestlänge von 3 m, besser 5 m haben muß, um sicher in der Krone befestigt werden zu können. Dabei wird auch hier eine 25x25 cm große PE-Platte auf ein langes PE-Rohr aufgeschweißt, das mit einem Holzkern aus Dachlatten versehen werden muß, um ein Abknicken zu vermeiden. Es ist zudem eine Befestigung an mehreren Punkten nötig, damit die Trägerkonstruktion weder verrutschen noch abknicken kann. Bezüglich weiterer technischer Details wird auf DUHR (1989) verwiesen.

Damit ist eine Markierungsmethode verfügbar, die folgende Bedingungen erfüllt:

- eindeutige und wirkungsvolle Markierung eines Punktes, der terrestrisch wie aerial exakt zu bestimmen ist
- dauerhafte Markierung, die auch bei Folgebefliegungen genutzt werden kann
- eine Markierung, durch die keine wesentlichen Beeinträchtigungen des stehenden Bestandes entstehen
- Anwendbarkeit in Nadel- und Laubholzbeständen aller Altersklassen

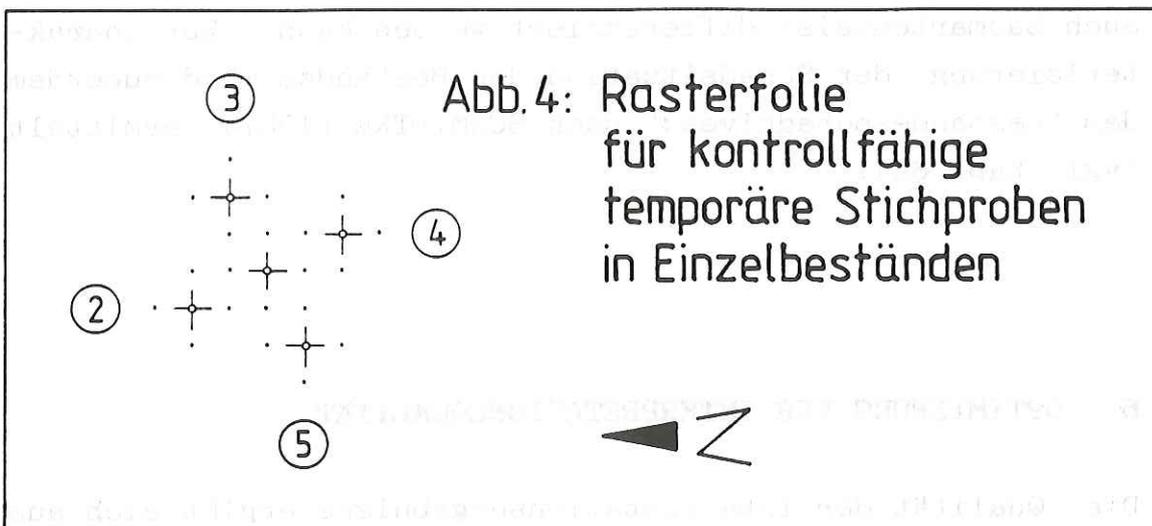
Mit dieser Methode ist es möglich, Eckpunkte von Versuchflächen jeglicher Baumart und Alter luftbildsichtbar zu signalisieren. Angesichts der noch vertretbaren Gesamtkosten von zur Zeit etwa 60.-- DM pro Nadelholzmarkierung und etwa 90.-- DM pro Laubholzvariante, wäre es sogar überlegenswert, die Mittelpunkte von permanenten Stichprobenorten in Großrauminventuren mit diesem System zu markieren.

433 Repräsentative Stichprobe aus Einzelbeständen

In allen bisher behandelten Fällen stand die Frage nach dem Kronenzustand der Bestandesglieder von ganzen oder Teilbeständen sowie nach dessen Verteilung, Struktur und einzelbaumweisen Veränderung im Vordergrund der Betrachtungen. Daneben gibt es aber auch Versuche, in denen der Kronenzustand der Versuchsbestände lediglich als stratifizierender Parameter benötigt wird. So stehen z.B. bei der Auswertung ertragskundlicher Versuchflächen selbstverständlich alle Fragen zum Waldwachstum im Vordergrund. Zur Erforschung der Frage, ob Bestände mit einem höheren Anteil geschädigter Bestandesglieder geringere Zuwächse aufweisen, muß auch der Kronenzustand dieser Versuchflächen erhoben werden.

Solange aber das Bestandeswachstum untersucht und kein "Pärchenvergleich" angestellt wird, genügt es, eine auf verlässlicher Stichprobe basierende, repräsentative Schadstufenverteilung zu ermitteln. Damit werden die einzelnen Versuchsflächen für eine Gruppierung in mehr oder weniger stark geschädigte Bestände ausreichend charakterisiert. Wenn der Stichprobenumfang nicht zu gering (< 20 Bäume) gewählt wird, dann kann auch die Schadensentwicklung mit temporären, unabhängigen Stichproben sicher beurteilt werden.

Die Forderung nach einzelbaumweiser Kontrolle der Interpretationsergebnisse wird aber aufrecht erhalten. Für solche Anwendungen ist daher eine Rasterfolie entworfen worden, auf der die bereits beschriebenen Kreuztrakte mit hexagonförmig angeordneten Sechs-Baum-Stichproben an den Satelliten wieder verwendet werden. Auf der Folie sind, etwa in der Anordnung der fünf Punkte auf einem Würfel, fünf Kreuztrakte so nahe zusammengerückt und etwas gedreht, daß der seitliche Abstand der Satelliten zweier benachbarter Kreuztrakte 5 mm beträgt, damit dem Abstand von Kreuztraktmittelpunkt und Satelliten entspricht und sich so ein systematisches Raster ergibt (Abb. 4).



Diese Folie schiebt der Interpret von Süden so ins Bild, daß der zentrale Kreuztrakt mit der nicht bezeichneten Nummer 1 etwa in der Mitte des zu bearbeitenden Bestandes liegt, fixiert die Folie vorübergehend mit einem Klebestreifen und perforiert das Luftbild an zwei gegenüberliegenden Kreuztraktmittelpunkten durch Nadelstiche. Dann wählt er von den nummerierten Kreuztrakten 2 bis 5 diejenigen zwei weiteren Kreuztrakte aus, die neben dem Zentraltrakt am weitesten vom Bestandesrand entfernt im betreffenden Bestand liegen. Das können je nach der äußeren Form des Bestandes sowohl benachbarte als auch gegenüberliegende Kreuztrakte sein.

Die so ermittelten 3 Kreuztrakte werden dann wie bei der Auswertungsebene Großraum aufgenommen. Dazu kann auch Beleg 1 verwendet werden, wobei der Eintrag der Lage- und Standortparameter (Kopfblock) entfällt. Statt dessen werden die Nummern der beiden Kreuztrakte notiert, durch deren Mittelpunkt die Perforierung vorgenommen worden war. Damit kann die Folie jederzeit wieder in gleicher Weise aufgelegt und die Interpretation kontrolliert werden.

Aus den Daten der aufgenommenen 72 Probestämme wird eine Schadstufenverteilung berechnet, die in Mischbeständen auch baumartenweise differenziert werden kann. Zur Charakterisierung der Schadsituation des Bestandes wird außerdem das "Bestandesschadniveau" nach SCHMIDTKE (1987) ermittelt (vgl. Kap. 62).

5 OPTIMIERUNG DER INTERPRETATIONSQUALITÄT

Die Qualität der Interpretationsergebnisse ergibt sich aus dem Grad ihrer einzelbaumweisen Treffsicherheit und Reproduzierbarkeit, ihrer projektinternen Einheitlichkeit und zeitlichen Konstanz der Bewertungsmaßstäbe und ihrer Ver-

gleichbarkeit zu anderen Projekten, bei denen dieselben Maßstäbe angelegt werden. Eine Steigerung der Interpretationsqualität ist daher möglich über eine generelle Standardisierung der Bildqualität aller Bildflüge, über eine Harmonisierung der anzuwendenden Interpretationsschlüssel und über Maßnahmen zur besseren Abstimmung und Kontrolle der Interpretationen.

Auf die Harmonisierung der Interpretationsschlüssel wird hier nicht näher eingegangen, da sie durch die internationale Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretationen (AFL) für die beiden wichtigsten Baumarten Fichte und Buche exemplarisch vorgenommen und erläutert wurde (AFL, 1988). In gleicher Weise abgestimmte AFL-Schlüssel für weitere Baumarten werden folgen. Auf die in diesem Projekt angewendeten Interpretationsschlüssel sei deshalb lediglich verwiesen (Anhang 2). Dabei handelt es sich zum Teil um veröffentlichte AFL-Schlüssel, in die lediglich der spezielle Farbton des betreffenden Bildmaterials eingearbeitet wurde (Fichte, Buche). Der Eichen-Schlüssel befand sich in der AFL zur Zeit der Interpretation für dieses Projekt noch in der Diskussion und wurde den Interpretationen entsprechend des Informationsstandes und der Überzeugung des Verfassers vermittelt. Bei den übrigen Schlüsseln (Douglasie, Kiefer) handelt es sich um Eigenentwicklungen, für die bereits das Aufbauschema der AFL verwendet wurde; inhaltlich geben sie aber lediglich den Kenntnisstand zur Zeit ihrer Erstellung wieder und müssen durch künftige AFL-Schlüssel ersetzt werden.

51 Standardisierung der Bildqualität

Eine für alle Bildflüge vollkommen einheitliche Bildqualität ist aus fabrikationstechnischen Gründen über einheitliches Filmmaterial nicht zu realisieren (VORETSCH et al.,

1986). Andererseits kann die Farbwiedergabe jedoch beeinflußt werden durch die Einhaltung technischer Standards bei der Befliegung, durch die Verwendung einheitlichen Filmmaterials mit nur einer Emulsions- und Chargen-Nummer pro Bildflug, durch optimale Filterung und durch standardisierte Entwicklung (VDI 3793, Bl. 1, 1990).

Eine geplante CIR-Befliegung sollte daher rechtzeitig ausgeschrieben und vor der Auftragsvergabe abgefragt werden, welche Emulsions-Nummern die bei den Flugfirmen vorrätigen oder geordneten Filme haben und wie die sensitometrischen Daten und Kurven dieses Filmmaterials aussehen. Anschließend sollte eine Testbefliegung erfolgen, damit anhand vorgelegter Testbilder und der dazugehörigen sensitometrischen Kurven die Farbbalance des Films geprüft und in Abstimmung mit der Flugfirma über die erforderliche Filterung entschieden werden kann.

Bei Anwendung der neuen Interpretationsschlüssel, in denen die Bedeutung der Farbe als Differenzierungsmerkmal relativiert und Merkmale der Kronengestalt stärker berücksichtigt werden, kommt es grundsätzlich nicht mehr darauf an, Bilder mit vollkommen gleicher Farbgebung zu produzieren. Die Qualität der Bilder wird jetzt mehr an ihrer Schärfe und farblichen Differenzierung gemessen.

52 A b s t i m m u n g d e r I n t e r p r e t e n

Vor einem Bildflug sollten spezielle **Schlüsselstreifen** ausgewählt werden, auf denen die Hauptbaumarten vorkommen und ein möglichst breites Spektrum an Kronenzustandsstufen und diverse Sondermerkmale aufweisen. Bei einmaligen Befliegungsprojekten kann es sich dabei um Abschnitte aus den Flugstreifen des jeweiligen Projektes handeln. Institutionen, die regelmäßig CIR-Befliegungen organisieren und auswerten, sollten dagegen vom Dienstsitz der Institution aus

gut erreichbare projektunabhängige Schlüsselstreifen ausweisen und diese auch bei Befliegungen anderer Regionen verwenden.

Die jeweils zusätzliche Befliegung dieser nicht im Inventurgebiet liegenden Schlüsselstreifen führt zwar zu geringfügig höheren Befliegungskosten, die jedoch durch eingesparte Arbeitszeit und Reisekosten bei weitem kompensiert werden. Fachlich bieten diese permanenten Schlüsselstreifen im Umfeld des Dienstsitzes jedoch den entscheidenden Vorteil, daß auf ihnen eine große Zahl von Schlüsselbäumen verschiedener Kronenzustandsmerkmale nur einmal ausgewählt und permanent markiert werden muß. Zum Zeitpunkt jeder weiteren Befliegung brauchen sie dann nur noch terrestrisch aufgenommen, fotografiert und in den Schlüsselbildern bezeichnet zu werden. Das insgesamt erforderliche Spektrum an Musterbäumen verschiedener Zustandsmerkmale kann auf solchen permanenten Schlüsselstreifen ständig ergänzt und variiert und damit für Folgeprojekte eine optimale Auswahl an Musterbäumen garantiert werden. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sind drei solcher permanenten Schlüsselstreifen mit einer Gesamtlänge von etwa 10 km im Umfeld um Trippstadt ausgewiesen und inzwischen mehrfach beflogen worden.

Setzt man in einem Jahr für verschiedene Teilprojekte mehrere Flugfirmen mit unterschiedlichem Filmmaterial, Kamera- und Filtertechnik ein, dann sollten diese Schlüsselstreifen von jeder Flugfirma mit ihrem Filmmaterial beflogen werden. Damit wird eine wichtige Grundlage zur Harmonisierung der Interpretation geschaffen, denn die Interpreten der verschiedenen Teilprojekte können dann trotz unterschiedlicher Bildqualitäten an denselben Bäumen und mit einer einheitlichen Musterlösung aufeinander abgestimmt werden.

Sollte eine Befliegung nicht vollständig abgewickelt werden können und anschließend, z.B. aus Witterungsgründen, eine längere Unterbrechung erforderlich sein, so müssen diese Schlüsselstreifen beim Neuansatz nochmals befliegen werden, um so den Fortgang der Vegetationsentwicklung berücksichtigen zu können.

Unmittelbar nach erfolgtem Flug hat die Flugfirma den Auftraggeber über den aktuellen Stand des Bildfluges zu informieren, um ihm eine zeitnahe terrestrische Aufnahme und Fotografie der Schlüsselbäume zu ermöglichen. Zur anschließenden Schlüsselerstellung ist eine schnelle Entwicklung und Auslieferung - zumindest der Bilder dieser Schlüsselstreifen - erforderlich.

Zur **Vorbereitung der Schlüsselerstellung** werden von den Schlüsselbeständen mit einem Stereoumzeichnungsgerät (Abb. 5) Kronenkarten hergestellt, in denen die einzelnen Musterbäume zur besseren Orientierung im Gelände markiert sind. Daran schließt sich der terrestrische Feldvergleich an, bei dem für jeden Musterbaum überprüft und festgehalten wird, welche terrestrisch sichtbaren Kronenzustandsmerkmale auch im Luftbild erkennbar sind. Diese Arbeit läßt sich durch die Verwendung von Kopflupen, wie sie auch von Optikern oder Feinmechanikern benutzt werden, wesentlich erleichtern (Abb. 6). Zur praktischeren Handhabung der Luftbilder empfiehlt es sich, diese in selbstgebauten Bilderhaltern aus Plexiglas einzuklemmen, damit die Bilder bei der Arbeit starr ins Licht gehalten und zwischendurch an einem Bindfaden umgehängt werden können.

Spätestens bei diesem Arbeitsschritt sollten die Interpreten an der Arbeit beteiligt werden.

