

**Rheinland-Pfalz**

**Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten**

**Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz**

**Schloß**

**D-67705 Trippstadt**

**Telefon: 06306-911-0**

**Telefax: 06306-2821**

**Nr. 23/93**

**Norbert Heidingsfeld**

**Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für groß-  
räumig permanente Waldzustandserhebungen  
und zur bestandesbezogenen Kartierung  
flächenhafter Waldschäden**

**ISSN 0931 - 9662**

Diese Arbeit wurde von der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. als Dissertation angenommen.

Dekan:	Prof. Dr. G. Oesten
Referent und Leiter der Arbeit:	Prof. Dr. Dr. G. Hildebrandt
Korreferent:	Prof. Dr. D.R. Pelz

## VORWORT

Die vorliegende Arbeit ist aus meiner Tätigkeit an der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz hervorgegangen, wo ich in den vergangenen Jahren Gelegenheit hatte, zwei von der Europäischen Gemeinschaft geförderte Forschungsvorhaben zu Fragen der Luftbild-Waldzustandserhebungen durchzuführen. Der Europäischen Gemeinschaft und der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz bin ich daher zu Dank verpflichtet, daß sie mir diese Möglichkeit zu wissenschaftlicher Arbeit geboten haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. G. HILDEBRANDT für die Betreuung dieser Arbeit und dafür, daß er meine Forschungen trotz der räumlichen Distanz zwischen Freiburg und Trippstadt stets aufmerksam verfolgt und hilfreich unterstützt hat.

Für die Übernahme des Korreferates bedanke ich mich ganz besonders bei Herrn Professor Dr. D. R. PELZ. Auch aus dem Kreise seiner Mitarbeiter habe ich immer wieder wertvolle Anregungen in statistischen und inventurtechnischen Fragen bekommen.

In der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz gilt mein Dank zuerst dem Direktor, Herrn Professor Dr. A. ROEDER, und dem Leiter der Abteilung Waldschutz, Herrn FDir. J. BLOCK, für ihre Anregungen, Hinweise und vielfältige Unterstützung.

Die Entwicklung dieser Inventurkonzepte und deren aufwendige Praxistests sind nur dank der erfolgreichen Kooperation mit zahlreichen zuverlässigen Partnern zu leisten gewesen. Den Bildflug-Firmen DELTA LUFTBILD, EUROSENSE und HANSA LUFTBILD, dem Ingenieurbüro BADISCHE LUFTBILDMESSUNG, der Planergruppe ADAMES & KEILEN, dem Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz, sowie den Luftbildinterpreten Ass.d.Fd. E. BEUTEL, Dipl.-Forstwirt H. DELB und Ass.d.Fd. N. KUHUS sei daher für ihre solide und zuverlässige Auftragsbefriedigung und für die vertrauensvolle Zusammenarbeit herzlich gedankt.

Herrn KANTELHARDT, Hessisches Landesvermessungsamt, danke ich für die freundliche Erlaubnis zur kurzfristigen Benutzung der dortigen Punktübertragungsgeräte. Aufrichtiger Dank gilt auch Herrn HARDEGEN, Badische Luftbildmessung, und den Herren C.-P. GROSS und Dr. J. MAXIN, Abt. Luftbildmessung und Fernerkundung der Universität Freiburg, für ihre bereitwillige Beratung in photogrammetrischen Fragen sowie den Kollegen der Arbeitsgruppe forstlicher Luftbildinterpreten (AFL) für den langjährigen fruchtbaren Gedankenaustausch zur Luftbildinterpretation.

Gleichermaßen danke ich meinem Kollegen Dipl.- Geograph O. BOPP für die intensive Zusammenarbeit und seinen unermüdlichen Einsatz bei der Computer-Kartographie. Für die Mitarbeit bei der Durchführung der Berechnungen, Graphik- und Schreibarbeiten möchte ich Frau I. GUTHEIL, Frau C. HALEY, Herrn H. IMMETSBERGER, Frau M. MANTZ, Frau D. PLACZEK, Frau B. RÖDER und Herrn D. WEBER ganz besonders danken. Meinem Kollegen U. WUNN, dem Biometriker der FVA Rheinland-Pfalz, danke ich für die statistische Beratung. Ferner gilt mein Dank allen anderen Kollegen und Mitarbeitern in der Forstlichen Versuchsanstalt sowie zahlreichen studentischen Hilfskräften, von denen die Herren J. CHRISTMANN, P. KAMMER, D. LICHY, C. RUBIN und N. VIETEN besonders hervorgehoben seien, für ihre engagierte Hilfe bei allen anfallenden Arbeiten.

Darüberhinaus spreche ich allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, auch wenn ich nicht jedermann namentlich erwähnen kann, meinen Dank für ihre Gesprächsbereitschaft, ihre fachlichen Beiträge und ihre persönliche Unterstützung zum Zustandekommen dieser Arbeit aus. Dies gilt nicht zuletzt für meine Familie, die mir Rückhalt gab, obwohl sie mich während der letzten Monate sehr entbehren mußte.

Trippstadt, im März 1993

Norbert Heidingsfeld

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG..... 1</b>
1.1	Problemstellung..... 1
1.2	Stand der Wissenschaft..... 2
1.2.1	Großräumige Waldzustandserhebungen auf Stichprobenbasis..... 2
1.2.2	Bestandsbezogene Kartierung von Waldschäden..... 5
1.3	Ziele dieser Untersuchungen..... 8
<b>2</b>	<b>GROSSRÄUMIGE LUFTBILD-WALDZUSTANDSERHEBUNG MIT VEREINFACHTEN PERMANENTEN STICHPROBEN 10</b>
2.1	Entwicklung des Inventurkonzeptes..... 10
2.1.1	Integriertes Inventurverfahren..... 10
2.1.2	Stichprobendesign der Luftbild-Waldzustandserhebung..... 11
2.1.3	Erfahrungen aus einem vorangegangenen Pilotprojekt..... 15
2.2	Untersuchungsgebiet und Bildmaterial..... 17
2.2.1	Untersuchungsgebiet "Westerwald"..... 17
2.2.2	Bildmaterial des Erst- und Folgebildfluges..... 19
2.3	Übertragung der Stichprobenpunkte in die Luftbilder eines Folgebildfluges..... 20
2.3.1	Punktübertragung mit Methoden der analytischen Photogrammetrie..... 20
2.3.1.1	Beschaffung von Paßpunkten in waldreichen Gebieten..... 20
2.3.1.2	Aerotriangulation und Erfassung der Koordinaten der Stichprobenmittelpunkte..... 24
2.3.1.3	Restitution der Stichprobenpunkte in den Luftbildern des Folgebildfluges..... 29
2.3.2	Punktübertragung mit optisch-mechanischen Methoden..... 31
2.3.2.1	Derzeit verfügbare Techniken zur Punktübertragung..... 31
2.3.2.2	Verfahren und Ergebnisse der optisch-mechanischen Übertragung von Stichprobenpunkten..... 35

2.4	<b>Dokumentation der permanenten Stichprobenbäume.....</b>	<b>42</b>
2.5	<b>Luftbildinterpretation.....</b>	<b>47</b>
2.5.1	<i>Umfang und Qualität der einzelbaumweisen Luftbildinterpretation....</i>	<i>47</i>
2.5.2	<i>Berücksichtigung nicht einzelbaumweise interpretierbarer Jungbestände.....</i>	<i>49</i>
2.6	<b>Berücksichtigung von Veränderungen im Stichprobenkollektiv</b>	<b>56</b>
2.6.1	<i>Auswirkungen struktureller Veränderungen im Stichprobenkollektiv..</i>	<i>56</i>
2.6.2	<i>Einfluß ausgeschiedener und ersetzter Probebäume.....</i>	<i>59</i>
2.7	<b>Erprobung des Verfahrens in der Praxis.....</b>	<b>61</b>
2.7.1	<i>Gesamtergebnisse der Luftbild-Waldzustandserhebung.....</i>	<i>61</i>
2.7.2	<i>Rasterpunktbezogene Darstellung der Inventurergebnisse.....</i>	<i>62</i>
2.8	<b>Abschließende Wertung des Verfahrens.....</b>	<b>67</b>
2.8.1	<i>Technische Realisierbarkeit der gesteckten Ziele.....</i>	<i>67</i>
2.8.2	<i>Praxisrelevanz und Kosten des Verfahrens.....</i>	<i>69</i>
<b>3</b>	<b>BESTANDESBEZOGENE LUFTBILD-KARTIERUNG VON WALDSCHÄDEN AUF DER FORSTBETRIEBSEBENE....</b>	<b>73</b>
3.1	<b>Flächendeckender Inventuransatz.....</b>	<b>73</b>
3.1.1	<i>Bedarf einer flächendeckenden Waldzustandserhebung.....</i>	<i>73</i>
3.1.2	<i>Bestandesbezogene Klassifizierung von Waldschäden.....</i>	<i>74</i>
3.2	<b>Untersuchungsgebiet und Bildmaterial.....</b>	<b>78</b>
3.2.1	<i>Untersuchungsgebiet im westlichen Hunsrück.....</i>	<i>78</i>
3.2.2	<i>Bildmaterial des Flächenbildfluges.....</i>	<i>80</i>
3.3	<b>Interpretation von Bestandesschäden in mittelmaß- stäbigen Luftbildern.....</b>	<b>81</b>
3.3.1	<i>Interpretationsschlüssel für "Bestandesschadstufen".....</i>	<i>81</i>
3.3.2	<i>Berücksichtigung waldschadensbedingter Bestandesverlichtung.....</i>	<i>89</i>
3.3.3	<i>Arbeitsablauf und Rahmenbedingungen der Kartierung.....</i>	<i>91</i>
3.4	<b>Verifizierung der Interpretationsergebnisse.....</b>	<b>95</b>
3.4.1	<i>"Ground truth"-Daten zur Abschätzung der Klassifizierungs- genauigkeit.....</i>	<i>95</i>

3.4.2	<i>Genauigkeitsanalyse mit Fehler-Matrizen.....</i>	98
3.4.3	<i>Resultate der Bestandesschadstufen-Verifizierung.....</i>	99
3.5	<b>Verarbeitung und Darstellung der Kartierungsergebnisse.....</b>	102
3.5.1	<i>Erstellung digitaler Forstamtsübersichtskarten.....</i>	103
3.5.2	<i>Kartenergänzung und automatische Flächenberechnung.....</i>	104
3.5.3	<i>Ergebnispräsentation mittels thematischer Kartographie.....</i>	105
3.6	<b>Erprobung des Verfahrens in der Praxis.....</b>	107
3.6.1	<i>Kartierungsergebnisse und deren Nutzung.....</i>	107
3.6.2	<i>Beispiele thematischer Flächenbilanzen.....</i>	114
3.7	<b>Abschließende Wertung des Verfahrens.....</b>	117
3.7.1	<i>Praktikabilität und Praxisreife der flächenhaften Schätzung von Bestandesschadstufen.....</i>	117
3.7.2	<i>Praxisrelevanz und Kosten des Verfahrens.....</i>	118
4	<b>DISKUSSION UND AUSBLICK.....</b>	123
4.1	<b>Validität der beiden Inventurkonzepte.....</b>	123
4.1.1	<i>Großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung mit permanenten Stichproben .....</i>	123
4.1.2	<i>Bestandesbezogene Luftbild-Kartierung von Waldschäden.....</i>	128
4.2	<b>Integration in ein Gesamtkonzept.....</b>	131
5	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	134
6	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	140
<b>ANHANG</b>		
1	<b>Schlüsselverzeichnis zur LWE-Basisdatenbank für großräumige Waldzustandserhebungen.....</b>	158
2	<b>Schlüsselverzeichnis der Schadflächendatei zur bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden.....</b>	164

## VERZEICHNIS DER TABELLEN, ABBILDUNGEN UND KARTEN

	Tabellenverzeichnis	Seite
2.1	Technische Daten der Bildflüge und des Bildmaterials der Westerwald-Befliegungen 1987 und 1991.....	19
2.2	Derzeit gebräuchliche analytisch-photogrammetrische Stereoauswertestationen.....	26
2.3	Ergebnisse der Aerotriangulation Westerwald.....	28
2.4	Derzeit gebräuchliche Punktübertragungsgeräte.....	33
2.5	Lagegenauigkeit von photogrammetrisch und optisch-mechanisch übertragenen Stichprobenpunkten.....	42
2.6	Struktur der LWE-Basisdatenbank für großräumige Waldzustandserhebungen.....	48
2.7	Mittlere ("normale") Schadstufenverteilung in den Altersklassen bis 60 Jahre der Hauptbaumartengruppen in Rheinland-Pfalz.....	52
2.8	Vorläufige Hilfstafel zur Abschätzung "normaler" Schadstufenverteilungen in nicht einzelbaumweise luftbildinterpretierbaren Jungbeständen in Rheinland-Pfalz.....	53
2.9	Verteilung der Baumartengruppen im Nordteil des Westerwaldes 1987 und 1991.....	56
2.10	Verteilung der natürlichen Altersklassen im Westerwald und in den Teilgebieten 1987 und 1991.....	57
2.11	Schadstufenverteilung ausgeschiedener, ersetzter und nicht ersetzbarer Probestämme im Nordteil des Westerwaldes 1991.....	60
2.12	Schadstufenverteilungen nach Baumartengruppen und Untersuchungsgebieten der Luftbild-Waldzustandserhebungen 1987 und 1991 im Westerwald.....	62
2.13	Kosten einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung.....	71
3.1	Bestandesschadstufen zur flächenhaften Klassifizierung von Waldschäden.....	77
3.2	Technische Daten des Bildfluges und des Bildmaterials aus dem westlichen Hunsrück 1990.....	80
3.3	Schlüssel zur Interpretation von Bestandesschadstufen, Baumart: Fichte.....	84
3.4	Schlüssel zur Interpretation von Bestandesschadstufen, Baumart: Buche.....	87