Letzte Gewißheit über die Sichtbarkeit bestimmter Kronenmerkmale im Luftbild kann nur durch stereoskopische Kontrolle gewonnen werden. Dazu ist im Rahmen dieses Projekts aus einem handelsüblichen Leuchtpult durch Vergrößerung der

Erstellung von CIR - Interpretationsschlüsseln

Technik und Arbeitsschritte



Abb.5: Vorbereitende Kronenkartierung

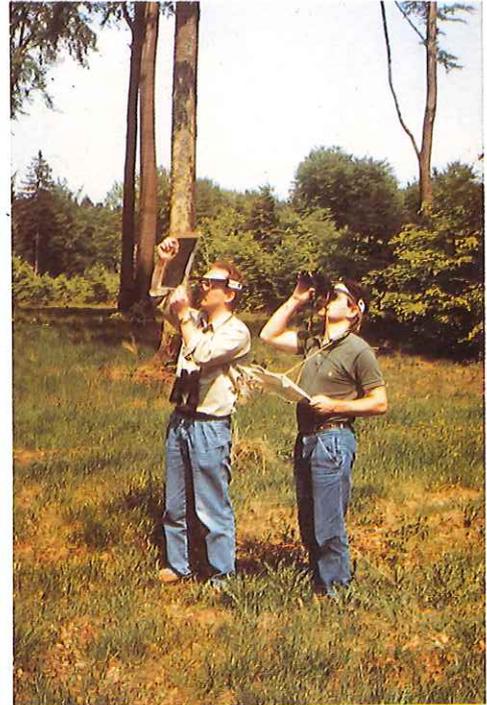


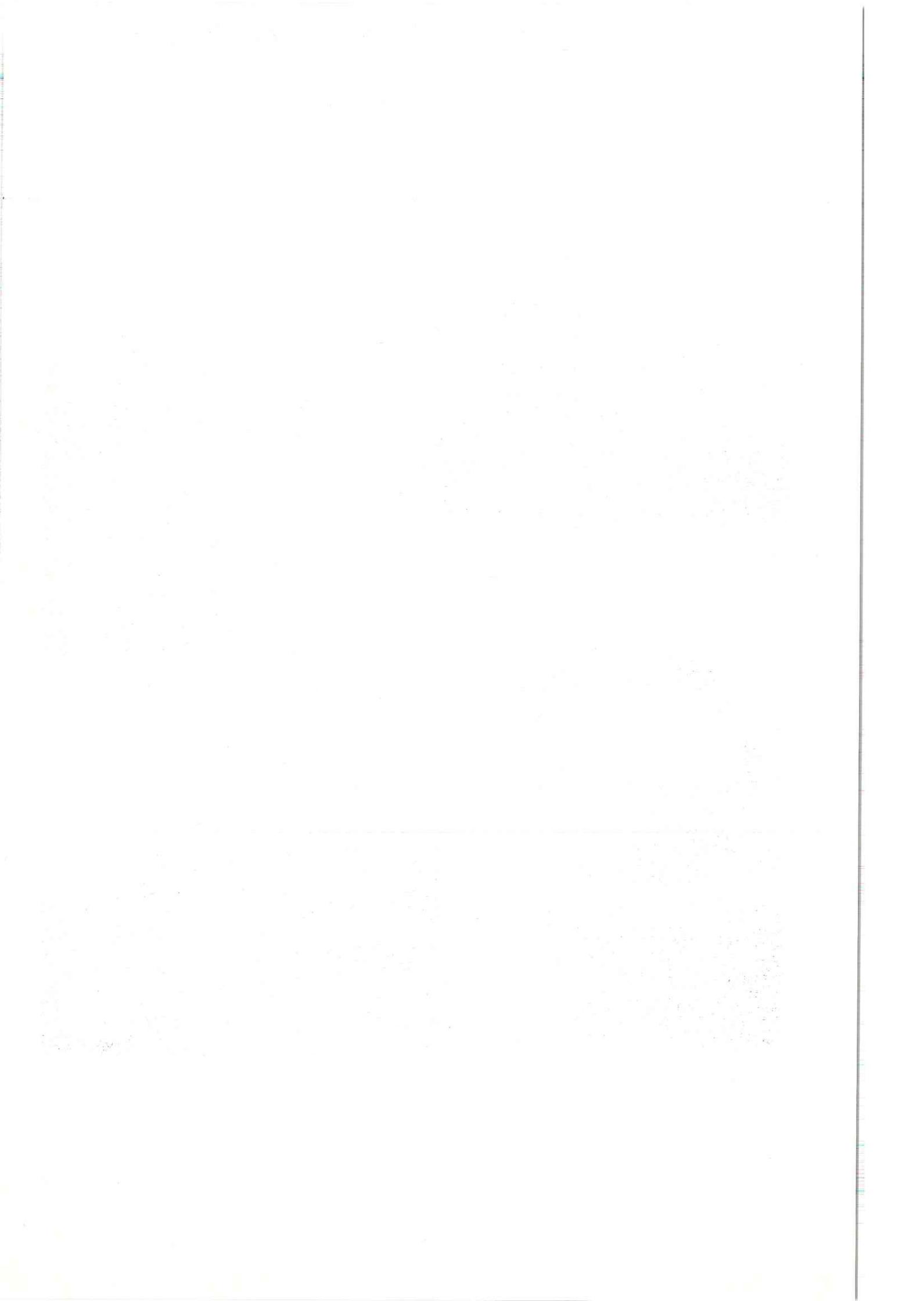
Abb.6: Terrestrischer Feldvergleich



Abb.7 : Mobile stereoskopische Kontrolle



Abb.8 : Abstimmung der Interpreten



Pultoberfläche mit einem Sperrholzrahmen ein Leuchttisch gebaut worden, der in jeden PKW-Kofferraum paßt und auf dem ein tragbares Stereoskop mit drei-, sechs- oder achtfacher Vergrößerung problemlos aufgestellt werden kann (Abb. 7). Gespeist wird dieses 220-V-Leuchtpult durch eine 12-V-Autobatterie über einen im Fachhandel erhältlichen Wechselrichter. Die so möglich gewordene mobile stereoskopische Kontrolle kann zu einer Verbesserung der terrestrischen Feldarbeit beitragen und, vor allem bei größerer Entfernung zwischen Dienstsitz und Schlüsselstreifen, beachtliche Fahrtstrecken und -zeiten einsparen, die sonst für ein mehrmaliges Aufsuchen der Schlüsselbäume erforderlich wären.

Die **endgültige Abstimmung der Interpreten** erfolgt nach so gründlicher Vorarbeit in der Zentrale an hochwertigen Stereoskopen mit Diskussionstabus und variabler Vergrößerung. Dort werden die in den Luftbildern mit Pfeilen und Nummern markierten Schlüsselbäume alle nochmals intensiv durchgesprochen und die Luftbildinterpretation mit den terrestrisch aufgenommenen Fotos dieser Bäume verglichen (Abb. 8). Gleichzeitig wird der spezielle Farbton des jeweiligen Bildmaterials in die vorhandenen Interpretationsschlüssel eingearbeitet. Durch die Verwendung von Farbtafeln (z.B. KORNERUP et al., 1963) läßt sich auch dieser Arbeitsschritt vereinfachen und objektivieren.

53 Interpretationskontrolle

Nach Abschluß der Abstimmungsveranstaltung kann die Interpretation beginnen. Die gemeinsam erarbeiteten Bewertungsmaßstäbe müssen aber, vor allem wenn die Auswertung nicht von einem hausinternen Interpretenteam sondern von verschiedenen, unabhängig voneinander arbeitenden externen Interpreten vorgenommen wird, in regelmäßigen Besprechungs- und Kontrollveranstaltungen überprüft und gefestigt werden.

Anlässlich dieser Besprechungstermine erstatten die Interpreten über ihre bis dahin gesammelten Erfahrungen mündlich Bericht.

Darüberhinaus sollten ihnen bei jedem Besprechungstermin Kontrollbilder mit mindestens einhundert markierten Probebäumen, für die es eine verbindliche Musterlösung gibt, zur Interpretation vorgelegt werden. Das können eigens für diesen Zweck präparierte Kontrollbilder, Schlüsselbilder oder auch vom Interpreten bereits bearbeitete Inventurpunkte sein. Es sollten jedoch nicht immer dieselben Bilder zur Kontrolle vorgelegt werden, da der Interpret sich sonst unter Umständen an einen Teil der Musterlösungen erinnern kann. Durch den Vergleich dieser Kontrollinterpretation mit der Musterlösung kann festgestellt werden, ob sich ein Interpret im Laufe seiner Arbeit von den vereinbarten Bewertungsmaßstäben entfernt hat. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist dem Interpreten in jedem Falle zu eröffnen, um ihn auf dieser Basis entweder zu korrigieren oder in seinen Bewertungsmaßstäben bestätigen und festigen zu können.

Da die Arbeitsqualität in der täglichen Interpretationspraxis aber nicht mit derjenigen dieser besonderen Prüfungssituation vergleichbar ist, sollte vor allem bei Einsatz mehrerer Interpreten ein Kontrollinterpret bestimmt werden, der für bereits bearbeitete Punkte eine unabhängige Kontrollinterpretation durchführt. Deren Ergebnis ist dann einzelbaumweise mit den Ergebnissen des jeweiligen Erstinterpreten zu vergleichen. Treten systematisch gerichtete Abweichungen auf, ist der Interpret ebenfalls zu korrigieren, gegebenenfalls zur Neuaufnahme bestimmter Punkte aufzufordern oder bei ungerichteten Abweichungen lediglich der Datensatz abzuändern. Auf diese Weise ist analog zur Praxis der terrestrischen Waldschadenserhebung eine weitere Optimierung der Interpretationsqualität zu erzielen.

Nach Abschluß der gesamten Interpretation sollte jeder Interpret für sein Teilprojekt einen technischen Abschlußbericht vorlegen, in dem er alle besonderen Schwierigkeiten im Stichprobenverfahren, die Struktur der Erhebungsdaten und spezielle Beobachtungen bei der Interpretation schriftlich festhält. Daraus können sich wichtige Informationen für den jeweiligen Berichtersteller, interessante Hinweise auf weitere Auswertungsmöglichkeiten sowie technische Vorschläge zur Fortentwicklung des Stichproben- und Auswertungsverfahrens ergeben.

6 DISKUSSION

61 Datenerfassung und -verarbeitung

Die gesamte automatische Datenverarbeitung ist auf PC-Ebene konzipiert. Die bei der Interpretation erhobenen Daten werden in eine dBASE-Datei (ASHTON-TATE, 1985) mit vorgegebener Struktur entsprechend der Aufnahmebelege eingegeben. Noch vorteilhafter ist es, mit einem Interpreten zusammenzuarbeiten, der selbst über einen PC verfügt, auf dem er bereits während der Interpretation eine On-line-Datenerfassung betreiben und die Daten anstelle auf Belegen bereits als dBASE-Datei übergeben kann. Das Auswertungsprogramm ermöglicht die Berechnung von Schadstufenverteilungen nach der üblichen Kombinationsmatrix für Verluststufen und Vergilbung, ausschließlich nach Nadel-/Blattverluststufen und ausschließlich nach Vergilbungsstufen. Alle übrigen Parameter können zur Stratifizierung herangezogen und so die vielfältigsten Beziehungen berechnet werden. Als Kollektive für die Auswertung können die gesamte Datei, bestimmte Befliegungsstreifen, die von einem bestimmten Interpreten erarbeiteten Teilgebiete sowie beliebige Teilkollektive bis zum Einzelpunkt ausgewählt werden.

Die Ergebnisse werden für die einzelnen Baumarten bzw. Baumartengruppen in absoluter Anzahl und in Prozent für die Stufen 0 bis 4, Summe 2 bis 4 und die Summe 1 bis 4 ausgedruckt und in eine Ergebnisdatei abgespeichert, was die weitere Bearbeitung (z.B. Darstellung mit einem Grafikprogramm) erleichtert. Weitergehende statistische Auswertungen können mit dem Statistikprogramm STASY 500 (PIC-GmbH, 1982) oder jedem anderen PC-fähigen Statistikpaket durchgeführt werden.

Zu diesem in der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz zur Zeit angewendeten Verarbeitungsgang sind selbstverständlich zahlreiche Alternativen denkbar. So könnte zum Beispiel die Datenerfassung anstelle der oben genannten Varianten Belegaufschrieb oder On-line-Eingabe auch mit Geräten zur mobilen Datenerfassung (MDE) erfolgen. Wenn Zugang zu einer Großrechenanlage oder einer Workstation mit digitaler Bildverarbeitung besteht, bietet es sich an, ein geographisches Informationssystem (GIS) aufzubauen und die Kartierungsergebnisse mit anderen Flächenstatistiken digital zu verknüpfen.

62 Präsentation der Ergebnisse

Da ein rechnerischer Ergebnismachweis für beliebige Teilkollektive des Inventurgebietes bis hinunter zum Einzelpunkt möglich ist, dürften einer sinnvoll differenzierten Auswertung keine Grenzen gesetzt sein.

Die differenziertesten Ergebnisse, die aber auch am leichtesten fehlinterpretiert werden können, bringt die Auswertung auf der Ebene der Einzelpunkte. Zur Charakterisierung der Schadenssituation in dem vom einzelnen Stichprobenpunkt betroffenen Bestand wird aus der Schadstufenverteilung das **Bestandesschadniveau** nach SCHMIDTKE (1987) gebildet. Hierbei handelt es sich um eine nach forstlichen

Kriterien gutachtlich abgegrenzte Bestandes - Schadstufenbildung, die auf die mathematisch unzulässige Bildung arithmetischer Mittel aus nicht äquidistanten Schadstufen verzichten kann. Die von SCHMIDTKE (1987) vorgeschlagenen

Tabelle 2: Definition der Bestandesschadniveaus (BSN)

- a) Kurzbeschreibung; b) allgem. Definition;
 c) Def. auf 24-Baum-Stichprobe bezogen;
 d) mathem. Definition für 24-Baum-Stichprobe
 (a+b aus SCHMIDTKE, 1987; c+d diesem nachempfunden)

BSN 0

- a) keine oder nur unbedeutende Schäden
 b) mindestens drei Viertel (75%) der Bäume sind in St. 0 und höchstens 1/20 (5%) der Bäume sind in St. 2 und St. 3
 c) min. 18 Bäume sind in St. 0
 max. 1 Baum St. 2 oder St. 3
 d) $BSN = 0 \text{ if } (N [0] \geq 18) \wedge (N [2] + N [3] \leq 1)$

BSN 1

- a) Bestände mit leichten Schäden
 b) + c) Grenzen durch Definition von BSN 0 und BSN 2 gegeben (BSN 1 hier Restklasse)
 d) $BSN = 1 \text{ if } BSN \neq 0 \wedge BSN \neq 2 \wedge BSN \neq 3$

BSN 2

- a) Bestände mit mittleren Schäden
 b) St. 2 und St. 3 zusammen mindestens ein Viertel (25 %), jedoch weniger als ein Fünftel (20 %) in St. 3
 c) min. 6 Bäume St. 2 und 0 Bäume St. 3
 oder min. 5 Bäume St. 2 und 1 Baum St. 3
 oder min. 4 Bäume St. 2 und 2 Bäume St. 3
 oder min. 3 Bäume St. 2 und 3 Bäume St. 3
 oder min. 2 Bäume St. 2 und 4 Bäume St. 3
 d) $BSN = 2 \text{ if } (N [2] \geq 6) \wedge (N [3] = 0) \vee (N [2] \geq 5) \wedge (N [3] = 1) \vee (N [2] \geq 4) \wedge (N [3] = 2) \vee (N [2] \geq 3) \wedge (N [3] = 3) \vee (N [2] \geq 2) \wedge (N [3] = 4)$

BSN 3

- a) Bestände mit schweren Schäden
 b) mehr als ein Drittel (33,3 %) der Bäume sind in St. 2 und St. 3 wobei mehr als ein Zehntel (10 %) in St. 3 sein müssen, oder ein Fünftel (20 %) der Bäume und mehr sind in St. 3
 c) mind. 5 Bäume St. 2 und 3 Bäume St. 3
 oder mehr als 4 Bäume sind in St. 3
 d) $BSN = 3 \text{ if } (N [2] \geq 5) \wedge (N [3] \geq 3) \vee (N [3] \geq 5)$

Definitionen für die Bestandesschadniveaus 0 - 3 wurden daher auf die 24-Baum-Stichproben dieses Stichprobenverfahrens umgerechnet (Tabelle 2).

Die so ermittelten Bestandesschadniveaus der einzelnen Stichprobenorte werden auf einer Deckfolie zur topographischen Karte 1 : 50 000 kartographisch dargestellt (Abb.9). Auf diese Weise können Schadensschwerpunkte deutlich sichtbar gemacht werden.

Bei Auswertungen auf Betriebs- oder Bestandesebene wird analog verfahren.

63 Validität des Verfahrens

Diese Verfahrensbeschreibung beschränkt sich bewußt auf methodische Anregungen, denn bei der Entwicklung und Erprobung eines Inventurverfahrens ist es selbstverständlich keine vorrangige Aufgabe, Inventurergebnisse zu erarbeiten. Da bei der Praxiserprobung aber zwangsläufig Inventurergebnisse anfallen, die es in einer größeren Zusammenschau andernorts darzustellen und zu bewerten gilt, sollen hier lediglich die Wuchsgebietsergebnisse der vier Großrauminventuren als Praxisbeispiel dargestellt und mit terrestrischen Erhebungsdaten verglichen werden.

Für die **Westefel** zeigt die großräumige Luftbildinventur das auch aus früheren terrestrischen Erhebungen bekannte, vergleichsweise niedrige Schadniveau von knapp 40 % Gesamtschäden und bei allen Baumarten deutlich niedrigeren Schäden als in anderen Gebieten (Tabelle 3). Dies beruht darauf, daß in der Westefel fast keine Althölzer vorkommen. Die wenigen Altbestände sind jedoch ebenso wie in anderen Gebieten zu ca. 70 % geschädigt.

Tabelle 3: Ergebnisse der großräumigen Luftbild-Waldschadenserhebungen 1987 und 1988 im Vergleich zur terrestrischen Vollstichprobe des jeweiligen Wuchsgebietes

	Westeifel 1987						Westerwald 1987							
	N	a		b		c	N	a		b		c		
	t	t	LB	t	LB	t	LB	t	LB	t	LB			
Fichte	52	48	40	37	7	8	42	51	33	58	6	17		
Kiefer	2	7	90	41	10	8	4	1	71	69	0	31		
Buche	18	16	40	50	3	12	33	15	44	71	5	26		
Eiche	15	6	48	48	2	10	13	13	32	66	0	25		
	<u>864</u>						<u>1102</u>							
Gesamt	5748	100	100	39	39	5	11	3447	100	100	36	58	8	19

	Hunsrück 1988						Pfälzerwald 87/88							
	N	a		b		c	N	a		b		c		
	t	t	LB	t	LB	t	LB	t	LB	t	LB			
Fichte	52	49	43	46	9	13	10	11	80	47	15	12		
Kiefer	4	3	36	55	3	18	44	42	63	53	8	16		
Buche	13	22	68	65	17	21	24	28	82	60	18	26		
Eiche	18	4	63	63	22	27	8	7	81	60	17	21		
	<u>1992</u>						<u>1896</u>							
Gesamt	16507	100	100	47	50	12	15	17309	100	100	67	53	13	18

a = Baumartenanteil (%)

b = Summe geschädigt oder geschwächt (Stufe 1-4 in %)

c = Summe deutlich geschädigt (Stufe 2-4 in %)

t = Ergebnis der terrestrischen Erhebung

LB= Ergebnis der Luftbildinterpretation

Im **Hohen Westerwald** sind die Bäume nach der Luftbild-Intensiv-Waldschadenserhebung zu fast 60 % geschädigt oder geschwächt. Die im Jahr vorher aufgenommene terrestrische Vollstichprobe hatte für dieses Gebiet deutlich niedrigere Schäden festgestellt. Diese Differenz ist vermutlich auf durch unterschiedliche Stichprobenumfänge deutlich verschiedene Datenstrukturen zurückzuführen. Die am stärksten geschädigte Baumart ist hier die Buche; das Gesamtergebnis wird jedoch wesentlich durch den ebenfalls schlechten Kronenzustand der Hauptbaumart Fichte geprägt.

Im **Hunsrück** belegen beide Inventurverfahren, daß etwa 50 % der Bäume geschädigt oder geschwächt sind und zeigen auch, daß Buche und Eiche hier weit überdurchschnittlich stark geschädigt sind.

Weniger gut ist die Übereinstimmung zwischen terrestrischer Erhebung und Luftbildinterpretation im **Pfälzerwald**, wo die Ergebnisse aber in der gleichen Größenordnung liegen. Diese Unterschiede mögen ebenfalls auf unterschiedlichen Datenstrukturen basieren, können aber auch an dem hohen Anteil an Kiefern liegen, die terrestrisch nach der rheinland-pfälzischen Nadeljahrgangsbewertung (FRAUDE 1987) sehr sicher angesprochen werden können, im Luftbild aus Gründen der Vorsicht aber eher zu positiv bewertet werden.

Mit dieser Gegenüberstellung soll keineswegs schon ein Verfahrensvergleich versucht werden, der erst nach weiterer Bearbeitung mit umfassender statistischer Absicherung möglich wäre. Hier soll lediglich ein erster Eindruck vermittelt werden, welche Probleme bei der Einbindung intensiv erhobener Inventurdaten in bereits veröffentlichte Ergebnisse eines weniger dichten Stichprobenrasters entstehen können. Solche Probleme sind vermeidbar, wenn für multitemporale Vergleiche immer nur die Ergebnisse desselben Stichprobenrasters herangezogen werden.

Hier stellt sich auch die nach wie vor ungeklärte Frage, ob weitmaschige Kastererhebungen wie die terrestrische Waldschadenserhebung bei der Auswertung auf der Ebene von Wuchsgebieten nicht teilweise überfordert sein könnten. Diese Frage bedarf künftig näherer Prüfung. In großen Wuchsgebieten mit hohem Stichprobenumfang scheint aber auch die terrestrische Erhebung bereits verlässliche Gesamtergebnisse zu liefern, während der bis zu 12-fach höhere Stichprobenumfang der Luftbild-Waldschadenserhebung wesentlich sicherere Differenzierungen und Teilauswertungen erlaubt. In kleineren Wuchsgebieten ist dagegen in jedem Falle der Luftbild-Waldschadenserhebung der Vorzug zu geben. Dies gilt erst recht auf der Ebene von Forstbetrieben, für die das hier vorgeschlagene 200 x 200-m-Raster als flexibles Muster zu verstehen ist, das je nach Fragestellung und verfügbarer Finanzmittel beliebige Variationen offen läßt, jedoch mindestens als systematisch verteilte Stichprobe angelegt werden sollte.

64 Methodisch - organisatorische Erfahrungen

Das gesamte Inventurkonzept ist unter der Prämisse entwickelt worden, daß auch Luftbild-Waldschadenserhebungen als Stichprobeninventuren mit einzelbaumweiser Kronenzustandserfassung an permanenten Stichprobenkollektiven und einzelbaumweiser Kontrolle der Interpretationsergebnisse durchzuführen seien. Das Verfahren konkurriert daher weder mit flächenhaften Interpretationsansätzen noch mit Methoden der automatischen Bildauswertung.

Die bisher vorliegenden Erfahrungen haben gezeigt, daß die mit Hilfe neuer Interpretationsschlüssel verbesserte Reproduzierbarkeit der Interpretationsergebnisse durch Maßnahmen zur Abstimmung der Interpreten und durch eingehende

Interpretationskontrolle genutzt und die allgemeine Interpretationsqualität deutlich optimiert werden kann. Vollständige Objektivität wird jedoch niemals zu erreichen sein, da die Interpretation immer eine Schätzung bleiben wird. Gegenüber einer automatischen Bildererkennung beinhaltet diese Schätzung aber auch den Vorteil, neben der Farbe v.a. auch die vielfältigsten Gestaltsmerkmale erkennen und in die Bewertung einbeziehen zu können.

Ein abschließendes Urteil über ein neues Verfahren ist auch nur unter Berücksichtigung der entstehenden Kosten und deren Vergleich mit alternativen Verfahren möglich.

Nach bisher vorliegenden Erfahrungen kann ein Interpret nach dem hier vorgestellten Verfahren pro Tag im Mittel 8 Stichprobenpunkte mit 24 Probebäumen bearbeiten. Demgegenüber liegt die tägliche Arbeitsleistung bei dem baden-württembergischen Verfahren bei etwa 15 Punkten mit 20 Bäumen und in der terrestrischen Waldschadenserhebung bei 4 Aufnahmepunkten pro Tag und Zwei-Mann-Team.

Kalkuliert man die Arbeitskosten für einen wissenschaftlich ausgebildeten Luftbildinterpreten mit 400.- DM pro Tag, so kostet die Bearbeitung eines Aufnahmepunktes

- bei dem hier vorgestellten Verfahren 50.- DM
- beim baden-württembergischen Verfahren 25.- bis 30.- DM
- in der terrestrischen Waldschadenserhebung 200.- DM.

In diesen Faustzahlen sind lediglich die direkt vergleichbaren Kosten der reinen Datenerhebung, jedoch keine Kosten für Schulung, Kontrolle, Verwaltung oder Reisekosten enthalten.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zur Entwicklung eines Inventurkonzeptes, das sich auf der Auswertungsebene Großraum besonders zur systematischen Integration in die terrestrische Waldschadenserhebung eignet, wurden alle aus der einschlägigen Literatur zu gewinnenden Methodenkenntnisse zusammengetragen und in der Praxis getestet. Die in diesem Inventurverfahren geforderte Einbindung in die landesweite Waldschadenserhebung bedingt vor allem höhere Ansprüche an Treffsicherheit, Reproduzierbarkeit und Kontrollierbarkeit der Ergebnisse als es bei kleinräumlichen und meist unter einer speziellen Fragestellung vorgenommenen Luftbildinventuren früher üblich war. Daher wird hier ein anwendungsreifes Stichprobenverfahren vorgestellt, das analog zur terrestrischen Waldschadenserhebung eine einzelbaumweise Kontrolle der Ergebnisse ermöglicht und auch nachträglich noch Rasterverdichtungen zuläßt. Deswegen wird es für künftige Inventuren empfohlen.

Die wesentlichen Charakteristika dieses Verfahrens sind:

- ausschließlich lagedefinierte, permanente Stichprobenorte
- in systematischer Verteilung mit
- identischen Stichprobenkollektiven, an denen zudem eine
- einzelbaumweise Kontrolle der Schätzergebnisse möglich ist.

Neben diesem flexiblen Stichprobenplan für Großrauminventuren werden parallel dazu aus gleichen Grundbausteinen bestehende modulare Stichprobenverfahren für die Ebenen von Forstbetrieben und Einzelbeständen angeboten.

Die Anwendung streng nach X-Y-Koordinaten ausgerichtet, zwar manuell erstellter, aber im Vergleich zu anderen Verfahren gleichwertiger projektiv verzerrter Raster gewährleistet, daß bei Folgeinventuren identische oder annähernd identische Stichprobenorte aufgenommen werden können. Auch die Stichprobenkollektive der Erst- und Folgeinventur

werden dann weitgehend identisch sein. Damit wächst die Aussicht, festgestellte Veränderungen statistisch absichern zu können.

Die wesentlichste Voraussetzung dafür ist jedoch, daß bei der manuellen Übertragung der Stichprobenorte von der Karte ins Luftbild, bzw. von Luftbildern einer Erstbefliegung in diejenigen einer Folgeinventur, keine oder zumindest keine größeren Lagefehler als bei Einsatz analytisch-photogrammetrischer Geräte entstehen. Die offen gehaltene Option für einen nachträglichen Wechsel zum Einsatz solcher Geräte deutet daher die Zielrichtung der Entwicklungs- und Ausbaufähigkeit dieses Verfahrens an. Künftig gilt es, den Sektor der Geräteentwicklung sehr genau zu verfolgen, damit die zur Zeit noch unverhältnismäßig teuren analytisch-photogrammetrischen Auswertegeräte zur Praxisreife geführt, preiswerter angeboten und dann auch in der Praxis etabliert werden.

Dann bleibt zu prüfen, ob das vorgestellte Verfahren die nötige Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an moderne technische Entwicklungen besitzt.

Für den Arbeitsbereich der eigentlichen Interpretation bedeuten die hier vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verbesserung der technischen Abwicklung, der Vorbereitung, Abstimmung und Kontrolle sicher einen weiteren Schritt zur Optimierung der Interpretationsqualität. Neue Fragestellungen, wie beispielsweise der Bedarf nach vollflächiger Kartierung deutlich bis letal geschädigter Waldbestände zur gezielten Einleitung waldbaulicher Sanierungsmaßnahmen, neue technische Entwicklungen auf dem Sektor der digitalen Bildverarbeitung oder die Nachfrage nach weiteren differenzierten Interpretationsschlüsseln werden jedoch für zusätzliche Entwicklungsmöglichkeiten sorgen.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

	Seite
1 Fluggebiete und Lage der Flugstreifen	11
2 Stichprobenplan für großräumige Luftbild- Waldschadenserhebungen	26
3 Kronenkarte Herresbach 15 b 1986 u. 1987	35
4 Rasterfolie für kontrollfähige temporäre Stichproben in Einzelbeständen	41
5 Vorbereitende Kronenkartierung	47
6 Terrestrischer Feldvergleich	47
7 Mobile stereoskopische Kontrolle	47
8 Abstimmung der Interpreten	47
9 Kartographische Darstellung der Einzelpunkt- ergebnisse im Maßstab 1 : 50 000	53
10 Arbeitskarte TK 25 für Streifenbefliegungen	69
11 Arbeitskarte TK 25 für Flächenbefliegungen	76

TABELLENVERZEICHNIS

1 Technische Daten der Bildflüge	12
2 Definition der Bestandesschadniveaus	52
3 Ergebnisse der großräumigen Luftbild-Wald- schadenserhebungen 1987 und 1988 im Vergleich zur terrestrischen Vollstichprobe des jeweiligen Wuchsgebietes	55

LITERATURVERZEICHNIS

ARBEITSGRUPPE FORSTLICHER LUFTBILDINTERPRETEN (AFL, 1988):

Auswertung von Color-Infrarot-Luftbildern; Praktische Anleitung zur Kronenzustandserfassung durch visuelle Interpretation von Einzelbäumen. Wien, Freiburg: Selbstverlag AFL, 32 S.

ASHTON-TATE (1985): dBASE III PLUS. Handbuch: Einführung/ Benutzungsanleitung. Copyright Ashton-Tate 1985.

BEUTEL, E. (1986): Infrarot-Color-Luftbildbefliegung 1984 im Rhein-Hunsrück-Kreis. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 442-444

FBW (1986): 2. Bericht des Forschungsbeirates Waldschäden/ Luftverunreinigungen (FBW) der Bundesregierung und der Länder, Verlag Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH.

DELB, H. (1989): Einzelbaumweise CIR-Luftbildinterpretation zur Kartierung kleinräumlicher Schadensverteilungsmuster in geschädigten Douglasienbeständen. Diplomarbeit Freiburg 1989, 92 S.