3.5	Bestandesverlichtungsstufen (BVS) zur flächenhaften Klassifizierung von Waldschäden.....	90
3.6	Struktur der Schadflächendatei zur bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden.....	95
3.7	Klassifizierungsgenauigkeit der flächenhaften Taxation von Bestandesschadstufen (BSSt) im Bildmaßstab (mb) 1:11.000 im Vergleich zur einzelbaumweisen Interpretation von Stichproben im Bildmaßstab (mb) 1:4.000 und zur Ansprache terrestrischer Stichproben.....	100
3.8	Klassifizierungsgenauigkeit der flächenhaften Taxation von Bestandesschadstufen (BSSt) im Bildmaßstab (mb) 1:11.000 im Vergleich zu den aus Probekreisen großmaßstäbiger Luftbilder oder terrestrischen Stichproben berechneten "wahren" Bestandesschadstufen aller Kontrollbestände.....	101
3.9	Flächenzusammenstellung deutlich geschädigter Waldbestände im westlichen Hunsrück.....	115
3.10	Deutlich geschädigte Waldbestände im westlichen Hunsrück in Abhängigkeit von der Höhenlage; bestandesweise Kartierung aus der CIR-Luftbildbefliegung 1990.....	116
3.11	Kosten einer bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden mittels flächenintegrierender Interpretation aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern [DM].....	120

#### Verzeichnis der Abbildungen

2.1	Stichprobenplan für großräumige Luftbild-Waldzustandserhebungen.....	14
2.2	Übersichtskarten (Ausschnitte aus TK25) der topographischen Dauerpaßpunkte aus Bildmaßstab 1:12.500 und 1:34.000.....	22
2.3	Lageskizzen der topographischen Dauerpaßpunkte aus Bildmaßstab 1:12.500 und 1:34.000.....	23
2.4	Analytisch-photogrammetrisches Präzisionsauswertegerät WILD Aviolyt AC 1 und Präzisionskartiertisch WILD TA 10.....	27
2.5	Punktübertragungsgeräte WILD PUG4 und ZEISS PM1 (Beispiele).....	34
2.6	Markierungsqualität eines Stichprobenpunktes (Nadelstiche, Punkte auf Deckfolie, Punkte mit Punktübertragungsgerät).....	35
2.7	Summenhäufigkeiten der Rechtswert-, Hochwert- und Lagedifferenzen zwischen photogrammetrischer und optisch-mechanischer Punktübertragung.....	39
2.8	Entwicklung der Rechtswert-, Hochwert- und Lagedifferenzen in Abhängigkeit vom Übungsfortschritt.....	40

2.9	Stichprobenpunkt mit vollständig erhaltenem Stichprobenkollektiv.....	44
2.10	Stichprobenpunkt mit einzelnen ausgeschiedenen Bäumen und Probebaumersatz.....	45
2.11	Stichprobenpunkt mit vollständigem Bestandesverlust und vorübergehend "ruhendem" Stichprobenpunkt.....	46
2.12	Anteile an Bäumen ohne sichtbare Schadensmerkmale (Stufe 0) in den ersten 3 Altersklassen der Hauptbaumartengruppe in Rheinland-Pfalz.....	54
2.13	Anteile an Bäumen ohne sichtbare Schadensmerkmale (Stufe 0) in den ersten 3 Altersklassen von Fichte und Buche in den Hauptwaldgebieten von Rheinland-Pfalz.....	55
2.14	Schadstufenverteilung in den natürlichen Altersklassen, alle Baumarten.....	58
4.1	Informationsebenen eines Gesamtkonzepts zur integrierten Waldzustandsüberwachung.....	132

#### Verzeichnis der Karten

2.1	Color-Infrarot-Bildflüge in Rheinland-Pfalz.....	12
2.2	Untersuchungsgebiet und Lage der Bildflugstreifen 1987 und 1991.....	18
2.3	Stichprobenpunkte und Anteil deutlich geschädigter Bäume (Stufen 2-4) 1991.....	65
2.4	Stichprobenpunkte und Höhe über NN.....	65
2.5	Stichprobenpunkte und natürliche Altersklasse 1991.....	66
2.6	Stichprobenpunkte und Hauptbaumarten 1991.....	66
3.1	Untersuchungsgebiet und Lage der Befliegungsblöcke 1990.....	79
3.2	Deutliche Waldschäden; Ausschnitt einer digitalen Forstamtsübersichtskarte im Maßstab 1:25.000.....	109
3.3	Deutliche Waldschäden; Ausschnitt einer digitalen Forstamtsübersichtskarte im Maßstab 1:50.000.....	110
3.4	Deutliche Waldschäden im westlichen Hunsrück; mit Forstamtsgrenzen und Höhenlinien.....	111
3.5	Deutliche Waldschäden im westlichen Hunsrück mit den Grenzen der forstlichen Wuchsbezirke.....	112

# 1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

## 1.1 Problemstellung

Starke Waldschäden in den Höhenlagen der Mittelgebirge erfordern kurzfristig einzuleitende waldbauliche Sanierungsmaßnahmen. Eine gezielte Steuerung solcher Maßnahmen zur Erhaltung oder Wiederherstellung gesunder und leistungsfähiger Waldökosysteme ist aber nur möglich, wenn der jeweiligen Entscheidungsebene die für ihre planerischen Belange adäquaten Informationen vorliegen.

Für landesweite oder überregionale Planungen können derartige Informationen vor allem mittels *großräumig repräsentativer Stichproben* erhoben werden. Der geforderten räumlichen Auflösung entsprechend kann dies entweder in Form weitmaschiger terrestrischer Rastererhebungen oder durch Luftbildinterpretationen erfolgen, die bei gleichem Aufwand eine wesentlich höhere Stichprobendichte zulassen.

Die Hauptschadensgebiete der Mittelgebirge beschränken sich vor allem auf deren relativ kleinräumige Kammlagen. Von dem in kurzer Zeit aufzunehmenden und daher vergleichsweise weitmaschigen Stichprobennetz der terrestrischen Waldzustandserhebung werden diese Gebiete für planerische Zwecke aber nur unzureichend erfaßt. Hier bieten sich luftbildgestützte Erhebungsverfahren an, die, im Rahmen ökonomischer Grenzen, beliebige Rasterverdichtungen erlauben und damit eine verfeinerte Stichprobeninventur ermöglichen. Die statistisch begründete Forderung, bei luftbildgestützten Wiederholungsinventuren - analog zur terrestrischen Erhebung - auch identische Stichprobenkollektive aufnehmen zu können (HILDEBRANDT 1983), bereitet jedoch nach wie vor Probleme. Diese Fragestellung ist zwar bereits wissenschaftlich bearbeitet (AKÇA 1989) und für einzelne Versuchsflächen oder -bestände (AKÇA et al. 1991) sowie für überschaubare Untersuchungsgebiete (MAUSER 1990, MAXIN 1991) gelöst worden, eine großräumige Luftbildinventur mit ausschließlich permanenten Stichproben konnte wegen des derzeit noch hohen photogrammetrischen Aufwands bisher jedoch noch nicht realisiert und zur Praxisreife geführt werden.

Zur praktischen Umsetzung waldbaulicher Sanierungsmaßnahmen auf der Ebene der Forstbetriebe sind konkretere Informationen über die Lage, Verteilung und Flächenausdehnung besonders stark geschädigter Waldbestände erforderlich, als mit einem Stichprobenraster gewonnen werden können. Anstelle der für überregionale Planungen, Haushaltsentscheidungen und Maßnahmensteuerungen ausreichenden Informationen über die mittleren Schadstufenverteilungen in bestimmten Wuchsgebieten oder ähnlich großen Befundeinheiten benötigt der Forstbetrieb eine *flächenscharfe Kartierung der zu*

*behandelnden Bestände*. Erst damit können Flächenbilanzen für Organisationseinheiten, Waldbesitzer, orographische oder forstplanerische Einheiten ( Baumartengruppen, Altersklassen o.ä. ) erstellt, Behandlungseinheiten abgegrenzt, Kosten kalkuliert und konkrete Sanierungsmaßnahmen organisiert werden.

## 1.2 Stand der Wissenschaft

### 1.2.1 Großräumige Waldzustandserhebungen auf Stichprobenbasis

Waldzustandsinventuren sollen mit vertretbarem Aufwand kurzfristig verfügbare Aussagen über den aktuellen Waldzustand liefern, Schadensschwerpunkte lokalisieren und Entwicklungstendenzen aufzeigen (DAMMANN et al. 1992). Hierzu wird der äußerlich sichtbare, aktuelle Kronenzustand, als "Stellvertretervariable" (BURK 1992a) der eigentlich interessierenden, aber nicht direkt quantifizierbaren Variablen "Gesundheit/Schädigung", an systematisch bestimmten Stichprobenbäumen in Waldbeständen periodisch erhoben. Daraus sollen repräsentative Informationen für größere Waldgebiete gewonnen und über längere Zeiträume sichtbar werdende Veränderungen des Kronenzustands aufgezeigt werden. Den in Presseberichten (z.B. SCHUH 1991) und populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen (z.B. KENNEWEG 1992) wiederholt sowie gelegentlich auch in wissenschaftlichen Arbeiten (z.B. HÜTTL 1991, KOCH et al. 1992) erhobenen Anspruch, zur Klärung der Ursachen neuartiger Waldschäden beizutragen, können reine Zustandserhebungen jedoch nicht oder allenfalls in Form hinweisender "Indizienbeweise" (SCHÖPFER et al. 1984 b) erfüllen. Dies ist vielmehr Aufgabe der intensiven Waldschadensforschung, die nicht flächenrepräsentativ, sondern in zahlreichen exemplarischen Fallstudien durchgeführt wird und unter Berücksichtigung von meteorologischen und luftchemischen Messungen vielfältige biologische, physiologische, chemisch-analytische, boden- und ernährungskundliche, ertragskundliche und dendrologische Untersuchungen vornimmt (FBW 1989).

Als sich die zunächst auf die Tanne beschränkenden Waldschäden zu Beginn der achtziger Jahre schubweise auf weitere Baumarten sowie alle Standorte und Waldgebiete ausbreiteten, war das Wissen über das gesamte Ausmaß, den individuellen Grad und die räumliche Verteilung der Schädigung noch recht lückenhaft. Zur Eindämmung dieses Informationsdefizits galt es, unter großem Zeitdruck parallel zur weiteren Ausbreitung der Schadsymptome geeignete Inventurverfahren zur zuverlässigen Waldzustandserhebung zu entwickeln. Nach einer bundesweiten Umfrage über den Stand der Waldschäden 1982, die als Maßnahme der ersten Stunde allenfalls orientierende Ergebnisse lie-

fern und das Problembewußsein für diese Fragen schärfen konnte (HEIDINGSFELD 1987), sind in den Folgejahren sowohl Stichprobenverfahren für terrestrische Erhebungen (KENNEL 1983, POLLANSCHÜTZ et al. 1985, SCHÖPFER 1984a, 1985; STRELETZKI 1986,1987; UN-ECE 1989) als auch Stichprobenpläne für Luftbild-Waldzustandserhebungen (HARTMANN 1984, HILDEBRANDT 1983, 1984; HRADETZKY 1984, KENNEWEG 1980, KENNEWEG et al. 1984; KUHL 1985,1987; TRÄNKNER et al. 1988, SCHWARZENBACH et al. 1986, ZIRM et al. 1985) entwickelt worden.

Dort handelt es sich jedoch immer um voneinander isolierte Inventuransätze, die keine inhaltliche oder inventurtechnische Verknüpfung von terrestrischer und aeraler Erhebung beinhalten. Erste Ansatz einer Integration beider Verfahren zu einem kombiniert terrestrisch-aeriale Inventurverfahren sind in einer im Schwarzwald durchgeführten Pilotinventur (HILDEBRANDT et al. 1986) entwickelt, von TEPASSÉ (1988) untersucht und darauf aufbauend für die Inventurpraxis in Rheinland-Pfalz (HEIDINGSFELD 1989) erweitert worden.

Die Verwendung von Luftbildern zur Interpretation von Vegetationsschäden basiert auf der Technik und dem Informationsgehalt der im zweiten Weltkrieg in den USA und in der damaligen UdSSR zur Enttarnung entwickelten infrarotempfindlichen Farbfilm, die wegen ihrer speziellen Farbwiedergabe auch lange Zeit als "Falschfarbenfilme" bezeichnet werden. Bei der Entwicklung dieses Filmmaterials hat man sich die Entdeckung zunutze gemacht, daß die von unterschiedlichen Pflanzenarten remittierte Strahlung im nicht sichtbaren Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums eine wesentlich größere Aufgliederung erfährt als im sichtbaren Lichtbereich und daß sich organisches und anorganisches Grün scheinbar gleicher Farbtönung im Infrarotbereich durch eindeutige Remissionsdifferenzen unterscheiden (CLARK 1946, BELOV 1959, zit. b. WOLFF 1966, S. 86).