DUHR, M. (1989): Ein Verfahren zur dauerhaften Markierung von Einzelbäumen und Stichprobenkollektiven zur Wiedererkennung in CIR-Luftbildern. Diplomarbeit Freiburg 1989, 131 S.

FRAUDE, H.-J. (1987): Zur Anzahl der Nadeljahrgänge der Waldkiefer. Der Forst- und Holzwirt 42: S. 415-417

FUNFGELD, H. (1987): Untersuchung der Zustandsentwicklung 1983-1985 von Waldbeständen verschiedenen Alters durch Luftbildinterpretation. Diplomarbeit Freiburg, 76 S.

- HAENEL, K.S.** (1988): Remissionstafeln zur Skalierung von Farbinfrarotfilmen; praktische Hinweise. Unveröffentlichte Studie. In den Akten des Autors, 7 S.
- HARTMANN, G.** (1984): Waldschadenserfassung durch Infrarot-Farbluftbild in Niedersachsen. Der Forst- und Holzwirt 39: S. 131-142
- HARTMANN, G., R. UEBEL und R. STOCK** (1985): Zur Verbreitung der Nadelvergilbung an Fichte im Harz. Der Forst- und Holzwirt 40: S. 286-292
- HEIDINGSFELD, N.** (1986): Nutzung von Infrarot-Color-Luftbildern zur Ermittlung von Waldschäden in Rheinland-Pfalz. Der Forst- und Holzwirt 41: S.430-433
- HEIDINGSFELD, N.** (1987): Fünf Jahre Waldschadenserhebungen in Rheinland-Pfalz - Von der BML-Umfrage 1982 zur integrierten Waldschadenserhebung 1987. Der Forst- und Holzwirt 42: S. 418-419
- HILDEBRANDT, G.** (1983): Studie zur Durchführung einer landesweiten Inventur zur Erfassung und Beobachtung der Waldschäden in Baden-Württemberg. Unveröff. in den Akten d. Landesforstverwaltung B-W u. beim Autor, 24 S.
- HILDEBRANDT, G.** (1984): Zur Festlegung und Lagedefinition der Stichprobenorte im Luftbild bei der Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 und möglichen Folgeinventuren. Mitt. d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Heft 111, S. 119-129
- HILDEBRANDT, G., O. GRUNDMANN, H. SCHMIDTKE, und P. TEPASSÉ** (1986): Entwicklung und Durchführung einer Pilotinventur für eine permanente europäische Waldschadensinventur. KfK-PEF 11, 84 S.

HILDEBRANDT, G. et al. (1987): Untersuchungen zur Methodik großräumiger und betrieblicher Erfassung von Waldzustandsänderungen durch Fernerkundung. In: Schriftenreihe des BML, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 341, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 1987, S. 72-87

HÖGER, T. (1987): Rekonstruktion des Schadensverlaufes in vier Beständen des Freiburger Stadtwaldes. Eine Untersuchung mittels Infrarot-Farbluftbildern der Jahre 1971, 1980, 1985. Diplomarbeit, Freiburg, 109 S.

HRADETZKY, J. (1984): Fehlertheoretische Überlegungen bei der Planung und Auswertung von Stichprobeninventuren. Mitt. d. Forstl. Versuchs- u. Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 111, S. 131-146

KÖHL, M. (1987) Aufnahmemethoden für Waldschadensinventuren in Abhängigkeit von der räumlichen Verteilung. KfK-PEF 12, S. 81-86

KORNERUP, A. u. J.H. WANSCHER (1963): Taschenlexikon der Farben. Muster-Schmidt Verlag, Zürich, Göttingen, 3. unveränderte Auflage 1981.

KUHL, W.-E. (1985): Colour Infrared Air-Photointerpretation by Hexagon-Methods to detect Forest Decline in Northrhine - Westphalia. In: Inventorying and Monitoring Endangered Forests. IUFRO Conference Zürich 1985, pp. 167-169

KUHL, W.E. (1987): Waldschadenssituation in der Nordeifel: Ergebnisse einer Colour-Infrarot-Luftbildauswertung. Forstarchiv 58: S. 13-18

- MARX, U.** (1985): Untersuchung über die Entwicklung des Gesundheitszustandes von Tanne, Fichte und Buche im Gebiet des Hochschwarzwaldes anhand von Infrarot-Farbluftbildern im Zeitraum 1978 und 1983. Diplomarbeit Freiburg, 119 S.
- NIEHAUS, G.** (1986): Zur Verbreitung der Kiefern-Chlorosen im niedersächsischen Tiefland. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 435-438
- PIC-GmbH** (1985): STASY-500; Statistiksystem für Micro-computer, München 1982.
- RUNKEL, M. u. H. KENNEWEG** (1986): Waldschadens- und Waldstrukturanalyse Schleswig-Holstein. Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung. Schriftenreihe des Fachbereiches Landschaftsentwicklung der TU Berlin, Band 36, Berlin 1986 125 S.
- SCHMIDTKE, H.** (1987): Zur Definition von Schadniveaus für bestandes- und betriebsweise Waldschadensinventuren. Allg. Forstzeitschrift 43: S. 930-932
- SCHÖPFER, W. und J. HRADETZKY** (1984): Waldschadensinventur mit Infrarot-Farbluftbildern/Ergebnisse u. Erfahrungen. Mitt. d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 111, 146 S.
- SCHWARZENBACH, F.H., B. OESTER, H.U. SCHERRER, H. GAUTSCHI, R. EICHRODT, R. HÜBSCHER und M. HAGELI** (1986): Flächenhafte Waldschadenserfassung mit Infrarot-Luftbildern 1 : 9 000. Methoden und erste Erfahrungen. Berichte d. Eidgen. Anstalt f.d. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf, Nr. 285, 76 S.
- STRELETZKI, H.-W.** (1987): Überprüfung der Waldschadensentwicklung 1987 durch Unterstichproben. Der Forst- und Holzwirt 42: S. 317-318.

TRANKNER, H. (1985): Integrierte Waldzustandserfassung. In: Inventorying and Monitoring Endangered Forests; IUFRO Conference Zürich, pp. 273-276

TRANKNER, H. und A. TROYCKE (1988): Der Einsatz von CIR-Luftbild-Programmen in Bayern. Allgem. Forstzeitschrift 43: S. 17-20

UEBEL, R. (1986): Praxis der Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern zur Waldschadenserfassung in Niedersachsen. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 426-430

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI, 1990): Richtlinie Nr. 3793: Messen von Vegetationsschäden am natürlichen Pflanzenstandort. Blatt 1: Verfahren der Luftbilddaufnahme mit Color-Infrarot-Film zur Wirkungsfeststellung an Kronen von Laub- und Nadelgehölzen. Düsseldorf, im Druck.

VORETZSCH, A., P. HERMS u. G. HARTMANN (1986): Standardisierung von CIR-Luftbildern - Gegenwärtiger Stand der Möglichkeiten. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 420-426

ZINDEL, U. (1989): Betriebsbezogene Waldschadenserhebung aus Farbinfrarot-Luftbildern am Beispiel des Hessischen Forstamtes Kaufungen. Forschungsber. d. Hess. Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 7, 70 S.

ZIRM, K., F. FIBICH, J. HACKL, H. MALIN, H. MAUSER und M. WEINWURM (1985): Erhebung der Vitalität des Waldes in Vorarlberg. 1. Untersuchungsergebnisse. Österr. Bundesinst. f. Gesundheitswesen, 95 S.

ANHANG 1

Arbeitsanleitung zur Luftbild-Waldschadenserhebung

	Seite
1 Auswertung großräumiger Streifenbefliegungen	68
11 Erstellung des Stichprobenrasters	68
12 Stereoskopische Auswertung	71
2 Auswertung von Flächenbefliegungen für Forstbetriebe	75
21 Erstellung des Stichprobenrasters	75
22 Stereoskopische Auswertung	75

ARBEITSANLEITUNG ZUR LUFTBILD - WALDSCHADENSERHEBUNG

1 A u s w e r t u n g g r o ß r ä u m i g e r S t r e i f e n b e f l i e g u n g e n

11 E r s t e l l u n g d e s S t i c h p r o b e n r a s t e r s

Die Standardkartengrundlage zur Erstellung des systematischen 0,3x1-km-Rasters ist die topographische Karte im Maßstab 1 : 25 000 (TK 25).

Die einzelnen Arbeitsschritte sind:

- a) Übertragung der Flugachse (Gauß-Krüger-Gitterlinie, auf der befliegen werden sollte) und die Lage jedes 3. Luftbildes (Umriß des abgebildeten Geländeausschnitts) auf die TK 25 zur Kontrolle der Flugroute und zur späteren Orientierung in welchen Bildern ein bestimmter Rasterpunkt zu bearbeiten ist (Muster vgl. Abb.10, S.66). Falls die tatsächliche Flugroute zu weit von der vorgegebenen Flugachse abweicht, so daß ein seitlicher Stichprobenort nicht in einem Luftbild abgebildet ist, wird der Stichprobenort um 100 m, in extremen Fällen um 200 m, zur Flugachse verschoben. Dieses Vorgehen erwies sich 1987 und 1988 nur in sehr wenigen Fällen als nötig, da die vorgegebenen Flugachsen und die entsprechenden Flugrouten fast immer übereinstimmten.
- b) Eintragung des Rasters auf TK 25 als senkrecht zur Flugachse verlaufende Verbindungslinien zwischen den beiden äußeren Rasterpunkten gleichen Hochwerts (Abb. 10).



Abb. 10: Arbeitskarte TK 25 für Streifenbefliegungen mit ein-
getragener Flugachse, dem Umriß jeden 3. Bildes, ein-
gekennzeichneten Stichprobenpunkten und deren Nummern

- c) Übertragung aller auf Wald fallenden Punkte auf diejenigen Luftbilder, auf denen die Punkte im Mittelteil gelegen sind;
- dabei Kontrolle, ob der jeweilige Punkt tatsächlich auf Wald fällt.
 - Es werden nur Waldpunkte im Luftbild markiert und numeriert, d.h. der Stichprobenmittelpunkt eingestochen und wie folgt auf der Bildhülle bezeichnet.
 - Erst dann werden die entsprechenden Punktnummern in die TK 25 eingetragen und die Punkte wie auf der Bildhülle (s.u.) markiert. Die Numerierung folgt den steigenden Werten der Gauß-Krüger-Koordinaten und entspricht der Nummernvergabe im Luftbild und auf dem Beleg.
 - Bestockte und interpretierbare Waldpunkte werden auf der Bildhülle durch einen Kreis (Durchmesser etwa 25 mm) markiert und die Punktnummern im Winkel 45° notiert, so daß sie sowohl unter dem Stereoskop als auch im Ordner lesbar sind. Nicht bestockte Waldpunkte werden auf der Bildhülle durch ein Kreuz und die zugehörige Punktnummer markiert. Das gleiche gilt für Waldpunkte, an denen eine Interpretation z.B. wegen nicht erkennbarer Einzelkronen nicht möglich ist.
 - Der Einstich der Satellitenmittelpunkte erfolgt nur an mit Waldbäumen bestockten und interpretierbaren Aufnahmepunkten, so daß nur in diesen Fällen 5 Einstiche und Kreise auf der Bildhülle sichtbar bleiben. Nicht bestockte oder bestockte aber zur Zeit nicht einzelbaumweise interpretierbare Waldpunkte sind also nur durch einen Nadelstich am Stichprobenmittelpunkt und ein Kreuz mit der Punktnummer zu erkennen. Damit ist vorgesorgt, daß diese Punkte zu einem späteren Zeitpunkt als bestockt bzw. nach Heranwachsen zu interpretierbaren Kronengrößen in die Stichprobe aufgenommen werden können. Ebenso wie an nichtbestockten Punkten der terrestrischen Waldschadenserhebung "ruht" die Aufnahme an diesen Punkten also nur.
 - Grundsätzlich gilt, daß die Perforierung der Luftbilder nur mit Hilfe sehr feiner Nadelspitzen erfolgen darf, die keine Ausbördelung auf der Bildunterseite hervorrufen. Dies wird dadurch erreicht, daß der Einstich in das auf

über Glasplatte plan aufliegende Luftbild erfolgt, ohne durchzustechen. Hierzu sollte das Luftbild - wenn die o.g. Forderung nicht anderweitig erfüllbar ist - aus der Schutzhülle herausgenommen werden.

- Außerhalb des Waldes erfolgt kein Einstich ins Luftbild.

- d) Anlage eines Aufnahmebelegs je Aufnahmepunkt (vgl. Beleg 1, S.70)
- e) Eintragung der aus der TK 25 ablesbaren Lage- und Standortparameter (vgl. Beleg 1 und Schlüsselverzeichnis S. 71, Parameter 1 bis 12).

12 Stereoskopische Auswertung

Ausgewertet werden nur Waldpunkte, die im Jahr der Aufnahme mit Bäumen bestockt sind und deren Bestandesstruktur (nach Alter etc.) eine einzelbaumweise Schadansprache zuläßt. Pro Aufnahmepunkt werden 4 Sechs-Baum-Stichproben aufgenommen.

Die erforderlichen Arbeitsschritte sind:

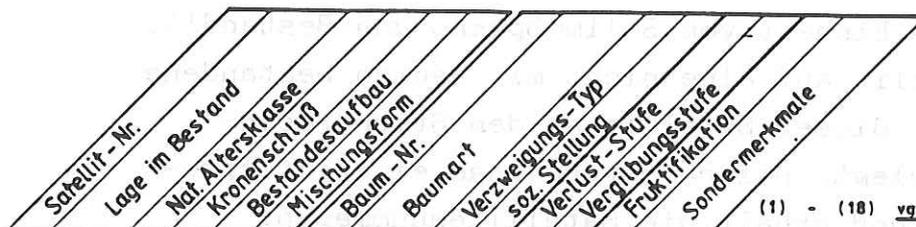
- a) Erhebung der Bestandesparameter (vgl. Beleg 1 und Schlüsselverzeichnis Seite 71, Parameter 13-18) durch Schätzung aus dem Luftbild,
- b) stereoskopische Interpretation zur Erfassung der Kronenzustandsmerkmale der Einzelbäume (vg. Beleg 1 Parameter 20-26);
 - Bei der Orientierung der Luftbilder unter dem Stereoskop sollte darauf geachtet werden, daß die Nordseite nach links ausgerichtet wird. So ist gewährleistet, daß das Luftbild mit der Perforation und der Bezeichnung der Punkte arbeitsfreundlich rechts unter dem Stereoskop liegt. Außerdem werden Baumverwechslungen durch unnötiges Umdenken vermieden. Der erste Baum liegt dann links des Einstichs, die übrigen folgen im Uhrzeigersinn entsprechend Abb. 2 d.1 und 2 d.2 sowie den Ausführungen Kapitel 4122, S.28. Sehr zweckmäßig ist es, eine Freihandskizze der gewählten Probebäume auf die vorbereiteten Hexagonstrahlen im

Beleg 1 zu zeichnen, da dies zumindest dem Interpreten selbst mehr Sicherheit beim Wiedererkennen der interpretierten Krone gibt.

- Fällt der Mittelpunkt des Kreuztraktes im Waldverband auf einen Weg o.ä., so können die Satelliten je nach ihrer Lage trotzdem in Waldbestände fallen und angesprochen werden. In diesem Sonderfall besteht das Stichprobenkollektiv aus Probebäumen verschiedener Bestände (keine Einheit von Sollmeßpunkt und Bestand!).
- Fällt ein Satellit auf eine nicht mit Bäumen bestandene Fläche, so wird dieser Satellit an den Stichprobenmittelpunkt verlegt, sofern dessen Lage eine Interpretation zuläßt, und erhält die Satellitennummer 5. Fallen zwei Satelliten auf diese Weise aus, so wird die Schadansprache nur an 18 Bäumen, nämlich an den 2 verbleibenden Satelliten und wie o.a. am Stichprobenmittelpunkt, durchgeführt. Sind von den insgesamt 5 Einstichen weniger als 3 Punkte zur Anlage eines Hexagons geeignet, dann gilt der gesamte Punkt als zur Zeit nicht ausreichend bestockt und eine Aufnahme entfällt.
- Für alle Stichprobenorte, die zwar im Wald liegen, z.Zt. aber nicht ausreichend bestockt oder für eine einzelbaumweise Interpretation zu jung sind, wird trotzdem ein Beleg 1 angelegt, der Kopfteil des Beleges ausgefüllt und die vorkommenden Baumarten und ihre Altersklasse notiert.
- An allen übrigen Waldpunkten erfolgt eine vollständige Interpretation aller Kronenzustandsmerkmale (Beleg 1, Parameter 20 bis 26) an allen 6 Probebäumen der 4 Satelliten.

Luftbild - Waldschadenserhebung 1988 (LWE '88)

Interpret (1) TK 25 (5) Höhenlage (9)
 Gebiet (2) Punkt Nr. (6) Hangrichtung (10)
 Streifen Nr. (3) Rechtswert (7) Hangneigung (11)
 Bild Nr. (4) Hochwert (8) Geländeform (12)



13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1						1							
						2							
						3							
						4							
						5							
						6							

2						1							
						2							
						3							
						4							
						5							
						6							

3						1							
						2							
						3							
						4							
						5							
						6							

4						1							
						2							
						3							
						4							
						5							
						6							

(1) - (18) vgl. Schlüsselverzeichnis

- (20) Baumarten
- NB Nadelbäume
 - SN sonst. Nadelbäume
 - FI Fichte
 - TA Tanne
 - DG Douglasie
 - KI Kiefer
 - BU Buche
 - EI Eiche
 - SL sonst. Laubbäume
 - LB Laubbäume (alle)

- (21) Verzweigungs-Typ
- 1 Kammfichte
 - 2 Birstenfichte
 - 3 Plattenfichte
 - 4 Struktur-Buche
 - 5 Diffus-Buche
 - 6 Dougl. "KI-Typ"
 - 7 Dougl. "FI-Typ"
 - 8 Eiche grobgegliedert
 - 9 Eiche feingegliedert
 - 0 keine Angabe

- (22) Soz. Stellung
- 1 vorherrschend
 - 2 herrschend
 - 3 mitherrschend

(23) - (24) vgl. Interpretationsschlüssel

- (25) Fruchtifikation
- 0 keine (erkennbar)
 - 1 leichte
 - 2 starke

- (26) Sondermerkmale
- 0 keine
 - 1 Wipfelbruch
 - 2 Wipfeldorre
 - 3 Oberkrone schlechter
 - 4 Oberkrone wesentlich schlechter
 - 5 Teilkrone abgestorben
 - 6 Käferbaum
 - 7 starker Belag (Staub o.ä.)
 - 8
 - 9 senkronig (KI, EI)

Luftbild-Waldschadenserhebung 1987 und 1988 (LWE '87 u. '88)

Schlüsselverzeichnis

1. Interpret

(2 Buchstaben)
 Namenskürzel

2. Gebiet

(2 Buchstaben)
 PW Pfälzerwald
 WE Westeifel
 Ww Westerwald
 HO Hunsrück - Ost
 HW Hunsrück - West

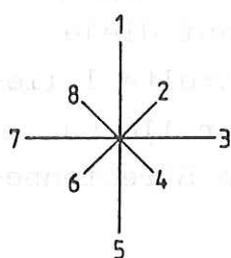
3. - 8. Streifen, Bild, TK 25, Rechtswert, Hochwert

rechtsbündiger Eintrag der jeweiligen Nummer

9. Höhenlage

in 10-Meterstufen
 aus Top.Karte

10. Hangrichtung



1 = Norden

0 = eben

11. Hangneigung

0 eben/schwach geneigt
 1 mäßig
 2 stark
 3 steil

12. Geländeform

0 Ebene, Plateau, Hochebene
 1 Rücken, Kuppe, Sattel, Kamm-
 lage
 2 Oberhang
 3 Mittelhang, Hügelhang
 4 Unterhang
 5 Talebene, Talschle
 6 Mulde, Rinne, Bachgrund,
 Taleinschnitt

13. Satellit-Nr.

1 Nord
 2 Ost
 3 Süd
 4 West
 5 Ersatzsatellit
 am Trakt-Mittelpunkt

14. Lage im Bestand

1. Stelle

1 Bestandesinneres
 2 Blößenrand
 3 Bestandesrand, Trauf

2. Stelle (bei 2 und 3)

Himmelsrichtung

15. Natürliche Altersklasse

0 Blöße/Kahlfläche
 1 Jungwuchs/Kultur
 2 Dickung
 3 Stangenholz
 4 schwaches Baumholz
 5 starkes Baumholz
 6 Altholz

16. Kronenschluß

0 keine Angabe (Blöße)
 1 dicht
 2 locker
 3 kein Schluß
 4 Überhälter

17. Bestandesaufbau

0 keine Angabe
 1 einstufig
 2 mehrstufig
 3 plenter/femelartig

18. Mischungsform

0 keine Angabe (Blöße)
 1 einzeln
 2 truppweise
 3 flächig
 4 Reinbestand

2 Auswertung von Flächenbefliegungen für Forstbetriebe

21 Erstellung des Stichprobenrasters

Kartengrundlage zur Erstellung des systematischen 200x200-m-Rasters ist die topographische Karte im Maßstab 1 : 25 000 (TK 25) oder deren Vergrößerung im Maßstab 1 : 10 000.

Die einzelnen Arbeitsschritte sind:

- a) Übertragung des äußeren Rahmens der beflogenen Fläche auf die TK 25 zur Schaffung einer Übersicht des Befliegungsgebietes.
- b) Eintragung des Rasters auf die TK 25 . Jeder Waldpunkt erhält eine Punktnummer, zusätzlich wird jeder interpretierte Waldpunkt mit einem Kreis gekennzeichnet (Muster vgl. Abb. 11, S. 73).
- c) Übertragung aller auf Wald fallenden Punkte auf diejenigen Luftbilder, auf denen die Punkte im Mittelteil liegen; dabei Beachtung aller Hinweise, die unter 11c zu demselben Arbeitsschritt bei der großräumigen Streifenbefliegung gegeben wurden.
- d) Markierung des nördlichen Randes jedes Luftbildes durch zwei rechte Winkel, die bezeichnen, welche Rasterpunkte auf diesem Bild bearbeitet sind (Abb. 11).
- e) Anlage eines Aufnahmebeleges für je 3 Aufnahmepunkte (vgl. Beleg 2, S. 74).
- f) Eintragung der aus der TK 25 ablesbaren Lage- und Standortparameter (vgl. Beleg 2 und Schlüsselverzeichnis S. 71, Parameter 1-12).

22 Stereoskopische Interpretation

Im Gegensatz zur großräumigen Streifenbefliegung wird hier nur eine Sechs-Baum-Stichprobe pro Aufnahmepunkt aufgenommen. Ansonsten sind dieselben Arbeitsschritte erforderlich, so daß die Hinweise unter 12 hier sinngemäß gelten.

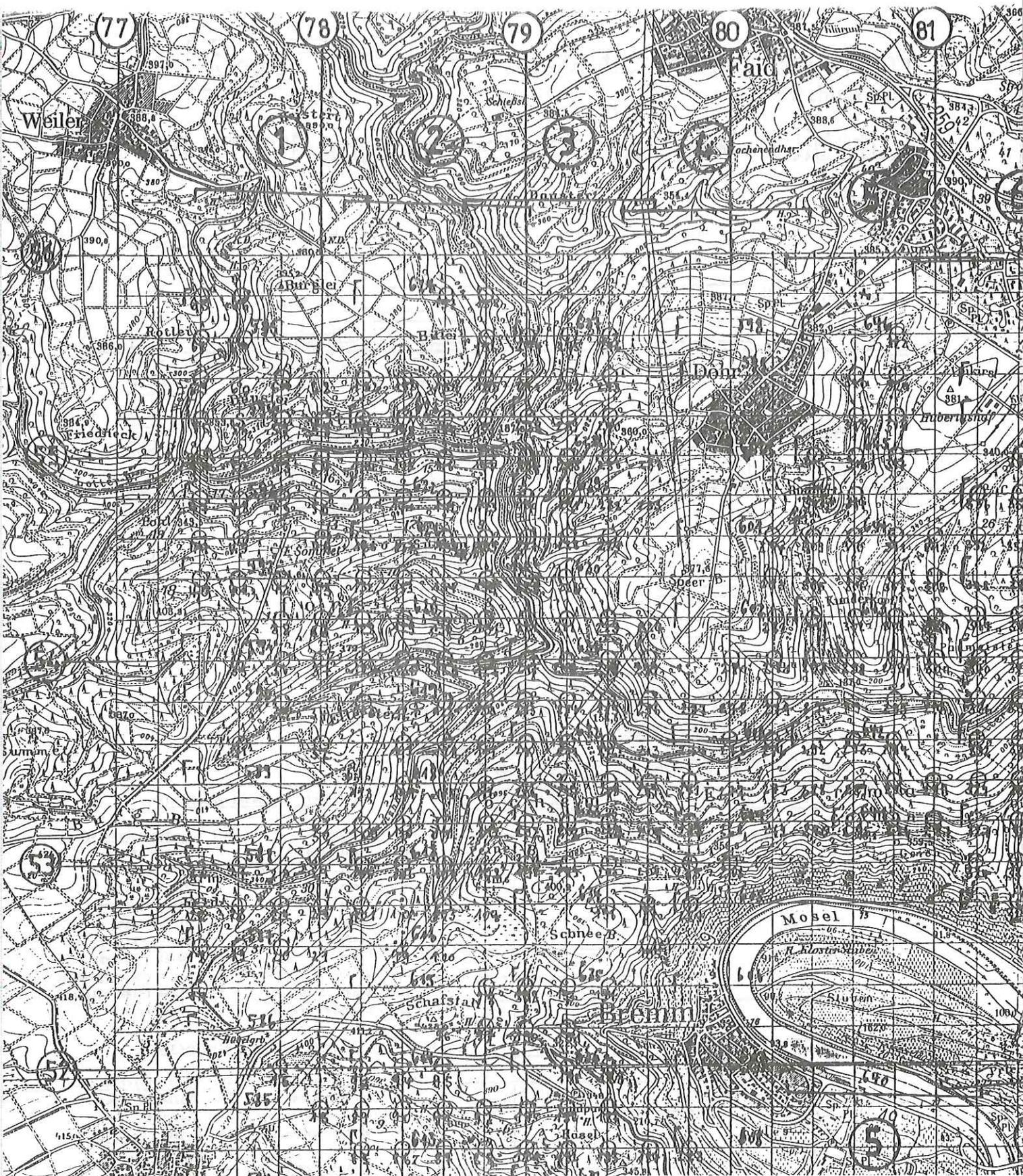


Abb. 11: Arbeitskarte TK 25 für Flächenbefliegungen mit eingetragenem Raster, eingekreisten Stichprobenpunkten und deren Nummern sowie der nördlichen Eckmarkierungen und Nummern der einzelnen Bilder

Luftbild - Waldschadenserhebung 1988 (LWE '88)

Fläche

1	TK ZS (5)	<input type="text"/>	Höhenlage (9)	<input type="text"/>
	Punkt Nr. (6)	<input type="text"/>	Hangrichtung (10)	<input type="checkbox"/>
Streifen Nr. (3)	Rechtswert (7)	<input type="text"/>	Hangneigung (11)	<input type="checkbox"/>
Bild Nr. (4)	Hochwert (8)	<input type="text"/>	Geländeform (12)	<input type="checkbox"/>

2	TK ZS (5)	<input type="text"/>	Höhenlage (9)	<input type="text"/>
	Punkt Nr. (6)	<input type="text"/>	Hangrichtung (10)	<input type="checkbox"/>
Streifen Nr. (3)	Rechtswert (7)	<input type="text"/>	Hangneigung (11)	<input type="checkbox"/>
Bild Nr. (4)	Hochwert (8)	<input type="text"/>	Geländeform (12)	<input type="checkbox"/>

3	TK ZS (5)	<input type="text"/>	Höhenlage (9)	<input type="text"/>
	Punkt Nr. (6)	<input type="text"/>	Hangrichtung (10)	<input type="checkbox"/>
Streifen Nr. (3)	Rechtswert (7)	<input type="text"/>	Hangneigung (11)	<input type="checkbox"/>
Bild Nr. (4)	Hochwert (8)	<input type="text"/>	Geländeform (12)	<input type="checkbox"/>

	Lage im Bestand	Nat. Altersklasse	Kronenschluß	Bestandesaufbau	Mischungform	Baum-Nr.	Baumart	Verzweigungs-Typ	soz. Stellung	Verlust-Stufe	Fruchtifikation	Sondermerkmale	
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	<input type="checkbox"/>												
2	<input type="checkbox"/>												
3	<input type="checkbox"/>												

- (1) - (18) vgl. Schlüsselverzeichnis
- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| (20) Baumarten | (21) Verzweigungs-Typ |
| NB Nadelbäume | 1 Kammfichte |
| SN sonst. Nadelbäume | 2 Bärstorfichte |
| FI Fichte | 3 Plattenfichte |
| TA Tanne | 4 Struktur-Buche |
| DB Douglasie | 5 Diffus-Buche |
| KI Kiefer | 6 Dougl. "KI-Typ" |
| BU Buche | 7 Dougl. "FI-Typ" |
| EI Eiche | 8 Eiche grobgegliedert |
| SL sonst. Laubbäume | 9 Eiche feingegliedert |
| LB Laubbäume (alle) | 0 keine Angabe |
- (23) - (24) vgl. Interpretationsschlüssel
- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| (22) Soz. Stellung | (25) Fruchtifikation |
| 1 vorherrschend | 0 keine (erkennbar) |
| 2 herrschend | 1 leichte |
| 3 mitherrschend | 2 starke |
- (26) **Sondermerkmale**
- 0 keine
 - 1 Wipfelbruch
 - 2 Wipfeldörre
 - 3 Oberkrona schlechter
 - 4 Oberkrona wesentlich schlechter
 - 5 Teilkrona abgestorben
 - 6 Käferfraß
 - 7 starker Belag (Staub o.ä.)
 - 8
 - 9 senkronig (KI, EI)

ANHANG 2

Interpretationsschlüssel zur visuellen Kronen- zustandserfassung

	Seite
1 Kronenmerkmale ohne Chlorosen	79
11 Buche	79
12 Eiche	81
13 Fichte	83
14 Douglasie	85
15 Kiefer	87
2 Chlorosemerkmale (und Sondermerkmale)	89
21 Buche, Eiche	89
22 Fichte, Douglasie	91
3 Fotonachweis	93

... and ...