Bereits die ersten Color-Infrarot-Filme, der amerikanische "camouflage detection film", ein dreischichtiger Umkehrfilm, und der russische "Spektrozonalfilm SN-2M", ein zweischichtiger Negativfilm, lassen lebende und tote Vegetation unterschiedlich gefärbt auf den "Falschfarbenaufnahmen" erscheinen. Damit haben sich diese Filme - und vor allem ihre weiter verbesserten Nachfolgeprodukte - als außerordentlich informationsreich zur diagnostischen Beurteilung von Pflanzenkrankheiten erwiesen (COLWELL 1950, HILDEBRANDT 1966 b, WOLFF 1966). Unmittelbar nachdem dieses Filmmaterial zu Beginn der sechziger Jahre für die zivile Nutzung freigegeben, bzw. ihr zugänglich gemacht worden ist, beginnt eine Phase wissenschaftlicher Versuche in Eberswalde, Freiburg und Wien, die sehr bald zu vielversprechenden Ergebnissen führt

(HILDEBRANDT 1966 b, HILDEBRANDT u. KENNEWEG 1968,1970; POLLANSCHÜTZ 1968, STELLINGWERF 1968, WOLFF 1966, 1970). Darauf aufbauend wird in den siebziger und frühen achtziger Jahren in Mitteleuropa sowie in Nordamerika intensiv an der technischen Verbesserung und interpretatorischen Weiterentwicklung des Einsatzes von Color-Infrarot-Luftbildern zur Waldschadensdiagnose gearbeitet (z.B. ANTHONY 1986, AMMER et al. 1983, CAGIRICI 1978, FLEMING 1980, HILDEBRANDT 1980, KENNEWEG 1972, 1975a, 1980; MASUMY 1978, MURTHA 1972, POLLANSCHÜTZ 1981, RHODE 1977, TZSCHUPKE 1974). Inzwischen können Waldzustandserhebungen mit Color-Infrarot-Luftbildern hinsichtlich der Symptomatik - vor allem Dank der Entwicklung harmonisierter Interpretationsschlüssel (AFL 1988, EEC 1991, VDI 1993) - als praxisreif und terrestrischen Verfahren gleichwertig bezeichnet werden.

Luftbild-Waldzustandserhebungen sind auch erfolgreich in die Inventurpraxis der meisten deutschen Länder und mitteleuropäischen Staaten eingeführt. Dennoch konnten sie sich bisher nicht vollständig durchsetzen. Dafür ist neben nichtfachlichen Ursachen organisatorischer, haushaltstechnischer oder emotionaler Art (z.B. gewisse verwaltungsinterne Skepsis gegenüber neuen Techniken [KENNEWEG 1989]) vor allem verantwortlich, daß alle bisher entwickelten Inventurverfahren zur Luftbild-Waldzustandserhebung zwar mehr oder weniger repräsentativ waren, jedoch notgedrungen tolerierten, daß sie bei Wiederholungsinventuren nur oder überwiegend unabhängige Stichproben, das heißt nicht identische Stichprobenkollektive, aufnehmen und auswerten.

Demgegenüber besitzt die terrestrische Waldzustandserhebung derzeit noch folgende entscheidenden Vorteile: Sie arbeitet mit ausschließlich lagedefinierten Stichprobenorten in systematischer Verteilung (4\*4-km-Raster) und verfügt dank der angesprühten Baumnummern (in Rheinland-Pfalz in allen Altersklassen, andernorts, z.B. in Baden-Württemberg nur in älteren, einsehbaren Beständen [SCHÖPFER et al. 1983]) über ein eindeutig dokumentiertes, permanentes Stichprobenkollektiv. Aufgrund der obligatorisch einzelbaumweisen Ergebniserfassung ist eine ebenfalls einzelbaumweise Taxationskontrolle, eine Erfassung von Veränderungen im Stichprobenkollektiv sowie eine Quantifizierung des Einflusses von Kollektivverschiebungen möglich.

Auch der erste und bis dato fortschrittlichste Ansatz, Luftbildinterpretationsergebnisse in terrestrische Inventurergebnisse einzuhängen (HILDEBRANDT et al. 1986, 1989a) arbeitet aufgrund ökonomischer Zwänge mit jeweils nur einer permanenten, kombiniert terrestrisch-aerialen Stichprobe pro 27 temporären Luftbildstichproben. Eine einzelbaumweise Interpretationskontrolle und eine Quantifizierung des Einflusses von Kollektivverschiebungen sind ebenfalls möglich.

tivverschiebungen ist jedoch auch an dem Teilkollektiv der permanenten Stichprobenorte noch nicht möglich, da die Datenaquisition weiterhin baumartenweise summarisch erfolgt.

Zur Schaffung permanenter Stichprobenkollektive in Luftbildinventuren und deren Restitution in einem Folgebildflug sind bisher entweder - als praktische Behelfslösung - zentrale Probebäume dauerhaft luftbildsichtbar zu signalisieren (TEPASSÉ 1986, DUHR 1989, 1990) oder die Lagekoordinaten der Probebäume photogrammetrisch exakt zu erfassen. Die hierzu erforderlichen Methoden der analytischen Photogrammetrie sind wissenschaftlich prinzipiell bekannt (SCHWIDEFSKY et al. 1976) und auch in forstlichen Projekten exemplarisch realisiert (NAGEL 1984, AKÇA et al. 1989, MAUSER 1990, MAXIN 1991).

Nach wie vor ungelöst ist aber ihre technische und ökonomisch vertretbare Übertragbarkeit in eine Großrauminventur in Waldgebieten. Probleme bereiten dort die Aerotriangulation mit einer sehr geringen Zahl und Dichte der erforderlichen Paßpunkte, die Blockausgleichsrechnung von Streifenbildflügen ohne Querüberdeckung und mit großmaßstäbigen Luftbildern, der hohe materielle Aufwand der Photogrammetrie sowie die preisbedingt geringe Verbreitung photogrammetrischer Auswertegeräte.

### 1.2.2 Bestandesbezogene Kartierung von Waldschäden

Die große Bedeutung von Luftbildern als Informationsquelle für forstliche Kartierungsaufgaben ist bereits vor etwa 100 Jahren - rund 50 Jahre nach der 1839 in Paris vorgestellten Erfindung der Photographie - erkannt worden, als ein deutscher Forstmann das erste nicht mehr militärischen Zwecken, sondern der rein forstlichen Auswertung dienende Luftbild aus einem Fesselballon aufgenommen hat (BERLINER TAGEBLATT 1887, im Wortlaut nachgedruckt in HILDEBRANDT 1987 b). Österreichische Forstvermesser (z.B. WANG 1892) arbeiten zu dieser Zeit intensiv daran, sich die noch junge Technik der Bildmessung durch terrestrische photogrammetrische Aufnahmen für ihre praktischen Arbeiten zu erschließen.

Nach der Jahrhundertwende setzt mit der Erfindung des Motorflugzeuges, der Einführung des stereoskopischen Meßprinzips und der Erfindung von Entzerrungs- und Stereokartiergeräten ein spontaner Aufschwung der Luftbildmessung ein (HILDEBRANDT 1966 b). Nachdem HUGERSHOFF (1911) schon vor dem ersten Weltkrieg auf die wissenschaftliche Bedeutung der Photogrammetrie für das Forstwesen hingewiesen hat, setzt die bei der militärischen Aufklärung im Krieg erkannte Informationsfülle

der Luftbilder einen vielseitigen Aufschwung der Luftbildinterpretation in der Forstwirtschaft, den Geowissenschaften, der Archäologie und den Ingenieurwissenschaften in Gang. Bei der Hauptversammlung des Deutschen Forstvereins 1923 in Frankfurt a. d. O. wird bereits umfassend über praktische Erfahrungen beim Einsatz von Luftbildern zur rationelleren und detaillierteren Erhebung des Waldzustands im Rahmen der Forsteinrichtung, zur schnelleren Vermessung, zur raschen Ermittlung plötzlicher und umfangreicher Massenschäden durch Kahlfraß, Windwurf, Schneebruch oder Brand sowie zur dauernden Hilfe für den praktischen Forstbetrieb berichtet (HILF 1923). Bei dieser Tagung präsentiert HUGERSHOFF auch das erste automatische, photogrammetrische Kartiergerät, den von ihm konstruierten "Autokartograph", sowie eine Auswahl damit erstellter Karten und Pläne, darunter die erste Forstkarte mit Höhenschichtlinien (HUGERSHOFF 1923).

Vor allem in Bayern und Sachsen werden Luftbilder in den zwanziger Jahren intensiv als Hilfsmittel für die Forsteinrichtung eingesetzt, erste "Bildkarten" erstellt, Sturmschäden kartiert sowie Baumarten-, Alters-, Vorrats- und Standortsangaben direkt aus Luftbildern ermittelt (REBEL 1924, KRUTZSCH 1925). Gleichzeitig werden ehrgeizige Dispute über Begriffe ("Flugbild-Forsteinrichtung" [REBEL 1926a]), Bildmaßstäbe, Entzerrungstechniken, Paßpunktzahlen und erzielbare Genauigkeiten ausgetragen (REBEL 1926a,b; KRUTZSCH 1926).

In den dreißiger und vierziger Jahren gelten die Bemühungen einerseits der Verbesserung und Verfeinerung der Geräte, andererseits der thematischen und phototechnischen Weiterentwicklung der forstlichen Luftbildauswertung (v.LAER 1939, 1940, 1943, 1947). Ferner wird demonstriert, daß sie nicht als zusätzliche Arbeit durchgeführt, sondern kostensparend eingesetzt werden kann (v.LAER 1952 a,b,c). In den fünfziger und sechziger Jahren kann sich die Luftbildauswertung dank umfangreicher praktischer und richtungsweisender wissenschaftlicher Arbeiten von BACK (1952), BAUMANN (1954,1957), HILDEBRANDT (1957,1961, 1966a,b, 1970a), v.LAER (1966) und SPIECKER (1952 a,b), um nur einige Vertreter zu nennen, erfolgreich in der Forsteinrichtungspraxis mehrerer Länder etablieren. Die deutschsprachige und internationale Literatur zu diesem Thema hat bis zum Ende der sechziger Jahre einen Umfang erreicht (HILDEBRANDT 1969a), der nur noch von wenigen Experten überschaut werden kann. Seinen Höhepunkt und vorläufigen Abschluß findet dieser Entwicklungsstrang mit der Einführung von Luftbildplänen und Orthophotos als obligatorische Forstbetriebskarten (DEXHEIMER 1970, 1975; KERSTING 1975, PEERENBOOM 1975, VOSS 1970a,b). Das Verfahren, Luftbilder als Informationsquelle zur Herstellung thematischer Karten für Forstplanung und -betrieb zu verwenden, hat damit prinzipiell das Stadium der Praxisreife erreicht. Spezielle Fragestellungen, wie das vorliegende Pro-

blem der rationellen, flächenhaften Kartierung deutlich geschädigter und sanierungsbedürftiger Waldbestände, werfen jedoch immer wieder neue Fragestellungen bezüglich der optimalen Film- und Maßstabwahl, der problemorientierten Bildinterpretation und der anschaulichsten Ergebnispräsentation auf.

Das Verfahren der Interpretation von Vegetationsschäden aus großmaßstäbigen Color-Infrarot-Luftbildern hat inzwischen einen hohen Qualitätsstandard erreicht. Die intensive Entwicklungsarbeit in den sechziger und siebziger Jahren (vgl. Kap. 1.2.1), die Erfahrungen des vielfältigen Einsatzes im gesamten deutschsprachigen Raum in den achtziger Jahren sowie die abgestimmten Bemühungen zur Standardisierung der Bildqualität (VDI 1990) und zur Harmonisierung der Interpretation (AFL 1988, EEC 1991, VDI 1993), haben zu anerkannten Regeln der Technik geführt, die in den Händen erfahrener Luftbildinterpreten örtlich und zeitlich vergleichbare Ergebnisse gewährleisten.

Die Anwendung dieser Methoden setzt aber *bisher immer eine einzelbaumweise Interpretation* an Stichprobenbäumen voraus. Auf der Auswertungsebene Forstbetrieb (incl. Wuchsbezirk, Teilwuchsbezirk) hat sich jedoch gezeigt, daß Rasterstichproben dem betrieblichen Informationsbedarf nicht gerecht werden. Hier sind vollflächige, bestandesbezogene Schadenskartierungen gefordert. Dazu sind andernorts und in anderen Zusammenhängen schon einige Inventuransätze entwickelt worden, die flächenbezogene Aussagen aus entsprechend dichten Luftbild-Stichproben berechnen (z.B. HARTMANN 1984, MAUSER 1993a, RUNKEL u. KENNEWEG 1986, SCHMIDTKE 1987, TRÄNKNER u. TROYCKE 1988). Sie arbeiten jedoch nach wie vor mit teuren, daher nicht flächendeckend vorliegenden großmaßstäbigen Luftbildern und einer hohen Stichprobendichte. Trotz dieses hohen materiellen Aufwands müssen Auswertungs- und Zuordnungsprobleme bei sehr kleinen Befundeinheiten sowie fehlende Informationen zwischen den Flugstreifen toleriert werden. In der Schweiz (SCHERRER et al. 1992) und in Österreich (MAUSER 1993b) sind dagegen auch erste Ansätze zur pauschalen, flächenhaften Taxation aus CIR-Luftbildern 1:9.000 bzw. 1:10.000, allerdings ohne entsprechende Interpretationsschlüssel, versucht worden.

Als vollflächig arbeitendes Alternativkonzept ist bisher die Klassifizierung digitaler flugzeug- oder satellitengestützter multispektraler Scannerdaten erforscht worden (z.B. AKÇA et al. 1989, ALBERTZ et al. 1989, AMMER et al. 1989, FÖRSTER 1989, HÄUSLER 1991, HILDEBRANDT 1987a, LANDAUER et al. 1989, KADRO 1990, KENNEWEG et al. 1989a,b; KUNTZ 1988, SCHARDT 1990). Ihre Ergebnisse sind jedoch noch mit erheblichen Unsicherheiten in der Geometrie behaftet, die Probleme bei der Flächenabgrenzung und der Behandlung von auflösungsbedingt unvermeidbaren Mischpixeln verursachen. Die Verwendung von Flugzeugscanner- oder Satellitenbilddata

ten ist ebenfalls noch mit hohem Aufwand verbunden und hat zur großflächigen Überwachung der Waldschadenssituation noch kein operationelles Stadium erreicht (KENNEWEG et al. 1989a).