10

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL ZUR KRONENZUSTANDSERFASSUNG IN CIR-LUFTBILDERN

(AFL 3/1988, ergänzt um den speziellen Farbton)

Baumart : BUCHE

spez. für Bildflug : Pfälzerwald und Westerwald 1987

erstellt am : 07.09.1987

Forstliche Versuchsanstalt

Rheinland-Pfalz

6751 Trarbach

Az.: 6435.26

Stufe	Gestaltseurkmale		Farbseurkmale	
	Kronenbereich	Struktur	Kronenbereich	Struktur
0	Fernstruktur	Krone kuppelförmig gewölbt; Umriss rundlich geschlossen, stumpf gerundet bis kleingewölbt	Farbton Gesamtfarbe	gleichmäßig
	Grünstruktur	Krone dicht; periphere Astsysteme fächer- bis zungenartig strahlend, dadurch Kronenoberfläche deutlich strukturiert; Elemente mehr oder weniger rosettenartig angeordnet	Farbton Blau Grün Rot	intensiv mittel bis hell
	Feinstruktur	Strukturelemente scharfgeradig gelappt, in sich lückenlos	Farbton	rot
1	Fernstruktur	wie Stufe 0, jedoch Umriss mehr oder weniger gefranst	Farbton Gesamtfarbe	wie Stufe 0 weniger gleichmäßig
	Grünstruktur	Kroneninneres noch dicht; Kronenperipherie aufgelockert, periphere Astsysteme meist spießartig auffragend; in Kronenälteren eventuelle unscharfe Konturen; einheitliche, nach geschlossener, saftiger Kronenoberfläche; keine Feinstrukturen erkennbar; Feinstruktur verschwommen	Farbton Blau Grün Rot	wie Stufe 0 weniger intensiv heller
	Feinstruktur	Spiesse mehr oder weniger scharf konturiert; wellig, in sich lückenlos	Farbton	wie Stufe 0
2	Fernstruktur	wie Stufe 0, jedoch Umriss stark ausgefranst	Farbton Gesamtfarbe	hellrot-rosa rosa
	Grünstruktur	ganze Krone deutlich aufgelockert; Kroneninneres stellenweise einsehbar (Dunkelstellen); periphere Astsysteme spieß- bis pinselartig auffragend, oft mit scheinbar losgelassenen peripheren Blattbüscheln	Farbton Blau Grün Rot	kleinfächig wechselnd mit geringen Unterschieden in Farbton und Helligkeit oder ungleichmäßig reflektiv gleichmäßig
	Feinstruktur	Pinsel und Pinsel (Blattbüschel) mehr oder weniger scharf konturiert; Spiesse zunehmend lückig, daher teilweise zu Pinseln (Büscheln) zerfallen	Farbton	wie Stufe 0 weniger intensiv heller
3	Fernstruktur	Kuppelform in bruchstückhafte Einzelteile zerfallen bis aufgelöst; Umrisse zerklüftet	Farbton Gesamtfarbe	ganze Krone ungleichmäßig fleckig
	Grünstruktur	Krone aufgelöst, mit zahlreichen grossen unregelmäßigen Lücken, Krone tief einsehbar bis durchsichtig; dadurch Ast- und Zweiggestüt zunehmend sichtbar; pinsel- bis peitschenartige Astsysteme vorherrschend, nicht angeordnet	Farbton Blau Grün Rot	abnehmend (mit zunehmendem Grünanteil) zunehmend (bei abnehmendem Grünanteil)
	Feinstruktur	Pinsel und Peitschen zunehmend unscharf konturiert; Strukturelemente überwiegend zu kleinschaligen Resten (Büscheln) und stellenweise skelettierten Ästen aufgelöst	Farbton	wie Stufe 0 bis 2 dunkler
4	Fernstruktur	ganze Krone skelettiert	Farbton	hellrosa-weiß-grau hellrosa-weiß-grau weiss/hellgrün/blau; keine Rotanteile hellgrün

Case No.	Case Name	Case No.	Case Name
1	1. [Faint handwritten text]	1	1. [Faint handwritten text]
2	2. [Faint handwritten text]	2	2. [Faint handwritten text]
3	3. [Faint handwritten text]	3	3. [Faint handwritten text]
4	4. [Faint handwritten text]	4	4. [Faint handwritten text]
5	5. [Faint handwritten text]	5	5. [Faint handwritten text]
6	6. [Faint handwritten text]	6	6. [Faint handwritten text]
7	7. [Faint handwritten text]	7	7. [Faint handwritten text]
8	8. [Faint handwritten text]	8	8. [Faint handwritten text]
9	9. [Faint handwritten text]	9	9. [Faint handwritten text]
10	10. [Faint handwritten text]	10	10. [Faint handwritten text]

[Faint handwritten text, possibly a signature or date]
 [Faint handwritten text]
 [Faint handwritten text]
 [Faint handwritten text]

Bildbeispiele zum CIR- Luftbildinterpretationsschlüssel

B U C H E (ohne Chlorose)

Bildflug: 87/88, Film: IR 2443

Stufe Krone/Kronenbereiche strukturiert

Krone/Kronenbereiche diffus

0



1



2

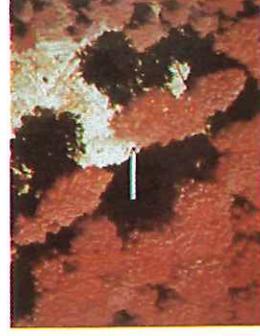
1



3



4

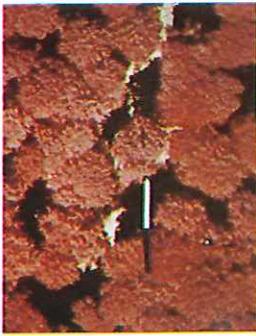


5



6

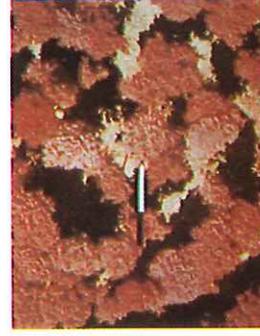
2



7



8



9



10

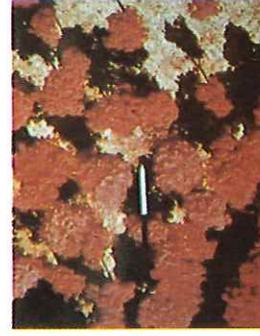
3



11



12



13



14

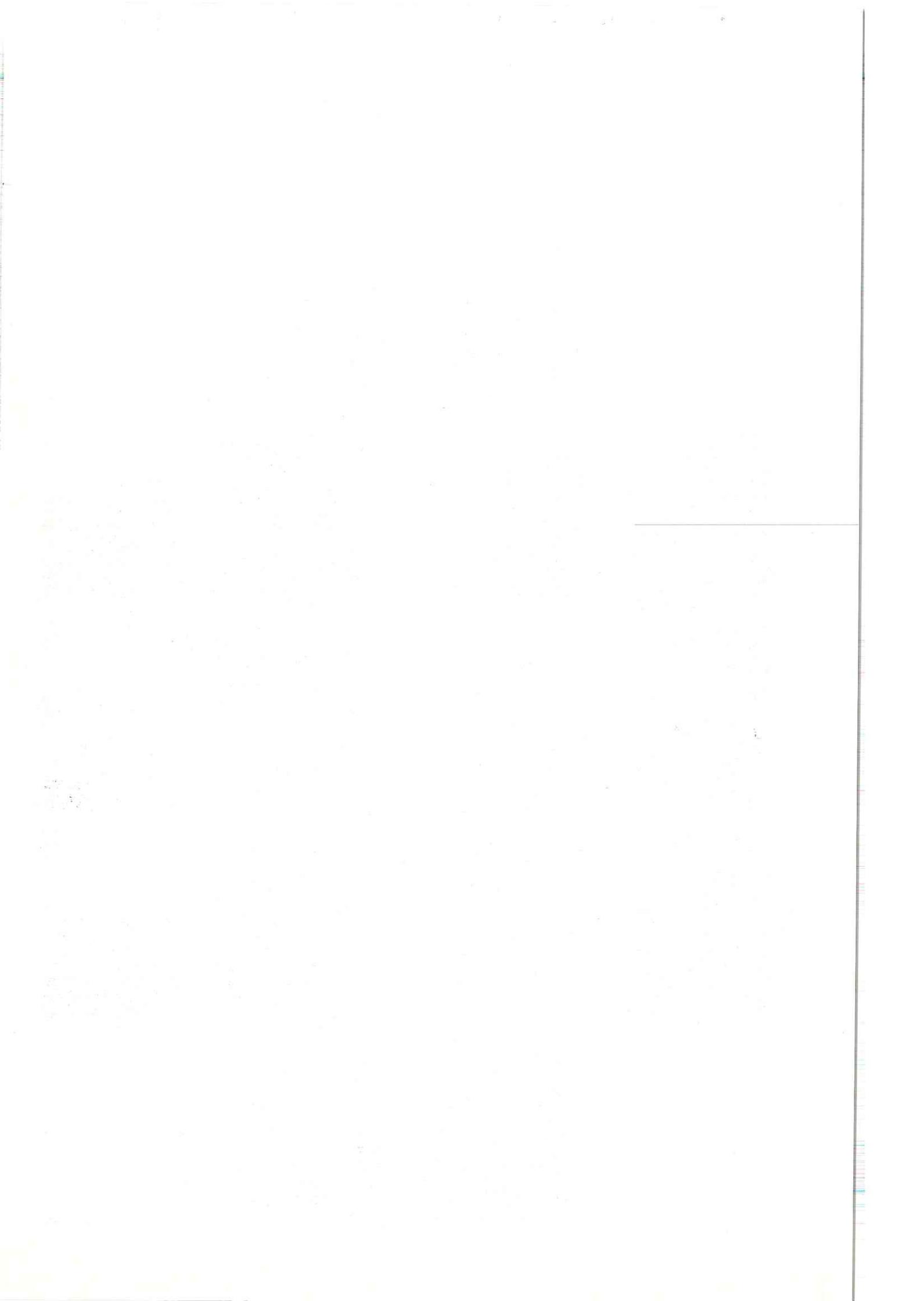
4



15



16



INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL ZUR KRONENZUSTANDSERFASSUNG IN CIR-LUFTBILDERN

Forstliche Versuchsanstalt
Rheinland-Pfalz
6751 Trarupstadt
Rt.: 643.26

(nach Muster AFL, in Vorbereitung)
Baumart : EICHE
spez. für Bildflug : Hunsrück 1988
erstellt am : 13.09.1988

Stufe	Gestaltsoorkoale		Farboorkoale	
	Krone grobgegliedert	Krone fein- bis ungegliedert	Farbverteilung	tendenziell gleichmäßig
0	Fernstruktur	Krone kuppelartig, gewölbt bis abgerichtet, lücklos, unregelmäßig, rundlich, bis zu geringfügig in mehrere Kronenteile gespalten	Farbverteilung	tendenziell gleichmäßig
	Feinstruktur	Krone bzw. Kronenteile aus dichtgepackten ballenförmigen Elementen (erzmalaste zweiter Ordnung) zusammengesetzt, blumenkohlartig	Farben	intensiv mittel bis dunkel (meist dunkler als Buche)
1	Fernstruktur	Ballen bzw. ganze Krone lückelos, bis dicht gelagerten Körnern (Blattbüschel) zusammengesetzt	Farben	rot hochrot
	Feinstruktur	Ballen durch netzartiges Muster aus (Schatten-) Furchen abgegrenzt, einzelne dunkle Stellen möglich (Schatten). In Kronenteilen evtl. Zustand wie Stufe 0	Farbverteilung	tendenziell gleichmäßig bis ungleichmäßig (durch Schattenflecken)
2	Fernstruktur	Ballen bzw. ganze Krone vereinzelt lückig, aus mehr oder weniger dicht gelagerten Körnern (Blattbüschel) zusammengesetzt	Farben	rot rot
	Feinstruktur	Kronenrand mehr oder weniger zerfranst (selten auch wie Stufe 0); Kronenperipherie z.T. zerklüftet.	Farbverteilung	tendenziell gleichmäßig bis gesprenkelt (teilweise Schlieren)
3	Fernstruktur	vorneilige Ballen häufig undeutlich abgegrenzt; durch Kronenrandlich stellenweise halbzentrifug	Farben	intensiv bis gering wie Stufe 1
	Feinstruktur	Ballen bzw. ganze Krone locker aus oft scheinbar losgelösten peripheren Körnern (Blattbüschel) zusammengesetzt	Farben	rot/graurot/rotorange/braunrot rot
4	Fernstruktur	Kronenrand stark zerfranst bis aufgelöst (selten auch wie Stufe 0); Kronenperipherie stark zerklüftet bzw. (bis) durchbrochen	Farbverteilung	tendenziell gleichmäßig bis meliert
	Feinstruktur	aufgelöste bis zerfallene und durchsichtige Krone; Erbsensystem häufig erkennbar, gelegentlich auch foliaste erkennbar	Farben	intensiv bis sehr gering wie Stufe 0 bis sehr hell
5	Fernstruktur	einzelne Körner bzw. Körnergruppen zwischen skelettierten Ästen unregelmäßig verteilt und durch unterschiedlich grobe Lücken getrennt	Farben	wie Stufe 2, stellenweise grünlich rosaweiß
	Feinstruktur	ganze Krone skelettiert	Farben	grün/blaugrün, kein Rotanteil grün

Bildbeispiele zum CIR-Luftbildinterpretationsschlüssel

E I C H E (ohne Chlorose)

Bildflug: 87/88, Film: IR 2443

Stufe

Krone grob gegliedert

Krone fein- bis ungegliedert

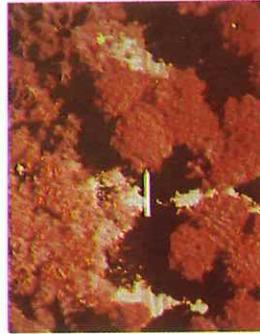
0



17



18



19



20

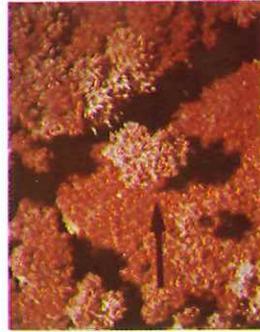
1



21



22



23



24

2



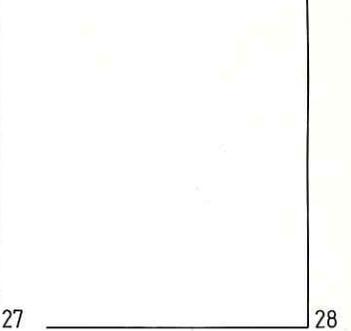
25



26



27



28

3



29



30

4



31



32



INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL ZUR KRONENZUSTANDSERFASSUNG IN CIR-LUFTBILDERN

(MFL 3/1988, ergänzt um den speziellen Farbton)