Zwischen der Berechnung bestandesbezogener Aussagen mittels einzelbaumweiser Stichproben aus großmaßstäbigen Luftbildern hohen Informationsgehalts einerseits und der Klassifizierung multispektraler Scannerdaten eingeschränkten Informationsgehalts andererseits klafft derzeit noch eine große Lücke. Ein operationelles Verfahren zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden für forstbetriebliche Entscheidungen ist bisher nicht bekannt. Es existiert auch noch kein flächenintegrierender Inventuransatz zur direkten Interpretation bestandesbezogener Aussagen aus Luftbildern kleineren und damit preiswerteren Maßstabs. Dabei könnte damit sowohl ein Rationalisierungserfolg als auch ein erheblicher, praxisgerechter Informationsgewinn erzielt werden.

### 1.3 Ziele dieser Untersuchungen

Die gegenwärtig in Mitteleuropa (z.B. in Österreich, der Schweiz und mehreren deutschen Ländern) praktizierten, teilweise sehr unterschiedlichen Inventuransätze zur großräumig repräsentativen Luftbild-Waldzustandserhebung erfüllen die an sie gestellten methodischen Anforderungen, insbesondere hinsichtlich permanenter Stichproben, einzelbaumweiser Kontrollmöglichkeiten und der rationellen Stichprobenrestitution (vgl. Kap. 1.2.1), in der Regel nicht oder nur zum Teil. Auch die bisher entwickelten Verbesserungsvorschläge stoßen aufgrund des hohen technischen, zeitlichen und materiellen Aufwands, der mit ihrer Realisierung verbundenen ist, immer noch auf ökonomische Grenzen.

Eine erste Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, aufbauend auf dem in einer vorangegangenen Pilotstudie entworfenen Stichprobenplan (HEIDINGSFELD 1989) und grundlegenden photogrammetrischen Arbeiten (z.B. AKÇA u. DONG 1989, HILDEBRANDT u.a. 1989, MAUSER 1990, MAXIN 1991) ein operationelles und vor allem rationelles Verfahren zur großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung mit permanenten Stichproben zu entwickeln und in die Inventurpraxis eines Bundeslandes einzuführen.

Dabei sollen erstmals in einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung ausschließlich permanente Stichproben zu Einsatz kommen. Für die Verteilung der Stichprobenorte ist ein systematisches, auf dem Luftbild projektiv verzerrtes Raster (KÖLBL 1982) vorgesehen. Die Restitution der Stichprobenpunkte in den Luftbildern eines Folgebildfluges sowie die Dokumentation der interpretierten Probebäume soll - im Rahmen der Genauigkeit, die zum Treffen einer Baumkrone erforderlich ist - erheblich rationalisiert werden. Die Datenaquisition erfolgt obligatorisch einzelbaumweise. Damit eröffnet sie die Möglichkeiten einer individuellen Interpretationskontrolle, einer Erfassung von Veränderungen im Stichprobenkollektiv sowie einer Quantifizierung des daraus resultierenden Einflusses auf die konstatierten Inventurergebnisse. Unter dem Aspekt der Praxisrelevanz soll schließlich besonderer Wert darauf gelegt werden, daß das zu entwickelnde Verfahren nicht nur wissenschaftlich begründet und methodisch innovativ ist, sondern vor allem Lösungswege aufzeigt, die technisch und arbeitsorganisatorisch möglichst leicht realisierbar und ökonomisch vertretbar sind.

Zur praktischen Umsetzung waldbaulicher Sanierungsmaßnahmen in besonders stark geschädigten Waldbeständen benötigt der Forstbetrieb eine flächenscharfe Kartierung zu behandelnder Bestände. Für diese Inventuraufgabe existiert derzeit noch kein operationelles, kostengünstiges Verfahren (vgl. Kap. 1.2.2). Die zweite Zielsetzung dieser Arbeit ist daher darauf ausgerichtet, nach Sichtung einschlägiger Klassifizierungsansätze zur Charakterisierung der Schadenssituation eines Bestandes (z.B. FÖRSTER 1989, OESTER 1987, PELZ u. DRECHSLER 1989, SCHMIDTKE 1987, UEBEL u. NAGEL 1989) eine rationale Methode zur direkt flächenintegrierenden, bestandesbezogenen Luftbildinterpretation aus mittelmaßstäbigen Color-Infrarot-Luftbildern und eine einfache, automatisierte Technik zur vollflächigen thematischen Kartierung auf Forstbetriebsebene zu entwickeln und in der Praxis zu erproben.

Dazu sollen zunächst die bekannten Ansätze zur Charakterisierung des Kronenzustandes von Beständen untersucht, eine besonders geeignete Kenngröße hergeleitet sowie entsprechende luftbildsichtbare "Bestandesschadstufen" abgegrenzt und definiert werden. Sodann gilt es, die interpretatorischen Voraussetzungen und die luftbildrelevanten Kriterien für eine flächenintegrierende Taxation des Kronenzustands zu erforschen und daraus erste Interpretationsschlüssel zur Klassifikation dieser Bestandesschadstufen zu entwickeln. Im Rahmen eines Praxistests sollen die neuen Schlüssel auf ihre Tauglichkeit geprüft, ihre Interpretationsergebnisse verifiziert und der Arbeitsablauf technisch-organisatorisch optimiert werden. Schließlich gilt es, eine rationale Methode zur ansprechenden Präsentation der Kartierungsergebnisse und zur automatischen Flächenberechnung zu finden sowie die Praxisrelevanz der so erstellten thematischen Karten und Flächenbilanzen abzuschätzen.

Abschließend soll diskutiert werden, wie die beiden hier entwickelten Inventurkonzepte zur großräumigen und betrieblichen Luftbild-Waldzustandserhebung mit der vorhandenen terrestrischen Waldzustandserhebung in ein aus mehreren Informationsebenen bestehendes gemeinsames Inventursystem integriert werden können.

## **2 GROSSRÄUMIGE LUFTBILD-WALDZUSTANDSERHEBUNG MIT VEREINFACHTEN PERMANENTEN STICHPROBEN**

### **2.1 Entwicklung des Inventurkonzeptes**

#### **2.1.1 Integriertes Inventurverfahren**

Terrestrischen und luftbildgestützten Verfahren zur Erhebung von Waldschäden liegen meist unterschiedliche Aufgabenstellungen zugrunde: Die terrestrische Waldzustandserhebung hat zum Ziel, kurzfristig einen groben Überblick über den landesweiten Stand der Waldschäden bereitzustellen. Dabei sollen neben der aktuellen Zustandsbeschreibung auch regionale Schadensschwerpunkte umrissen und Entwicklungstendenzen aufgezeigt werden (DAMMANN et al. 1992). Die terrestrische Stichprobe muß sich wegen ihres kurzen Aufnahmezeitraumes zwischen vollständiger Laubentfaltung und dem Beginn der Herbstverfärbung, wegen der Vorgabe, die Schätzfehler durch Einsatz möglichst weniger, einheitlich geschulter Aufnahmeteams zu minimieren, und wegen der von ihr geforderten Aktualität auf ein relativ grobes Raster beschränken. Dies erlaubt statistisch verlässliche Auswertungen nur auf der Ebene der Länder, Regierungsbezirke und forstlichen Wuchsgebiete (HEIDINGSFELD et al. 1990). Detailinformationen innerhalb der Wuchsgebiete sind mit diesem relativ weitmaschigen Stichprobennetz nicht zu gewinnen. Eine solche Aufdeckung kleinräumlicher Schadensverteilungsmuster und deren Dokumentation kann die Luftbild-Waldzustandserhebung dagegen leisten; denn sie kann, wenn die binnen weniger Stunden oder Tage belichteten Luftbilder fachgerecht aufgenommen (VDI 1990) und spezielle Interpretationsschlüssel (VDI 1993) erstellt sind, ohne Zeitdruck und folglich mit einem wesentlich dichteren Stichprobenraster arbeiten. Unabhängig von diesen unterschiedlichen Zielsetzungen haben beide Methoden aber dieselben, den morphologisch-phänologischen Kronenzustand von Stichprobebäumen beschreibenden Parameter (FRAUDE 1987, GRUBER 1987, MÜLLER 1986, NIEHAUS 1989, ROLOFF 1985, 1989; SCHRÖTER et al. 1985) zu erheben und daraus Aussagen über den mittleren Kronenzustand des Waldes innerhalb vorher ausgewiesener Befundeinheiten abzuleiten.

Bereits in der Planungsphase einer vorangegangenen Pilotstudie hatte sich gezeigt, daß beide Verfahren ihre spezifischen Stärken besitzen, jedoch keines *allen* Anforderungen gerecht werden kann. Daher lag es nahe, die Entwicklung eines Inventursystems in Angriff zu nehmen, das die Vorteile beider Verfahren miteinander verbindet (HEIDINGSFELD 1987). In Übereinstimmung mit anderen Großrauminventuren (z.B. HILDEBRANDT et al. 1986, TEPASSÉ 1988 oder RUNKEL 1990) werden die Luftbild-Streifenbefliegungen daher auf dem Gitternetz der terrestrische Rasterstichprobe durchgeführt. Neu ist allerdings das erklärte Ziel, die Stichprobenpläne beider Verfahren vollständig in ein gemeinsames Stichprobendesign zu integrieren (HEIDINGSFELD 1989). Damit werden die Vorteile der inhaltlichen Integration zweier Inventursysteme und Informationsebenen mit den Vorteilen eines systematischen, im Luftbild projektiv verzerrten Stichprobenrasters (vgl. Abb. 2.1) verknüpft. Dies ist gleichzeitig ein erster Schritt zur angestrebten Rationalisierung der späteren Restitution permanenter Stichproben (vgl. Kap. 2.3).

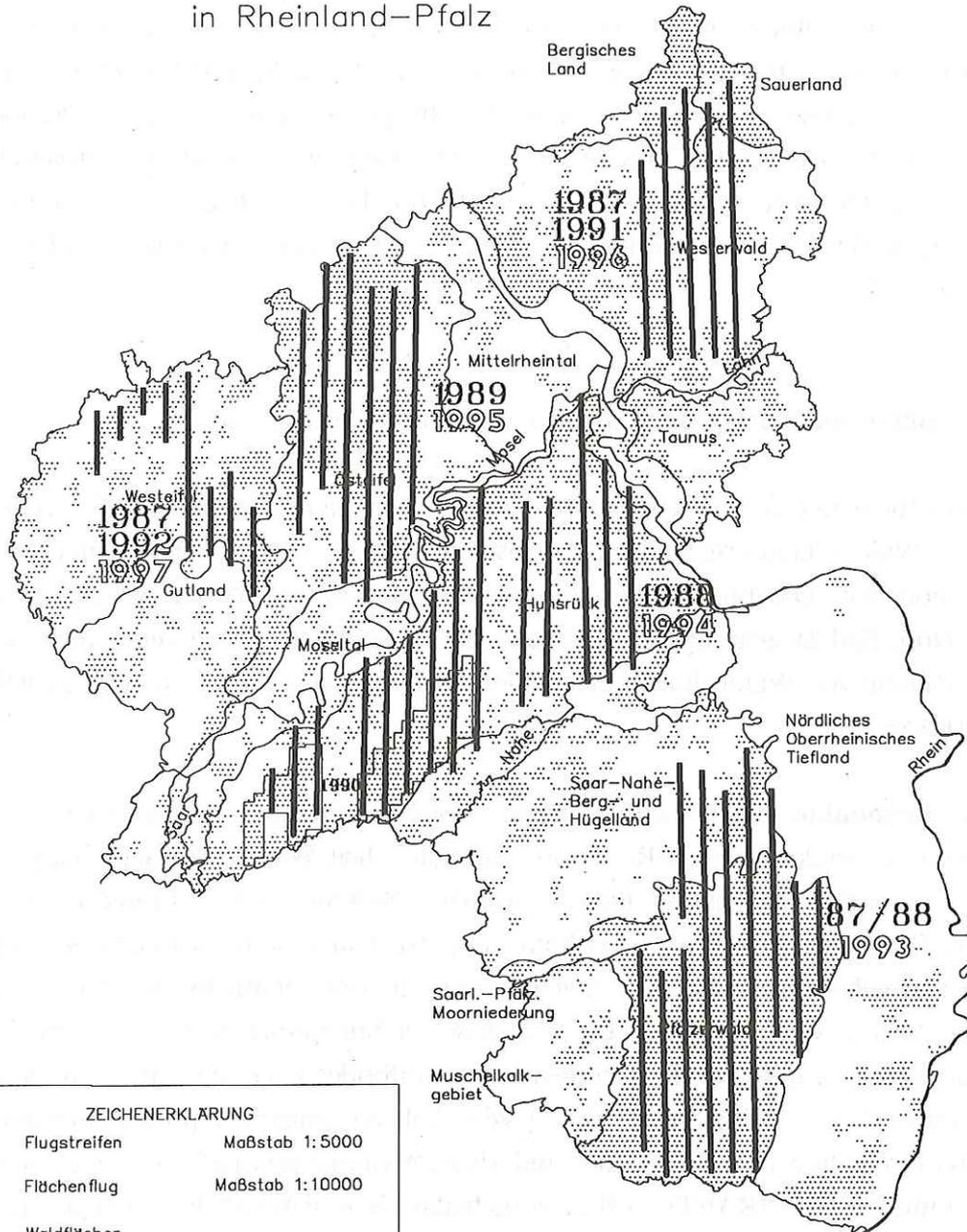
### 2.1.2 Stichprobendesign der Luftbild-Waldzustandserhebung

Die Luftbildbefliegung erfolgt streifenweise exakt auf den Gauß-Krüger-Gitterlinien der terrestrischen Waldzustandserhebung. Der Abstand der Flugstreifen untereinander beträgt vier Kilometer. Die Flugstreifen sind aus Gründen der Stereo-Auswertung ausschließlich Nord-Süd ausgerichtet, auch wenn die Topographie des Landes oder die Längenausdehnung von Waldgebieten eine andere Orientierung wünschenswert erscheinen lassen (Karte 2.1).

Die **Stichprobenpunkte** für die Luftbildinventur ergeben sich durch systematische Verdichtung des bestehenden 4x4-km-Rasters der terrestrischen Waldzustandserhebung zu einem 0,3x1-km-Raster im Gauß-Krüger-Koordinaten-System (Abb. 2.1a und b). Auf den Flugstreifen liegen damit in Flugrichtung alle 1000 m drei Aufnahmepunkte mit 300 m Abstand nebeneinander. Diese Inventur arbeitet somit erstmalig mit einem im geodätischen Bezugssystem vollständig systematischen Stichprobennetz, das nach der Transformation ins Luftbild ein der Geometrie des Luftbildes angepaßtes projektiv verzerrtes Raster (KÖLBL 1982) ergibt. Damit wird höhenbedingten Repräsentationsfehlern (Überrepräsentation höher gelegener und Unterrepräsentation tiefer gelegener Geländeauschnitte, HILDEBRANDT 1984) vorgebeugt. Von den auf der vorgegebenen Flugachse liegenden mittleren Stichprobenpunkten ist jeder vierte Punkt mit den Stichprobenpunkten der terrestrischen Waldzustandserhebung identisch. Analog zur terrestrischen Erhebung werden auch hier nur auf Wald fallende Koordinatenpunkte berücksichtigt. Die Entscheidung 'Wald/Nichtwald' orientiert sich hier wie bei der Anlage des

# Luftbild-Waldzustandserhebung in Rheinland-Pfalz

Karte 2.1 : Color-Infrarot-Bildflüge  
in Rheinland-Pfalz



## ZEICHENERKLÄRUNG

-  Flugstreifen      Maßstab 1:5000
-  Flächenflug      Maßstab 1:10000
-  Waldflächen

- 1987** Jahr einer bisherigen Befliegung
- 1995** Jahr der geplanten Folgebefliegung

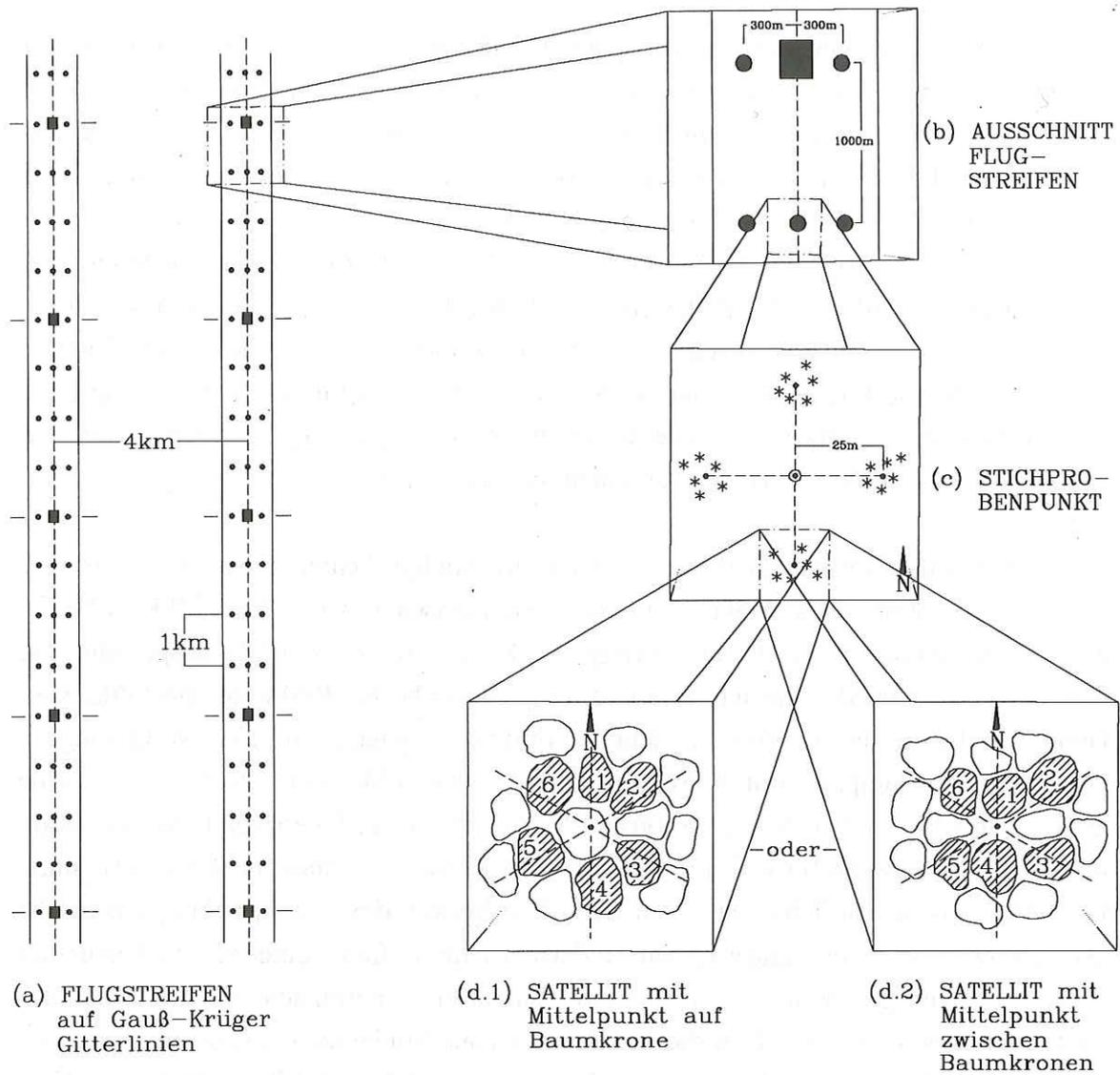
Kartengrundlage: Forstliche Wuchsgebiete in Rheinland-Pfalz

0 10 20 30 km

terrestrischen Stichprobenrasters und später bei der Bundeswaldinventur an der Legaldefinition für Wald als "jede mit Forstpflanzen bestockte Fläche" einschließlich vorübergehend nicht bestockter Kahlflächen sowie der Wege, Waldwiesen etc.. Obwohl der Wald/Nichtwaldentscheid bei Stichprobenpunkten prinzipiell in einem dimensionslosen Punkt erfolgt, muß um diesen Punkt herum ein gewisser Bereich in die Betrachtung einbezogen werden (KLEINN 1991). Anstelle einer fest vorgegebenen Mindestfläche wird hier gefordert, daß mindestens der Stichprobenmittelpunkt und drei Satelliten eines Kreuztraktes (vgl. übernächster Absatz) im Wald liegen müssen. Daraus folgt indirekt eine Mindestbreite von etwa 30 Meter. Weitere quantitative Abgrenzungskriterien zur Walddefinition, wie beispielsweise Überschirmungsgrad, Bestockungsgrad oder Mindesthöhe (KLEINN 1991), werden nicht berücksichtigt.

Die nach Landeskoordinaten definierte Lage der Stichprobenpunkte wird bei der erstmaligen Aufnahme eines Punktes aus der topographischen Karte 1 : 25.000 (TK 25) gutachtlich manuell ins Luftbild übertragen. Dabei wird das Luftbild ausgewählt, 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 Verzerrungen an den Bildrändern vermieden. Da die exakte Lage der Stichprobenorte aufgrund der bei manueller Übertragung von der Karte ins Luftbild zwangsläufig in Kauf genommenen kleineren Fehler nicht a priori durch Landeskoordinaten definiert ist, wird der **Mittelpunkt des Stichprobenpunktes** bei der Erstinventur mittels eines feinen Nadelstichs im Luftbild eindeutig und dauerhaft markiert. Dadurch gewinnt der Punkt die Qualität eines permanenten Stichprobenortes (HILDEBRANDT 1984), denn die Lage dieser Nadelstiche kann später entweder photogrammetrisch (Kap. 2.3.1) oder optisch-mechanisch (Kap. 2.3.2) in das entsprechende Luftbild einer Folgebefliegung übertragen werden. Die Folgeinventur findet dann an den identischen Stichprobenorten desselben systematischen Rasternetzes wie bei der Erstinventur statt.

Als **Stichprobenkollektive** werden pro Punkt viermal sechs Stichprobenbäume in Form eines Kreuztraktes wie bei der terrestrischen Waldzustandserhebung aufgenommen (Abb. 2.1c). Die Mittelpunkte der 4 Satelliten dieses Kreuztraktes liegen in der Natur etwa 25 m in den vier Haupthimmelsrichtungen vom Traktmittelpunkt entfernt. Sie werden im Luftbild ebenfalls durch Nadelstiche markiert. Somit sind im Luftbild an jedem Stichprobenort fünf Nadelstiche (1 Stichprobenmittelpunkt und 4 Satellitenmittelpunkte) vorhanden.



**LEGENDE:**

■ kombinierter Stichprobenpunkt der TWE und LWE ( 4*4-km-Raster )	⊙ Stichprobenmittelpunkt des Kreuztraktes	⋆ Satellitenmittelpunkt ( Hexagonmittelpunkt = Stichel-Marke )
... LWE-Stichprobenpunkte ( 1*0,3-km-Raster )	*** Satellit mit sechs Stichprobenbäumen	⊗ Baum-Nr. innerhalb der 6 Stichprobenbäume

Abb. 2.1: Stichprobeplan für großräumige Luftbild-Waldzustandserhebungen; a) Flugstreifen auf den Gauß-Krüger-Gitterlinien der TWE b) Stichprobenpunkte im 0,3 \* 1-km-Raster c) Stichprobenpunkt in Form eines Kreuztraktes mit 24 (4\*6) Stichprobenbäumen d) "Sechs-Baum-Stichproben" in Hexagonform mit d.1) Satellitenmittelpunkt auf Baumkrone oder d.2) Satellitenmittelpunkt zwischen Baumkronen (aus HEIDINGSFELD 1989, leicht verändert).

Die möglichst eindeutige Definition der sechs **Probebäume je Satellit** erfolgt durch Auswahl derjenigen sechs Bäume, die am ehesten geeignet sind, um den Satellitenmittelpunkt herum eine Hexagonform (KUHL 1985) aufzubauen (Abb. 2.1d.1 und d.2). Dieses Hexagon ist ein anschauliches Hilfsmittel zur möglichst eindeutigen Definition nicht mit Lagekoordinaten erfaßter Probebäume. 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. 2.1d.1), so wird der getroffene Baum nicht zum Aufbau des Hexagons herangezogen, da der Nadelstich möglicherweise wichtige Teile der Krone verdeckt. Dann erhält das Hexagon erfahrungsgemäß eine sehr gleichmäßige Form. Fällt der Satellitenmittelpunkt dagegen zwischen zwei Baumkronen (Abb. 2.1d.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 Gewährleistung ihrer Reproduzierbarkeit ist in Zweifelsfällen deshalb größeres Gewicht auf die Richtung als auf die Nähe zum Satellitenmittelpunkt zu legen! Die Stichprobenbäume werden schließlich auf Papierabzügen von Luftbild-Ausschnittvergrößerungen skizziert und ihre Baumnummern dokumentiert (Kap. 2.4).

### 2.1.3 Erfahrungen aus dem Zyklus der Erstbefliegungen

Ergänzend zur landesweiten terrestrischen Waldzustandserhebung sind in Rheinland-Pfalz fünf Hauptwaldgebiete (Westefel, Osteifel, Westerwald, Hunsrück und Pfälzerwald) für großräumige Luftbildstichprobeninventuren ausgeschieden worden. Dort sollen in einem fünfjährigen Turnus jährlich wechselnd regionale Luftbild-Waldzustandserhebungen durchgeführt werden.

Alternativ zu diesen turnusmäßigen Inventuren in mittelfristigen Abständen könnte kostenneutral ebenso alle fünf Jahre das ganze Land beflogen und ausgewertet werden, wie es beispielsweise 1983 in Baden-Württemberg erfolgt ist (SCHÖPFER et al. 1984a). Der einzige Vorteil dieser Variante läge in der gleichzeitigen Dokumentation des Waldzustandes aller Naturräume eines Landes zu einem einheitlichen Zeitpunkt. Dieser Gesichtspunkt verliert unter dem Aspekt, daß großräumig regionale Vergleiche mittels periodischer Vollstichproben der terrestrischen Erhebungen vorgenommen werden und Luftbildinventuren Detailauswertungen innerhalb der Wuchsgebiete liefern sol-

len, erheblich an Bedeutung. Dagegen hat die turnusmäßige Befliegung von Teilräumen des Landes folgende Vorteile: Sie besitzt höhere Erfolgsaussichten auf eine vollständige Erfüllung der jährlichen Befliegungen, da das Wetterisiko umso geringer wird, je kleiner das zu befliegende Gebiet ist. Die jeweiligen Bildflüge können von nur einer Flugfirma und mit einer einheitlichen Filmemulsion durchgeführt werden, so daß innerhalb eines Jahres mit einheitlicherem Bildmaterial zu rechnen ist. Es können weniger, besser aufeinander abgestimmte Interpreten eingesetzt und damit eine einheitlichere Interpretationsqualität mit einem geringeren Anteil einseitiger Schätzfehler erzielt werden. Der so mögliche Einsatz derselben Interpreten in mehreren Jahren hintereinander schafft vergleichbare Interpretationsmaßstäbe in unterschiedlichen Gebieten. Die mit jährlichen Inventuren verbundene ständige Übung und Fortbildung erhält und verbessert die fachliche Qualifikation des beteiligten Personals und hält das erforderliche technische und organisatorische "Know-How" aufrecht. Dies müßte bei periodischen landesweiten Luftbild-Waldzustandserhebungen alle X Jahre wieder neu geschaffen oder mit einer neuen, unerfahrenen Mannschaft reaktiviert werden. Die gleichmäßige Verteilung der Kosten ermöglicht auch haushaltstechnisch ein wesentlich planvolleres Handeln (HEIDINGSFELD 1990 b).