Baumart : FICHTE

spez. für Bildflug : Pfälzerwald und Westerwald 1987

erstellt am : 07.09.1987

Forstliche Versuchsanstalt

Rheinland-Pfalz

6751 Trierstadt

Az.: 6435.26

Stufe	Gestaltsmerkmale			Farbmerkmale	
	Kamrfichte	Büschelfichte	Plattenfichte	Farbverteilung	Farbton
0	Form spitzkegelförmig; Umriss sternförmig gezackt	spitz- bis stumpfkegelförmig; Umriss gewellt bis glatt		Farbverteilung	gleichmäßig
	Grubstruktur Primäräste sternartig; feinstrahlig	Primäräste keilartig bis walstig; mehr oder weniger dicht angeordnet	Primäräste breitwalstig bis lappig; stagenartig	Farbverteilung Helligkeit	intensiv amkel
	Feinstruktur Primäräste lückenlos; gleichmäßig; glatt	Primäräste lückenlos; ungleichmäßig; glatt		Farbton	rot altrosa-rotbraun-braun
1	Form spitzkegelförmig; Umriss sternförmig gezackt	spitz- bis stumpfkegelförmig; bis glatt	Umriss gewellt	Farbverteilung	weniger gleichmäßig als Stufe 0
	Grubstruktur Primäräste sternartig; feinstrahlig	Primäräste keilartig bis walstig; mehr oder weniger dicht angeordnet	Primäräste breitwalstig bis lappig; stagenartig	Farbverteilung Helligkeit	intensiv leicht aufgehellt
	Feinstruktur Primäräste fast lückenlos; mehr oder weniger glatt	Primäräste fast lückenlos; ungleichmäßig; mehr oder weniger glatt		Farbton	hellrot altrosa-hellrosa
2	Form spitzkegelförmig; Umriss sternförmig	spitz- bis stumpfkegelförmig; bis glatt oder Umriss geränst	Umriss gewellt	Farbverteilung	2.1) ungleichmäßig feinerfleck 2.2) ungleichmäßig groberfleck
	Grubstruktur Primäräste sternartig und deutlich feinstrahlig	Primäräste unregelmäßig bis undeutlich sternartig angeordnet	Primäräste stagenartig; schmalwalstig; Sichtkegelförmig unregelmäßig klumpig angeordnet	Farbverteilung Helligkeit	gering zunehmender Grauanteil deutlich aufgehellt (fahl)
	Feinstruktur 2.1) Primäräste raun; grossklumpig mit wenigen kleinen Lücken 2.2) Primäräste deutlich raun; kleinklumpig mit zahlreichen kleinen Lücken			Farbton	2.1) hellrot bis graurot 2.2) graurot; hellgrau bis graugrün grau-rosa
3	Form spitzkegelförmig; Umriss speichen- fächerförmig	Umriss unscharf	spitz- bis stumpfkegelförmig Umriss stark geränst	Farbverteilung	ungleichmäßig groberfleck
	Grubstruktur Primäräste sternartig und deutlich feinstrahlig	Primäräste wird angeordnet, oder Anordnung nicht erkennbar; evtl. einzelne Totäste	Primäräste stagenartig; schmalwalstig; förmig; Astansätze diffus aufgelöst	Farbverteilung Helligkeit	sehr gering (starker Grauanteil) in kl. Ballen intensiver hell (in kl. Ballen dunkler)
	Feinstruktur Primäräste diffus; kleinklumpig mit zahlreichen grossen und kleinen Lücken			Farbton	grau-grün mit hellroter Fleckung weißlich-grau-grün
4	Form	1. Frisch abgestorben: Grob- und Feinstruktur wie Stufe 3 2. Länger abgestorben: Grobstruktur wie Stufe 3; Feinstruktur fehlend		Farbverteilung	gleichmäßig
	Grubstruktur			Farbverteilung Helligkeit	1. intensiv 2. sehr gering sehr hell
	Feinstruktur			Farbton	1. hellgrün 2. blaugrün oder weiss 1. hellgrün 2. blaugrün

Unterteilung der Stufe 2: 2.1-26-40% Nadelverlust / 2.2-41-60% Nadelverlust

Item	Description	Quantity	Unit Price	Total Price
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Bildbeispiele zum CIR-Luftbildinterpretationsschlüssel

F I C H T E (ohne Chlorose)

Bildflug: 87/88, Film: IR 2443

Stufe

Kammfichte

Bürstenfichte

0



33



34



35



36

1



37



38



39



40

2



41



42



43



44

3



45



46

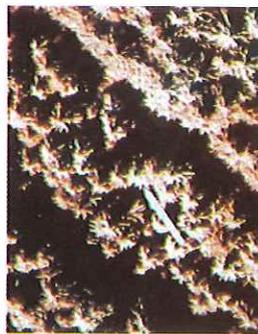


47



48

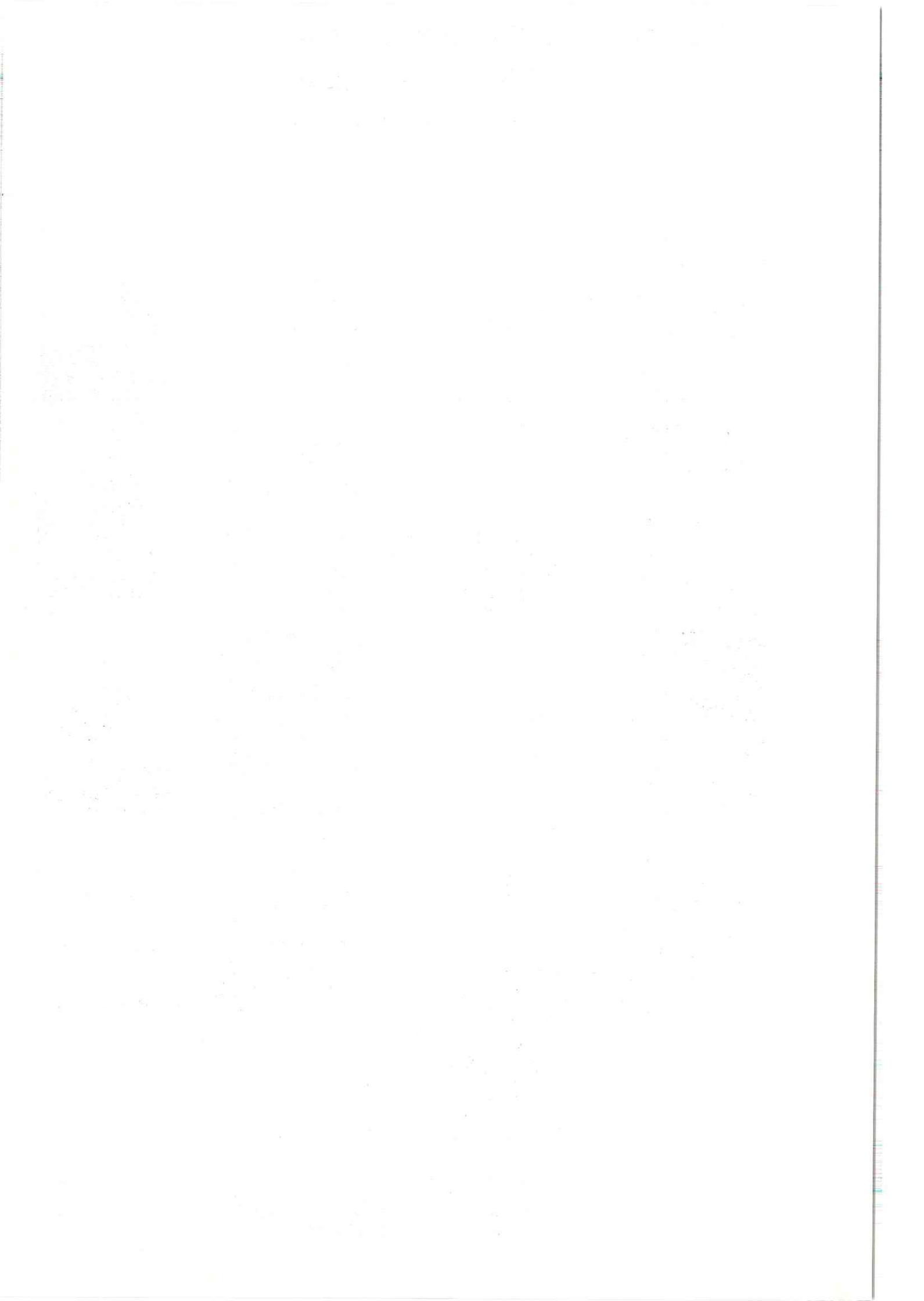
4



49



50



INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL ZUR KRONENZUSTANDSERFASSUNG IN CIR-LUFTBILDERN

(Gliederungsschema im Anhalt an AF 3/1988)

Baumart : DOUGLASIE
 spez. für Bildflug : Einzelpunkte und Fläche Hohe Acht
 erstellt am : 10.12.1987

Forstliche Versuchsanstalt
 Rheinland-Pfalz
 6751 Trippstadt
 Az.: 6435.26

Stufe	Gestaltungsmerkmale			Farbmerkmale				
	Typ	"Kiefern"-Typ (baumig)	"Fichten"-Typ (sternförmig)	Typ	Krone/Kronbereiche	Strukturart	Krone/Kronbereiche	Strukturart
0	Forn	Krone spitzkegelförmig; Umriss grob gelappt.	Krone spitzkegelförmig; Umriss sternförmig	Farbverteilung	gleichmäßig			
	Grobstruktur	Primäräste breitwulstig, dicht angeordnet.	Primäräste keilartig mehr oder weniger dicht angeordnet	Farbschattierung	intensiv mittel			
	Feinstruktur	Primäräste lückenlos, glatt, mit unscharfen Rändern	Primäräste lückenlos, glatt, mit mehr oder weniger scharfen Rändern	Farbton	allg. rot spez. kirschrot			
1	Forn	wie Stufe 0	wie Stufe 0	Farbverteilung	weniger gleichmäßig			
	Grobstruktur	wie Stufe 0, evtl. weniger breitwulstig und weniger dicht	wie Stufe 0	Farbschattierung	intensiv mittel			
	Feinstruktur	Primäräste fast lückenlos mehr oder weniger glatt, mit unscharfen Rändern	Primäräste fast lückenlos, mehr oder weniger glatt, mit mehr oder weniger scharfen Rändern	Farbton	allg. graurot spez. graurot			
2	Forn	wie Stufe 0	wie Stufe 0	Farbverteilung	ungleichmäßig gefleckt			
	Grobstruktur	Primäräste unregelmäßig schmalwulstig, mehr oder weniger locker	Primäräste sternartig angeordnet, weniger dicht	Farbschattierung	weniger intensiv deutlich aufgehell			
	Feinstruktur	Primäräste lückig, mehr oder weniger rau		Farbton	allg. mattrot spez. rotgrau			
3	Forn	wie Stufe 0	wie Stufe 0	Farbverteilung	Kiefern-Typ ->: melliert (vermischten) Fichten-Typ ->: ungleichmäßig gefleckt			
	Grobstruktur	Anordnung der Primäräste nicht erkennbar, gesamte Krone zunehmend lückig	Primäräste sternartig angeordnet und feinstrahlig	Farbschattierung	weniger intensiv hell			
	Feinstruktur	Primäräste diffus; sehr lückig, rau		Farbton	allg. rotgrau spez. rotgrau			
4	Forn	1. Frisch abgestorben: wie Stufe 3 2. Länger abgestorben: skelettiert		Farbton	allg. 1. hellgrün 2. grün spez. grün			

Bildbeispiele zum CIR- Luftbildinterpretationsschlüssel

D O U G L A S I E (ohne Chlorose)

Bildflug: 87/88, Film: IR 2443

Stufe

"Fichten"-Typ (sternförmig)

"Kiefern"-Typ (buschig)

0



51



52



53



54

1



55



56

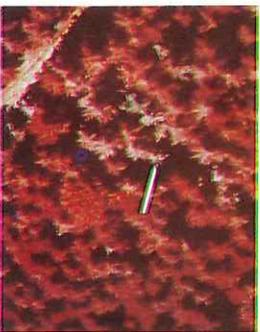


57



58

2



59



60



61



62

3



63



64



65



66

4



67



68



INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL ZUR KRONENZUSTANDSERFASSUNG IN CIR-LUFTBILDERN

(Gliederungsschema im Anhang an AF 3/1988)

Forstliche Versuchsanstalt

Rheinland-Pfalz

6751 Trierstadt

Az.: 6435.26

Baumart : KIEFER

spez. für Bildflug : Pfälzerwald und Westerwald 1987

erstellt am : 08.09.1987

Stufe	Gestaltsmerkmale	Farbeerkmale	Farbeerkmale
0	Form		gleichmäßig
	Grobstruktur	Krone pyramidal gewölbt; Umriß scharf abgegrenzt, meist regelmäßig geschlossen bis gradgelappt	intensiv mittel-hell
	Feinstruktur	Kronenteile zwar differenzierbar, aber ohne deutliche Grenzen; keine Aststrukturen	rotbraun rotl. hellbraun
1	Form	wie Stufe 0	weniger gleichmäßig als Stufe 0
	Grobstruktur	Kronenteile noch unschärfer begrenzt	weniger intensiv leicht aufgeteilt
	Feinstruktur	Kronenteile diffus verschwommen, dicht	helles rotbraun rötlichellbraun mit grauen Anteilen
2	Form	wie Stufe 0 oder Umriß stärker gelappt	ungleichmäßig gefleckt
	Grobstruktur	Kronenteile durch Lücken voneinander abgesetzt, Aststrukturen z.T. sichtbar	gering (zunehmender Graunteil) deutlich aufgeteilt
	Feinstruktur	Kronenteile diffus verschwommen, weniger dicht bis beginnend transparent	graubraun hellbraun-grau
3	Form	wie Stufe 2	meliert (verwaschen)
	Grobstruktur	Kronenteile deutlich voneinander abgesetzt oder ganze Krone diffus verschwommen oder einzelne Kronenteile abgestorben	sehr gering (hoher braunteil) hell
	Feinstruktur	Kronenteile diffus verschwommen und durchsichtiger	grau grüngrau mit bräunlichen Teilen
4	Form und Grobstruktur	skelettiert	grün

Bildbeispiele zum CIR- Luftbildinterpretationsschlüssel

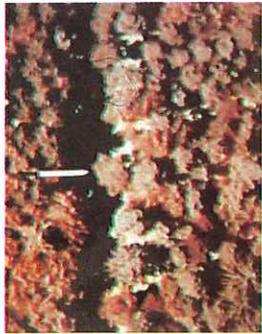
K I E F E R (ohne Chlorose)