Der Zyklus der Erstbefliegungen ist 1987 in drei kleineren Gebieten gleichzeitig begonnen und 1989 in der Osteifel abgeschlossen worden (Karte 2.1). Die Erfahrungen aus diesen Erstinventuren haben gezeigt, daß das hier vorgestellte Stichprobendesign zur Auswertung großräumiger Streifenbildflüge sehr übersichtlich und leicht anwendbar ist.

Analog zu anderen, bisher bekannten Verfahren mit aufwendiger Punktsignalisierung (TEPASSÉ 1986, HILDEBRANDT et al. 1986) und teilweise (HILDEBRANDT et al. 1989) oder vollständig photogrammetrischen Inventurverfahren (MAUSER 1990, MAXIN 1991) garantieren die Regeln dieses Stichprobenverfahrens bereits mit sehr geringem Aufwand eine definitive Dokumentation der interpretierten Bäume. Dieses Stichprobendesign und der hier eingeführte einzelbaumweise Nachweis der Interpretationsergebnisse ermöglichen erstmalig in einer großräumigen Luftbildinventur auch eine einzelbaumweise Taxationskontrolle. Darüberhinaus ist der einzelbaumweise Nachweis der Interpretationsergebnisse eine entscheidende Voraussetzung für die spätere Betrachtung ausgeschiedener und ersetzter Probebäume. Die bei der Auswertung der Erstinventuren routinemäßig durchgeführte Kontrollinterpretation, bei der zu bereits einmal interpretierten Stichprobenbäumen zurückgekehrt werden muß, hat außerdem darauf hingewiesen, daß mit den Regeln dieses Inventurverfahrens prinzipiell permanente Stichprobenkollektive vorliegen müßten; denn die Regeln dieses Stichprobenplanes bilden die Grundlagen für eine eindeutige Wiedererkennung derselben Stichprobenbäume in den Luftbildern einer Folgebefliegung. Das setzt allerdings voraus, daß die fünf Nadelstiche

je Stichprobenpunkt lagegetreu in die Luftbilder des Folgebildfluges übertragen werden (Kap. 2.3). Die Tatsache, daß nicht mehr alle Einzelbäume eines Stichprobenpunktes, sondern nur noch fünf Mittelpunkte in die Folgeluftbilder übertragen werden müssen, stellt bereits einen ersten Rationalisierungserfolg dar.

Bei den Erstinventuren konnte der Nachweis für eine erfolgreiche Restitution der festgelegten und hinsichtlich ihrer Schadensmerkmale interpretierten Einzelbäume zwangsläufig nicht erbracht werden. Die einfache Methode, die Lage der Stichprobenorte durch Nadelstiche in den Luftbildern zu markieren, ist gewählt worden, weil sie sich bereits in den fünfziger Jahren zur dauerhaften Markierung der Lage von Paß- und Grenzpunkten in Forsteinrichtungsluftbildern bewährt hat (v.LAER 1952 a). Diese die Luftbilder zwar leicht beschädigenden, aber eindeutigen Markierungen sind die Grundlage und die Ausgangspunkte für eine spätere Restitution der Stichprobenorte. Darauf wird jetzt zurückgegriffen.

## 2.2 Untersuchungsgebiet und Bildmaterial

### 2.2.1 Untersuchungsgebiet "Westerwald"

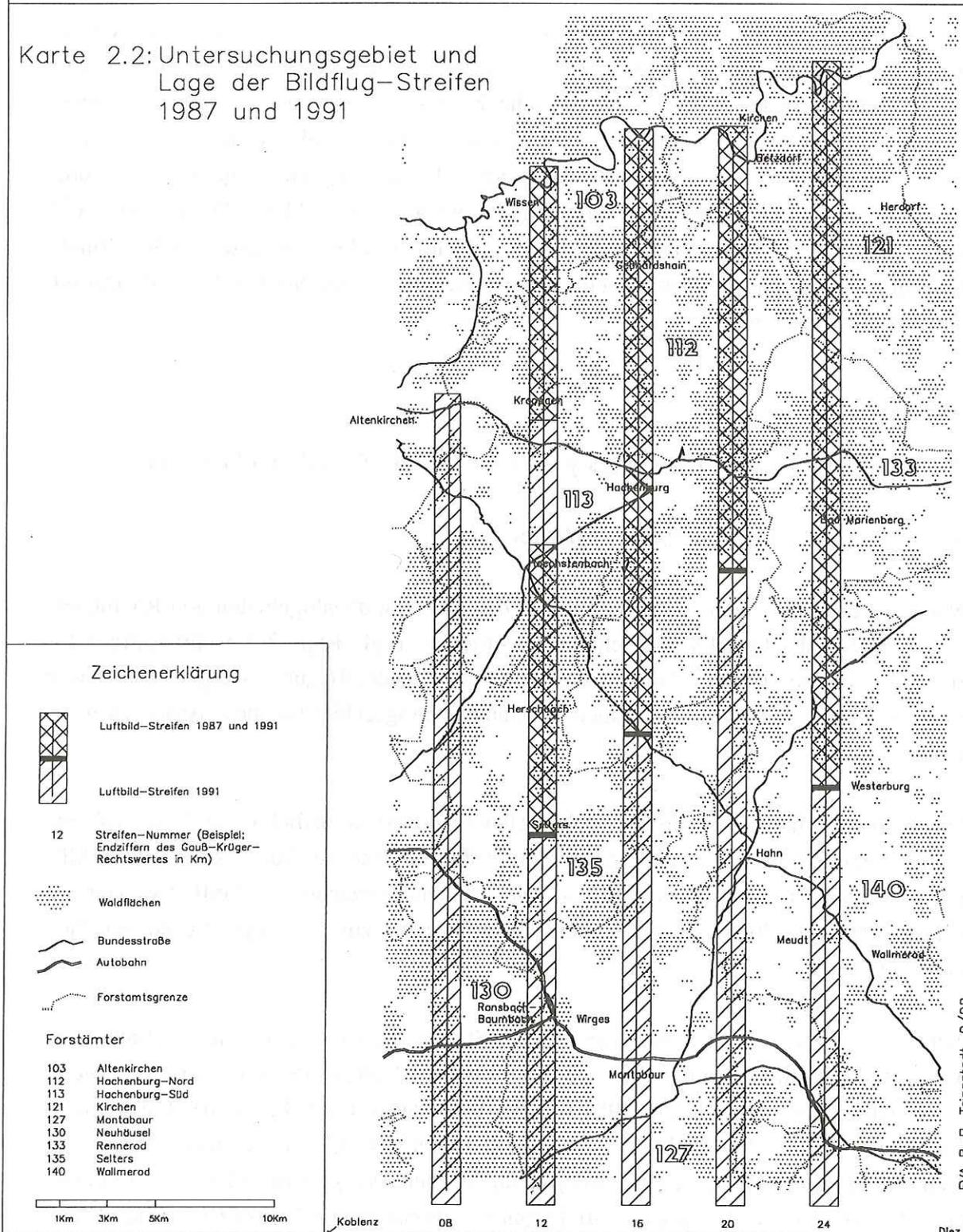
Nachdem der Zyklus der Erstinventuren in den fünf Hauptwaldgebieten von Rheinland-Pfalz 1989 in der Osteifel abgeschlossen worden ist (vgl. Kap. 2.1.3 und Karte 2.1), sollte im Sommer 1991 im Westerwald die erste Folgebefliegung erfolgen. Daher war es naheliegend, den Westerwald auch als Untersuchungsgebiet für diese Arbeit zu wählen.

Das Gebiet umfaßt die rechtsrheinischen Hauptwaldgebiete östlich einer Linie Koblenz - Altenkirchen und reicht etwa von der Montabaurer Höhe im Süden bis zu den südlichen Seitentälern der Sieg im Norden. Die östliche Begrenzung verläuft etwa von der Landesgrenze nördlich von Diez über Westerburg bis zur Landesgrenze an der Sieg (Karte 2.2).

Hier sind im August 1991 im 4-km-Abstand Stichprobenstreifen mit einer Gesamtlänge von 210 Flugkilometer befliegen worden. Davon ist allerdings nur knapp die Hälfte Folgebefliegung; denn im Jahr 1987 war der Westerwaldflug auf etwa 100 km Streifenlänge beschränkt. Davon sind 1991 noch 90 km erneut befliegen worden. Dieses zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung herangezogene Vergleichsgebiet der Pilotinventur 1987, die zur Erarbeitung des Stichprobeverfahrens diente, beinhaltet nur den Nord-

# Luftbild-Waldzustandserhebung im Westerwald

Karte 2.2: Untersuchungsgebiet und Lage der Bildflug-Streifen 1987 und 1991



teil des gesamten Untersuchungsgebietes von der Sieg bis etwa zu einer Linie Selters - Westerburg im Süden. Die Inventurergebnisse müssen daher auch für entsprechende Teilräume ausgewertet werden. Das bereits 1987 beflogene Teilgebiet stellt auch das Untersuchungsgebiet dar, in dem die Reproduzierbarkeit permanenter Stichprobenkollektive getestet wird.

### 2.2.2 Bildmaterial des Erst- und Folgebildfluges

Beide Bildflüge sind mit dem Film Kodak Aerochrome Infrared 2443 (KODAK 1981 a,b) im Bildmaßstab ca. 1 : 5.000 und mit etwa 60 % Längsüberdeckung durchgeführt worden (Tab. 2.1).

**Tab. 2.1: Technische Daten der Bildflüge und des Bildmaterials der Westerwald-Befliegungen 1987 und 1991**

Technische Daten	Erstbefliegung 1987	Folgebefliegung 1991
Flugtermine	17.08.1987	22.08.1991
Flugstreifen (N)	4	5
Streifenabstand	4 km	4 km
Streifenlänge	90 km	210 km
Erfasste Landesfläche	9.000 ha	21.000 ha
Mittl. Bildmaßstab	1:5.000	1:5.000
Längsüberdeckung	ca. 60 %	ca. 60 %
Anzahl der Luftbilder	198	439
Anzahl der Stichprobenpunkte	161	298
Filmart	Kodak IR 2443	Kodak IR 2443
Filmemulsion Nr.	306	347-11
Aufnahmekamera	ZEISS RMK A	WILD RC 20
Objektiv (Kammerkonstante)	305 mm	302 mm
Filter	IR3, Wr16, CC20M	525+20CC

Auf dem von beiden Bildflügen gemeinsam abgedeckten Testgebiet wurden 1987 insgesamt 198 CIR-Luftbilder aufgenommen, in denen 161 im Wald gelegene Stichprobenpunkte des systematischen 0.3 x 1.0-km-Rasters markiert sind. Dasselbe Testgebiet ist 1991 von 186 CIR-Luftbildern erfaßt worden. Die beiden Bildflüge sind zwar mit unterschiedlichen Emulsionen des gleichen Filmmaterials durchgeführt worden, die Bildqualität entspricht hinsichtlich Schärfe und farblicher Differenzierung jedoch in beiden Fällen den Anforderungen für eine qualifizierte Luftbildinterpretation (VDI 1990, VORETZSCH et al. 1986).

## **2.3 Übertragung der Stichprobenpunkte in die Luftbilder eines Folgebildfluges**

### **2.3.1 Punktübertragung mit Methoden der analytischen Photogrammetrie**

#### **2.3.1.1 Beschaffung von Paßpunkten in walddreichen Gebieten**

Für jede photogrammetrische Arbeit ist die Herstellung der Beziehung zwischen der Abbildung und einem geodätischen Bezugssystem des abgebildeten Geländeausschnitts erforderlich. Zu diesem Zweck werden im Luftbild eindeutig identifizierbare Geländepunkte (**Paßpunkte**) benötigt, deren Koordinaten im geodätischen Bezugssystem bekannt sind. Man unterscheidet Vollpaßpunkte mit den Raumkoordinaten XYZ, Lagepaßpunkte mit den Lagekoordinaten XY und Höhenpaßpunkte mit der Höhenkoordinate Z (HILDEBRANDT in HUSS (Hrsg.) 1984).

Die Beschaffung der zur absoluten Orientierung des Stereomodells erforderlichen Paßpunkte, also luftbildsichtbarer Punkte, deren Koordinaten mit hoher Genauigkeit bestimmt sind, bereitet in Waldgebieten jedoch einige Probleme. Geodätische Paßpunktbestimmungen mit speziellen terrestrischen Markierungsmaßnahmen vor dem Bildflug, wie in der Luftbildmessung der Katasterverwaltung üblich, kommen hier aus Kostengründen und wegen möglicher Signalverluste bis zur Befliegung nicht infrage. Das von HILDEBRANDT (1984) vorgeschlagene und von MAXIN (1991) realisierte Konzept der photogrammetrischen Paßpunktbestimmung aus einer kleinmaßstäbigen Zusatzbefliegung hat sich für räumlich überschaubare Projekte (dort fünf Einzelmodelle aus drei Bildjahrgängen) als sehr operationell erwiesen. Wahrscheinlich dürfte es auch auf Großrauminventuren in Gebieten, von denen es keine verläßlichen Kartenunterlagen gibt, übertragbar und ökonomisch zu vertreten sein. Zur Restitution von Stichproben einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung, die aufgrund der Größe der einzu-

messenden Objekte (Baumkronen von mehreren Metern Durchmesser) bei weitem nicht so hohe Anforderungen an die Lagegenauigkeit stellt wie die Katastervermessung, erscheint dieses Verfahren aber immer noch zu aufwendig.

Obwohl nur knapp die Hälfte des Westerwald-Bildfluges eine Folgebefliegung und damit photogrammetrisch zu bearbeiten ist (vgl. Kap.2.2), müssen hier etwa **200 Modelle** aerotrianguliert werden. Künftig werden es alleine im Westerwald mehr als doppelt so viele sein. In dieser Arbeit wird daher exemplarisch für Untersuchungsgebiete mit zwar unvollständigen, aber doch vergleichsweise guten und künftig kontinuierlich komplettierten Kartenunterlagen ein gegenüber der kleinmaßstäbigen Zusatzbefliegung noch extensiveres Verfahren der Paßpunktbeschaffung und Modellorientierung beschrieben und im Testgebiet Westerwald erprobt. Nach der Reduktion der Zahl je Stichprobenort einzumessender und zu übertragender Objekte auf fünf Mittelpunkte (vgl. Kap. 2.1.2 und 2.1.3) wird hiermit ein **zweiter Rationalisierungsschritt** angestrebt.

Die Deutsche Grundkarte 1 : 5.000 (DGK 5), aus der Paßpunkte sehr ökonomisch und mit relativ hoher Genauigkeit digitalisiert werden könnten, liegt auch in Rheinland-Pfalz noch nicht flächendeckend vor; insbesondere nicht in den großen Waldgebieten. Die Landesvermessung verfügt aber über ein landesweit geschlossenes Netz trigonometrischer Dauerpaßpunkte, die zur Erstellung der DGK 5 durch Aerotriangulation aus Luftbildern 1 : 12.500 und zur Fortführung der Topographischen Karte (TK 25) aus Luftbildern des Maßstabs 1 : 34.000 gewonnen wurden. Diese Dauerpaßpunkte sind ohne Signalisierung sichtbar. Es sind Vollpaßpunkte, d.h. es liegen Lage- und Höhenkoordinaten vor, die vom Landesvermessungsamt zudem auf Datenträger bereitgestellt werden.

Die Arbeit mit diesen Dauerpaßpunkten ist sehr rationell und vergleichsweise unkompliziert, da die Punktunterlagen sehr übersichtlich dokumentiert sind. Die ungefähre Lage und Verteilung aller Dauerpaßpunkte ist in Übersichtskarten auf der Basis der topographischen Karte 1:25.000 (TK25) dargestellt (Abb. 2.2). Diese Karten liefern bereits einen Überblick über die allgemeine Verteilung und Dichte der verfügbaren Paßpunkte. Die exakte Lage jedes Paßpunktes ist schließlich in Lageskizzen (Abb. 2.3) dokumentiert. Zu allen Dauerpaßpunkten liegen die X-, Y- und Z-Koordinaten in Millimeterangaben vor. Ihre tatsächliche Genauigkeit ist jedoch in Abhängigkeit vom Ausgangsbildmaßstab und der Eindeutigkeit des Punktes wesentlich geringer (mündl. Mitteilung Herr JUNG, Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz vom 20.08.1991).

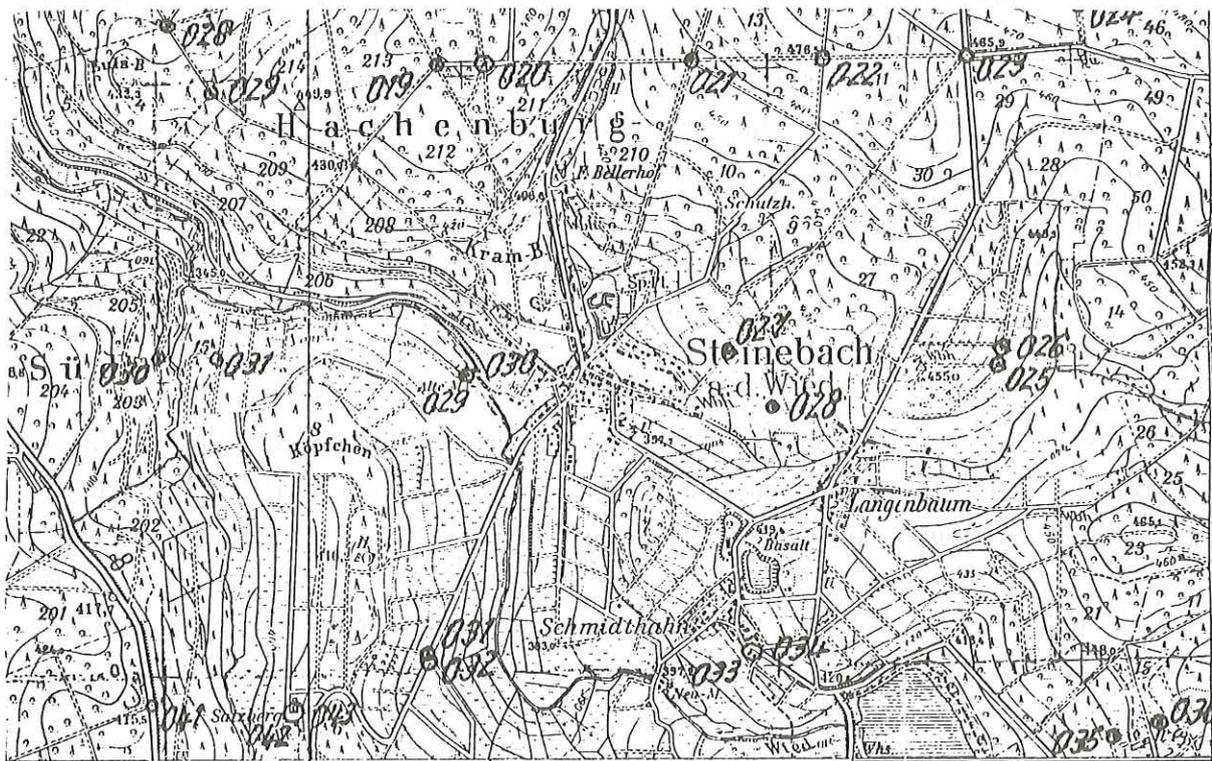
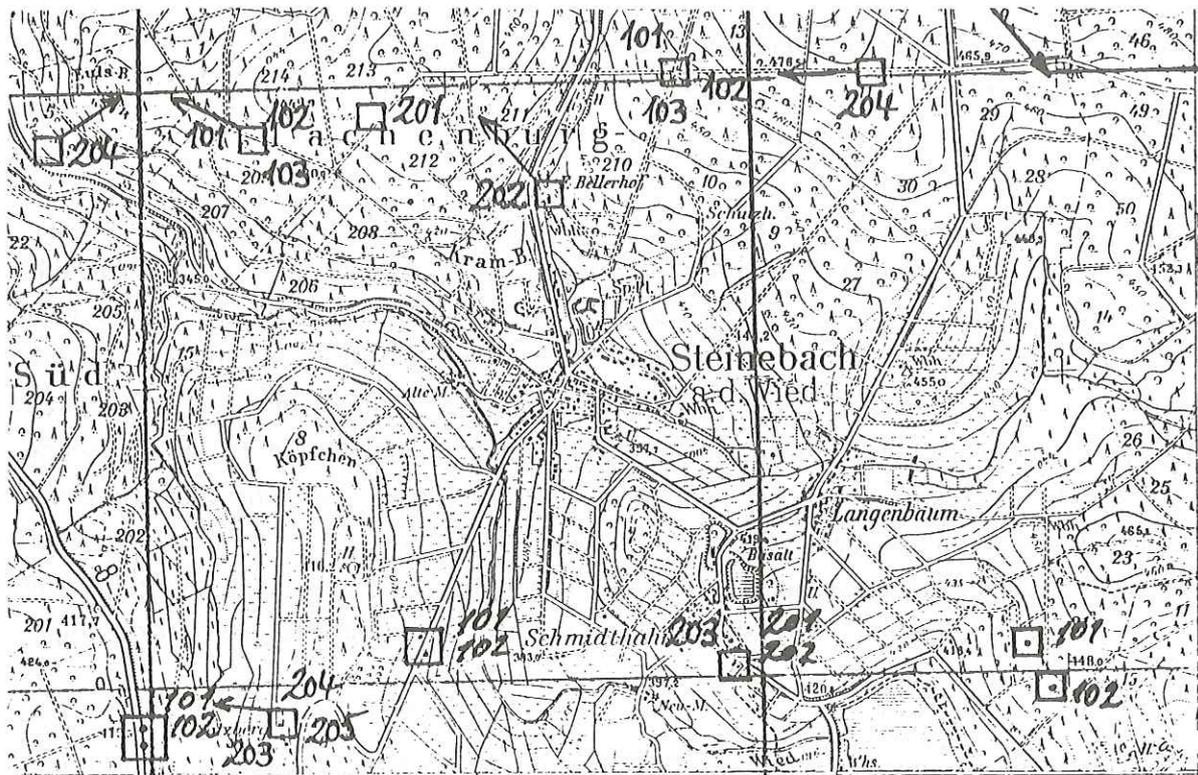
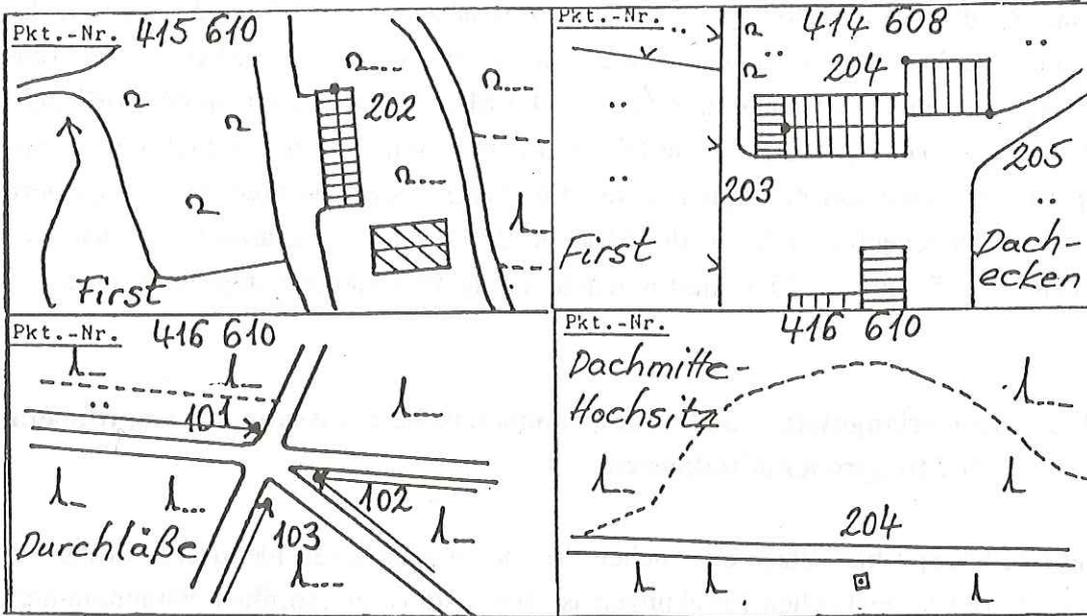


Abb. 2.2: Übersichtskarten (Ausschnitte aus TK 25) der topographischen Dauerpaßpunkte aus Bildmaßstab 1:12.500 (oben, mit Blattschnitt der DGK5) und Bildmaßstab 1:34.000 (unten)

TOPOGRAPHISCHE DAUERPASSPUNKTSKIZZEN

Arbeitsgebiet: 10 HACHENBURG Rechts: 3414 Hoch: 5608  
 DGK 5 Blattname: Steinebach a.d. Wied TK 25 Nr. 5312  
 Blatt



TOPOGRAPHISCHE DAUERPASSPUNKTSKIZZEN

Arbeitsgebiet: Westerwald 84 Rechts: Hoch:  
 DGK 5 Blattname: TK 25 Nr. 5312 HACHENBURG  
 Blatt 2 8 5312 8

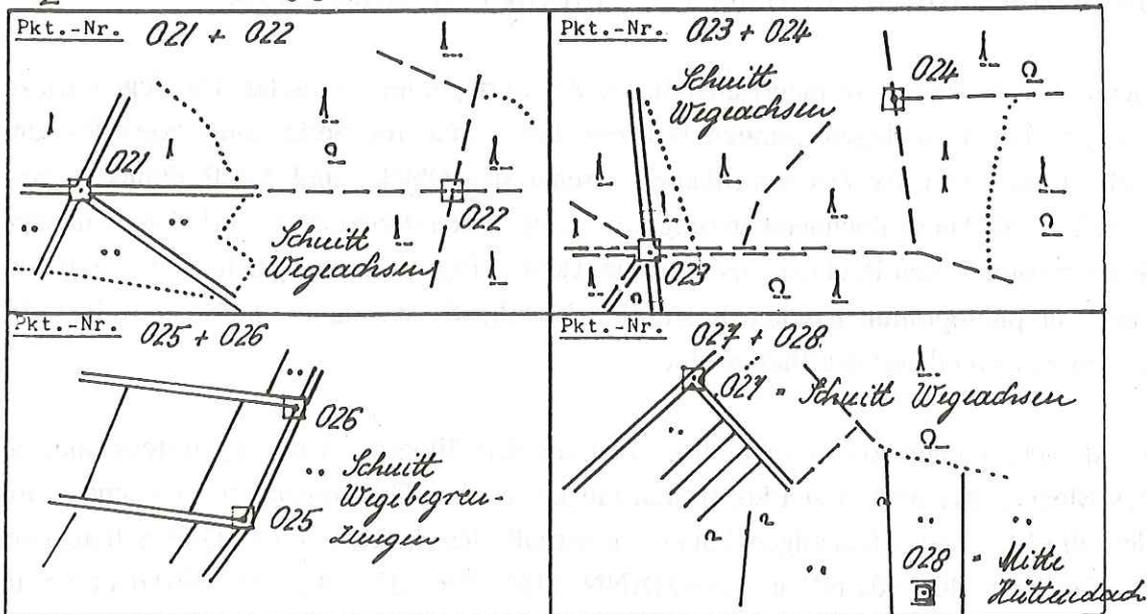


Abb. 2.3: Lageskizzen der topographischen DauerpaÙpunkte aus BildmaÙstab 1:12.500 (oben, nach Blättern der DGK5 sortiert) und aus BildmaÙstab 1:34.000 (unten, nach TK25 sortiert)

Dauerpaßpunkte aus dem Bildmaßstab 1:12.500 sind, wenn es sich um Dachfirste, Hausecken und ähnlich eindeutige Punkte handelt, mit Fehlern im Zentimeterbereich behaftet. Bei den Dauerpaßpunkten aus dem Bildmaßstab 1:34.000 handelt es sich dagegen um Wegekrenzungen, Brücken- oder Dachmitten, zwar immer klare Achsenkreuze, die dennoch nur eine Genauigkeit von ca. 0,5 Metern garantieren. In der vorliegenden Arbeit wird daher geprüft, ob die Dichte und trigonometrische Qualität dieser Dauerpaßpunkte für eine Aerotriangulation mit für diesen Zweck vertretbaren Restfehlern ausreicht. Gegebenenfalls müssen die Modelle durch einige, zusätzlich aus den vorhandenen DGK 5 oder TK 25 zu bestimmende Verdichtungspunkte abgestützt werden.