Bildflug: 87/88, Film: IR 2443

Stufe

FVA-R-P 8/89

0



69



70

1



71



72

2



73



74

3



75



76

frisch abgestorben

alt abgestorben

4



77



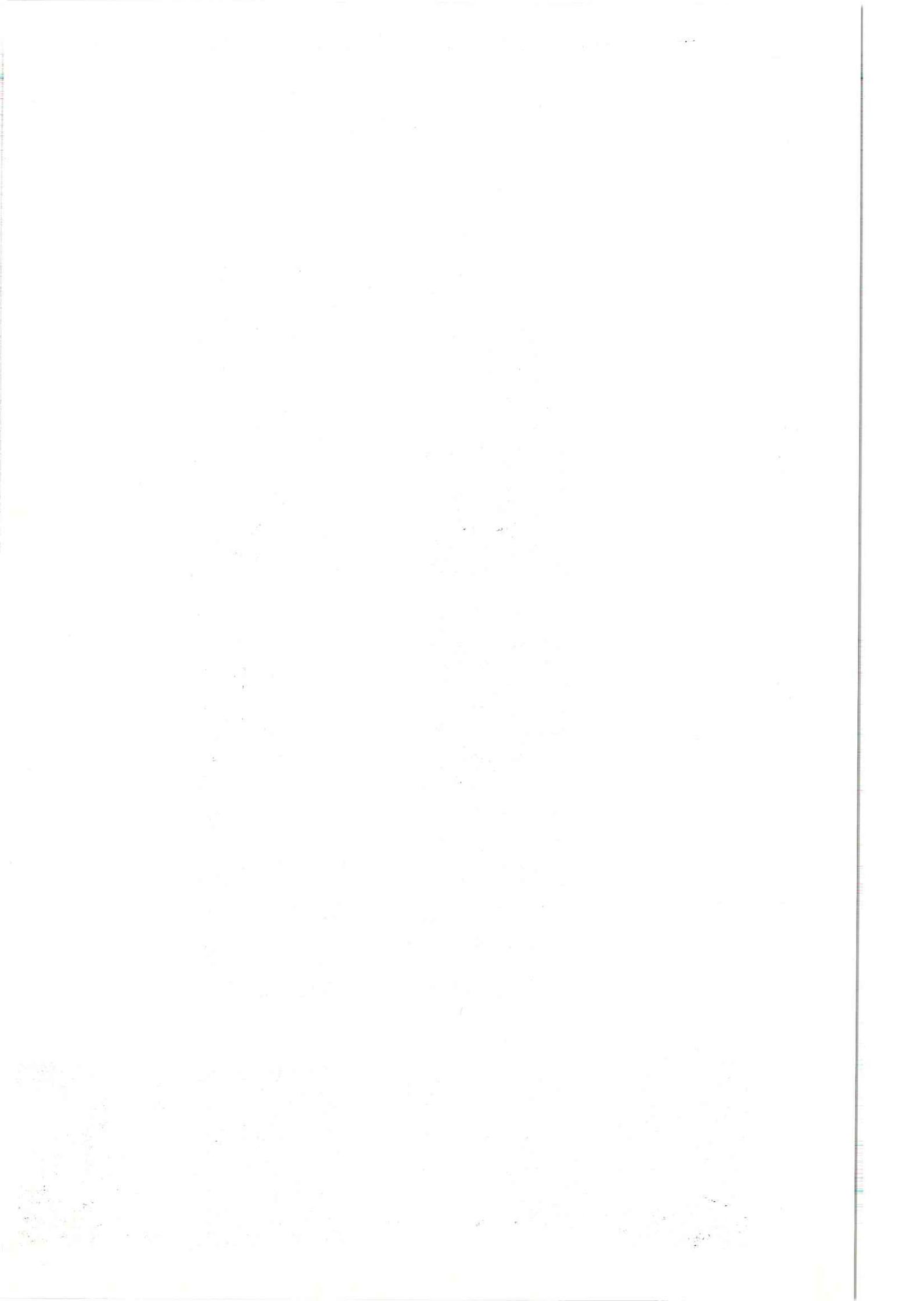
78



79



80



INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL ZUR ERFASSUNG DER VERGILBUNG (CHLOROSE)

(Schema nach AFL 3/1988)

Baumart : **BUCHE**
 spez. für Bildflug: Pfälzerwald und Westerwald 1987
 erstellt am : 07.09.1987

Vergilbungsstufe	%Anteil der Kronenoberfläche mit Vergilbung	Farbmerkmale im CIR-Luftbild		Kombinationsstufe (Veränderung der Ausgangsstufe ohne Vergilbung)			
		allgemein	speziell	0	1	2	3
0	≤ 10	keine Veränderung der stufenspezifischen Farbmerkmale		0	1	2	3
1	11 - 25	stellenweise rot-weiß marmoriert; kompakte Teilbereiche weiß oder überwiegender Teil der Krone rosa	stellenweise rot-weiß marmoriert oder kompakte Teilbereiche bläulich-weiß	0	1	2	3
2	26 - 60	rot-weiße Marmorierung großer Teile der Krone	große Teilbereiche rot-weiß oder rot mit grauweiß marmoriert	1	2	3	3
3	> 60	gesamte Krone rot-weiß marmoriert mit grünlich-grauen Bereichen bis völlig weiß	gesamt Krone rosa-weiß marmoriert bis völlig grauweiß	2	2	3	3

Baumart : **BICHE**
 spez. für Bildflug: Hunsrück 1988
 erstellt am : 13.09.1988

Vergilbungsstufe	%Anteil der Kronenoberfläche mit Vergilbung	Farbmerkmale im CIR-Luftbild		Kombinationsstufe (Veränderung der Ausgangsstufe ohne Vergilbung)			
		allgemein	speziell	0	1	2	3
0	≤ 10	keine Veränderung der schadstufenspezifischen Farbmerkmale		0	1	2	3
1	11 - 25	stellenweise rosa-weiße Flecken oder große Teile altrosa	stellenweise rosa gefleckt oder große Teile altrosa	0	1	2	3
2	26 - 60	große Teile der Krone mit rosa-weißen Flecken	große Teile der Krone rosa gefleckt oder ganz hellrosa	1	2	3	3
3	> 60	überwiegender Teil oder gesamte Krone rosa-weiß bis völlig weiß	überwiegender Teil der Krone rosa-weiß mit völlig weißen Bereichen	2	2	3	3

Bildbeispiele zum CIR-Luftbildinterpretationsschlüssel

BUCH E / E I C H E (Chlorose)

Bildflug: 87/88, Film: IR 2443

Stufe

Buche

Eiche

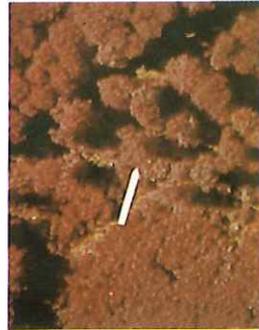
1



81



82

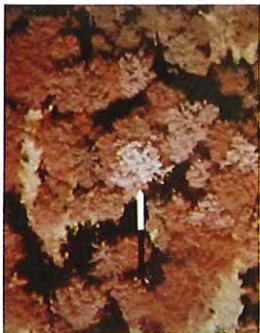


83



84

2



85



86



87



88

3



89



90

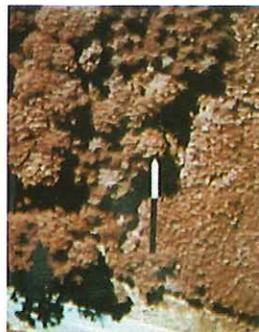


91



92

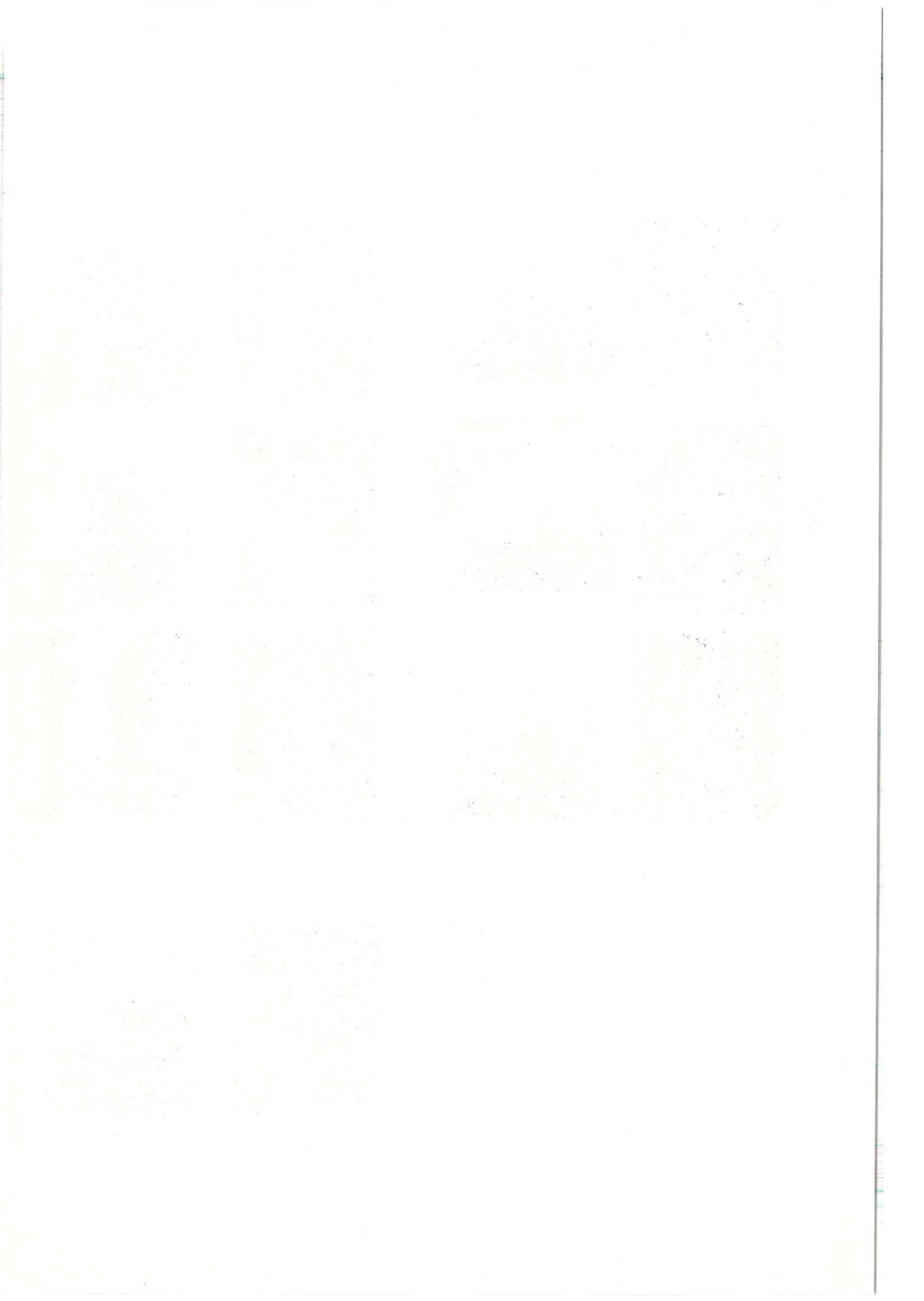
Wipfeldürre



93



94



INTERPRETATIONSSCHLÜSSEL ZUR ERFASSUNG DER VERGILBUNG (CHLOROSE)
(Schema nach AFL 3/1988)

Baumart : **FICHTE**
spez. für Bildflug: Pfälzerwald und Westerwald 1987
erstellt am : 07.09.1987

Vergilbungsstufe	%Anteil der Kronenoberfläche mit Vergilbung mit Vergilbung	Farbmerkmale im CIR-Luftbild		Kombinationsstufe (Veränderung der Ausgangsstufe ohne Vergilbung)			
		allgemein	speziell	0	1	2	3
0	≤ 10	keine Veränderung der stufenspezifischen Farbmerkmale		0	1	2	3
1	11 - 25	kleinflächige Teilbereiche rot-weiß oder magenta-rosa marmoriert	kleinflächige Teilbereiche rot-weiß marmoriert	0	1	2	3
2	26 - 60	kompakte, großflächige Teilbereiche rosa bis weiß	großflächige Teilbereiche rosa bis bläulich-weiß	1	2	3	3
3	> 60	überwiegender Teil oder Gesamtkrone weiß	Gesamtkrone bläulich-weiß	2	2	3	3

Baumart : **DOUGLASIE**
spez. für Bildflug: Fläche Hohe Acht 1987
erstellt am : 07.09.1987

Vergilbungsstufe	%Anteil der Kronenoberfläche mit Vergilbung	Farbmerkmale im CIR-Luftbild		Kombinationsstufe (Veränderung der Ausgangsstufe ohne Vergilbung)			
		allgemein	speziell	0	1	2	3
0	≤ 10	keine Veränderung der stufenspezifischen Farbmerkmale		0	1	2	3
1	11 - 25	kleinflächige Teilbereiche rot-weiß oder violettrot	kleinflächige Teilbereiche violettrot bis rosa	0	1	2	3
2	26 - 60	kompakte, großflächige Teilbereiche rosa bis weiß	großflächige Teilbereiche violett-rosa	1	2	3	3
3	> 60	überwiegender Teil oder Gesamtkrone weiß	Gesamtkrone rotweiß oder rosaweiß	2	2	3	3

PROBABILITY DISTRIBUTION OF THE NUMBER OF OCCURRENCES

Let X be the number of occurrences in a given interval of length t . Then X is a discrete random variable with the following probability mass function:

Number of occurrences (k)	Probability $P(X=k)$			Mean μ	Variance σ^2	Standard deviation σ
	$e^{-\lambda}$	$\lambda e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$			
0	$e^{-\lambda}$	$\lambda e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$
1	$\lambda e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^3}{6} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$
2	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^3}{6} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^4}{24} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$
3	$\frac{\lambda^3}{6} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^4}{24} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^5}{120} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$

where λ is the average number of occurrences per interval of length t .

Number of occurrences (k)	Probability $P(X=k)$			Mean μ	Variance σ^2	Standard deviation σ
	$e^{-\lambda}$	$\lambda e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$			
0	$e^{-\lambda}$	$\lambda e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$
1	$\lambda e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^3}{6} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$
2	$\frac{\lambda^2}{2} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^3}{6} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^4}{24} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$
3	$\frac{\lambda^3}{6} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^4}{24} e^{-\lambda}$	$\frac{\lambda^5}{120} e^{-\lambda}$	λ	λ	$\sqrt{\lambda}$

Bildbeispiele zum CIR-Luftbildinterpretationsschlüssel

FICHTE/DOUGLASIE (Chlorose)

Bildflug: 87/88, Film: IR 2443

Stufe

Fichte

Douglasie

1



95



96



97



98

Nr. 98 u. 100 vertauscht

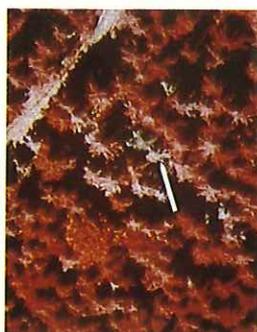
2



99



100

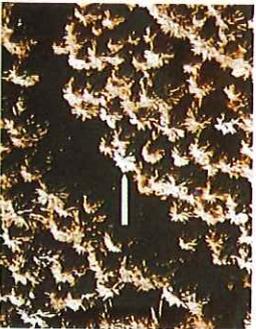


101



102

3



103



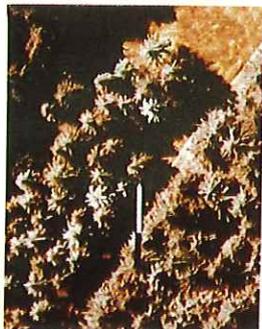
104



105



106



107



108

Sub-Top - Dying



3 FOTONACHWEIS

Alle Aufnahmen sind dem Luftbild- und Dia-Archiv der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz entnommen.

Die Bildautoren sind:

Dr. M. CAGIRICI: Foto Nr. 46

H. DELB : Foto Nr. 3, 5, 11, 13, 25, 33, 35, 37, 39,
41, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55,
57, 59, 61, 63, 65, 67, 73, 74,
77, 78, 81, 83, 89, 95, 97, 99,
101, 103, 105, 107

M. GATTI : Foto Nr. 70, 72

N. HEIDINGSFELD: alle restlichen Fotos

Die Luftbildausschnitte stammen ausschließlich aus freigegebenen Luftbildern.

Bisher sind folgende Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz erschienen:

1/1987	Jahresbericht 1984 - 1986 ISSN 0931 - 9662	DM 12.-
2/1987	BLOCK, STELZER: Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen ISSN 0931 - 9662	DM 12.-
3/1987	BLOCK, FRAUDE, HEIDINGSFELD: Sondermeßprogramm Wald (SMW) ISSN 0931 - 9662	DM 12.-
4/1987	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986) ISSN 0931 - 9662	DM 12.-
5/1988	Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald und Forstwirtschaft - Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt als Dienstsitz am 10.04.1987 ISSN 0931 - 9662	DM 12.-
6/1988	Jahresbericht 1987 ISSN 0931 - 9662	DM 12.-
7/1988	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987) ISSN 0931 - 9662	DM 12.-
8/1988	GERECKE: Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz ISSN 0931 - 9662	DM 30.-
9/1989	Jahresbericht 1988 ISSN 0936 - 6067	DM 12.-
10/1989	HEIDINGSFELD: Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv- Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 25.-