### **2.3.1.2 Aerotriangulation und photogrammetrische Erfassung der Koordinaten der Stichprobenmittelpunkte**

Permanente Stichproben setzen eine sichere Wiederauffindbarkeit identischer Probebäume voraus. Bei terrestrischen Erhebungen ist dies mittels angesprühter Baumnummern problemlos gewährleistet. Bei Luftbildinventuren ist die Wiederauffindbarkeit der Probebäume dagegen bisher nur durch relativ arbeitsaufwendige, aber unsichere und nicht dauerhafte Signalisierungsmaßnahmen (TEPASSÉ 1986, HILDEBRANDT et al. 1986) oder durch eine technisch aufwendige photogrammetrische Erfassung ihrer genauen Lage im Landeskoordinatensystem realisiert worden (AKÇA u. DONG 1989, HILDEBRANDT et al. 1989a, MAUSER 1990, MAXIN 1991, NAGEL 1984).

Heute werden hierzu vermehrt analytische Auswertegeräte eingesetzt. Im Gegensatz zu herkömmlichen analogen Geräten besitzen diese einen im Gerät integrierten Prozeßrechner, mit dem der Zusammenhang zwischen den Objekt- und den Bildpunkten hergestellt wird. Diese Rechnersteuerung ermöglicht einen digitalen Datenfluß sowohl vom Stereomodell in den Rechner als auch umgekehrt. Das ist die entscheidende Voraussetzung zur photogrammetrischen Restitution koordinativ bekannter Stichproben in Luftbildern verschiedener Bildflugtermine.

Bei der räumlichen Aerotriangulation wird aus den Bildern eines Flugstreifens oder eines Blockes aus mehreren Flugstreifen ein räumlicher Gesamtverband gewonnen, aus dem die Lage jedes beliebigen Punktes innerhalb des Streifens oder Blockes berechnet werden kann (KONECNY u. LEHMANN 1984, KRAUS 1982, SCHWIDEFSKY u. ACKERMANN 1976). Als Vorarbeit zur Aerotriangulation müssen zunächst alle Dauerpaßpunkte, die in den Luftbildern des zu bearbeitenden Flugstreifens enthalten sind, in Arbeitskopien (Kontakkopien jeder zweiten Luftbildaufnahme) markiert werden. Dies verschafft dem Photogrammeter einen Überblick, mit dem er prüfen kann, ob die

Dichte und Verteilung der koordinativ bekannten Punkte für eine solide Verknüpfung aller Stereomodelle und damit zu ihrer absoluten Orientierung ausreicht. Bei der absoluten Orientierung wird die Beziehung des vorher relativ, d.h. mit 6 in beiden Luftbildern eines Stereomodells enthaltenen Bildpunkten optisch-mechanisch orientierten Raummodells zum Bezugssystem (hier Gauß-Krüger-Koordinatensystem) hergestellt. Dazu sind mindestens 3 Paßpunkte, und zwar 2 Vollpaßpunkte und ein zusätzlicher Höhenpaßpunkt, oder 5 Paßpunkte bestehend aus 2 Lage- und 3 Höhenpaßpunkten erforderlich. Die Abstände der Lagepaßpunkte im Raummodell und der in einem Dreiecksverband angeordneten Höhenpaßpunkte sollen möglichst groß sein.

Da diese Bedingungen in den seltensten Fällen vollständig erfüllt sind, muß der Photogrammeter zur Abstützung der Modelle zusätzliche Höhenpaßpunkte bestimmen. Hierzu hat er vorrangig die größtenteils zumindest in Vorstufen vorhandenen Deutschen Grundkarten 1:5 000 (DGK 5 oder DGK 5L) herangezogen. In Ausnahmefällen ist auch auf die topographische Karte 1:25 000 (TK 25) zurückgegriffen worden. Alle photogrammetrischen Arbeiten zur Erprobung des hier entworfenen, vereinfachten Verfahrens hat ein erfahrenes Ingenieurbüro (Badische Luftbildmessung, Freiburg) in externer Auftragsarbeit durchgeführt.

Mit dem Einlesen der vom Landesvermessungsamt auf Datenträger übernommenen Paßpunktkoordinaten und der Eingabe der zusätzlich bestimmten Höhen- und Verknüpfungspunkte in den Computer beginnt die Arbeit am analytischen Stereoauswertegerät. Dazu sind derzeit mehrere Gerätetypen in Mitteleuropa gebräuchlich (Tab. 2.2), die nach diversen Firmenfusionen jedoch nicht mehr alle auf dem Markt angeboten werden.

Die photogrammetrischen Arbeiten dieses Projekts erfolgten am analytischen Präzisionsauswertegerät WILD Aviolyt AC 1 (Abb. 2.4). Die Meßgenauigkeit dieses Geräts wird vom Hersteller mit  $\pm 1,5$  Micron beziffert.

Die an diesem Gerät durchzuführenden Arbeitsschritte sind:

- Einlegen der Stereobildpaare und relative Orientierung der Modelle, d.h. gegenseitige optisch-mechanische Ausrichtung der Stereopartner mit 6 in beiden Bildern enthaltenen Bildpunkten;
- Eingabe der Kalibrierungsdaten (Objektivverzeichnungskurve) der verwendeten Luftbildkamera;

- Aufsuchen aller Dauer- und Höhenpaßpunkte, Anfahren mit der Meßmarke, Messung ihrer Modellkoordinaten und Abspeicherung zur Vorbereitung für die Ausgleichsberechnung, die wiederum benötigt wird für die
- absolute Modellorientierung, d.h. zur rechnerischen Maßstabsbestimmung, Horizontierung und Einpassung in eine Kartenunterlage (weitere Details vgl. KONECNY u. LEHMANN 1984, KRAUS 1982).

Im Zuge der Paßpunktmessung in den zu triangulierenden Luftbildern der Erstbefliegung 1987 erfolgt gleichzeitig die Messung der dort per Nadelstich dokumentierten Stichprobenorte und die Registrierung ihrer Bildkoordinaten.

**Tab. 2.2: Derzeit gebräuchliche analytisch-photogrammetrische Stereoauswertestationen <sup>1)</sup>**

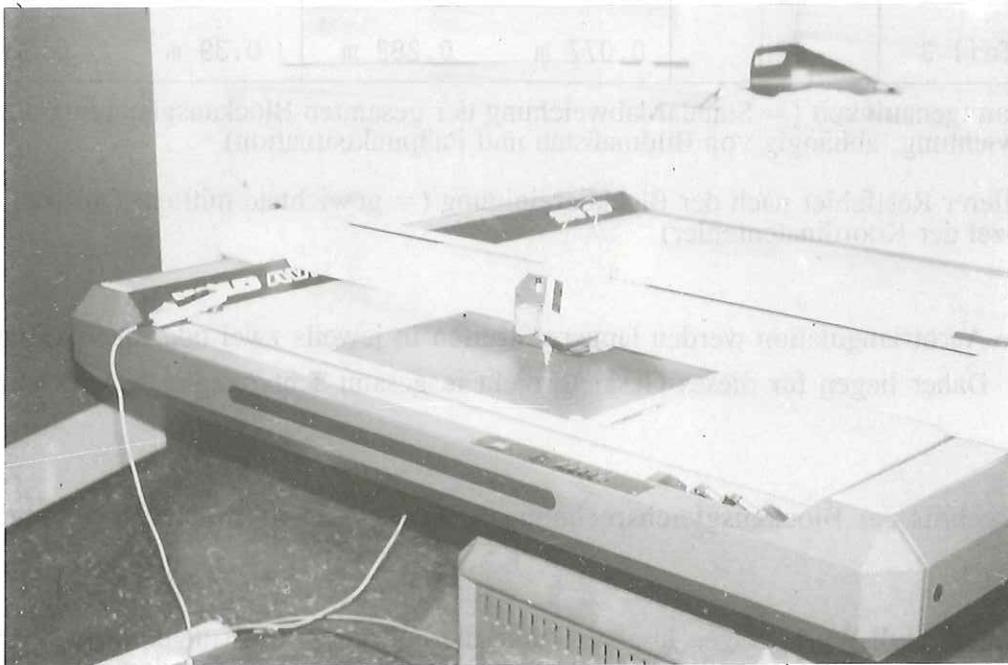
Hersteller	Gerätetypen
Intergraph	Intermap Analytic DSP088
Kern <sup>2)</sup>	Kern DSR 11/18, 12, 14, 15
Leica	SD 2000 / SD 3000
Prime-Wild <sup>3)</sup>	System 9 S9 AP
Topcon	Stereo Analysing System PA-2000
Wild <sup>3)</sup>	Aviolyt AC1, BC2
Zeiss	Planicomp P1, P3, P3/PC

1) ohne Anspruch auf Vollständigkeit

2) Produktion nach Übernahme durch die Firma WILD eingestellt

3) WILD-Heerbrugg gehört heute zum Leica-Konzern

Die Bildkoordinaten werden bei der anschließenden Ausgleichsrechnung gemeinsam mit den Paßpunktkoordinaten in Landeskoordinaten umgerechnet. Dies ist hier durch das INPHO Forschungsinstitut für photogrammetrische Informationsverarbeitung GmbH, Stuttgart, im Programmpaket PAT-MR erfolgt. Damit ist die tatsächliche Lage der



**Abb. 2.4: Analytisch-photogrammetrisches Präzisionsauswertegerät WILD Aviolyt AC1 (oben) und Präzisionskartiertisch WILD TA 10 (unten); beides in den Räumen der Firma Badische Luftbildmessung, Freiburg**

1987 manuell und mittels visueller Schätzung so gewissenhaft wie möglich definierten Stichprobenorte (HEIDINGSFELD 1989), im Rahmen kalkulierbarer Fehlergrenzen (Tab. 2.3), bekannt.

**Tab. 2.3: Ergebnisse der Aerotriangulation Westerwald**

Streifen	Modell- anzahl	Sigma-Null-Werte <sup>1)</sup>		RMS - Werte <sup>2)</sup>	
		Lage	Höhe	Lage	Höhe
12 NT	18	0.097 m	0.468 m	0.53 m	1.46 m
12 ST	23	0.098 m	0.488 m	0.39 m	1.15 m
16 Teil 1	28	0.106 m	0.455 m	0.63 m	1.85 m
16 Teil 2	20	0.110 m	0.468 m	0.87 m	2.08 m
20	37	0.098 m	0.315 m	0.52 m	0.62 m
24 Teil 1	25	0.112 m	0.510 m	0.49 m	0.89 m
24 Teil 2	22	0.110 m	0.376 m	0.60 m	1.20 m
24 Teil 3	12	0.077 m	0.282 m	0.39 m	0.38 m

1) Gesamtgenauigkeit (= Standardabweichung der gesamten Blockausgleichung ohne Gewichtung; abhängig von Bildmaßstab und Paßpunktsituation)

2) Mittlerer Restfehler nach der Blockbereinigung (= gewichtete mittlere Quadratwurzel der Koordinatenfehler)

Für die Aerotriangulation werden längere Streifen in jeweils zwei oder drei Abschnitte geteilt. Daher liegen für dieses Gesamtprojekt insgesamt acht Ausgleichsberechnungen vor.

Das Ergebnis der Blockausgleichsrechnung bewertet das durchführende Institut wie folgt:

"Die Sigma-Null-Werte zeigen in erster Linie die mit diesen Messungen erreichbare innere Genauigkeit des jeweiligen Blockes. Diese Werte sind für den Bildmaßstab 1:5.000 und Normalwinkel-Kamera nicht repräsentativ. Die RMS-Werte der verbleibenden Residuen an den Dauerpaßpunkten zeigen deutlich die verbleibenden Restspannungen zwischen Photogrammetrie und Paßpunktsystem.

Ursachen dafür können sein:

- die Verwendung von Dauerpaßpunkten, die Ergebnisse von Triangulationen der Maßstäbe 1:12.500 und 1:34.000 sind, also potentiell schlechtere Genauigkeiten besitzen als Ergebnisse einer Triangulation 1:5.000;

- die Punktübertragung im Waldgebiet (erschwerter Auswahl von natürlichen Verknüpfungspunkten);
- Identifizierung der Paßpunkte in den Bildern;
- potentiell schwache Geometrie eines Streifens (Lagepaßpunkte nur in Streifenmitte).

Die schwache Geometrie der Streifen zeigte sich deutlich bei der Bereinigung an den Residuen von Punkten, die in einem Rechenlauf verknüpfen und in einem nachfolgenden eliminiert wurden. Vor allem in den Höhenpaßpunkten konnten durch die Geometrie der Streifen Beträge von einigen Metern "verdrückt" werden. Auf Elimination solcher Dauerpaßpunkte, vor allem an den Streifenenden, wurde verzichtet, um eine möglichst gute Anpassung der Modelle an die Dauerpaßpunkte zu erreichen" (Begleitschreiben des INPHO-Stuttgart vom 09.01.1992).

Die absolute Genauigkeit der ausgeglichenen Punkte im System der Dauerpaßpunkte liegt deshalb nur in der Größenordnung der mittleren Restfehler der Dauerpaßpunkte. Diese Genauigkeit mit Koordinatenfehlern von 40 bis 60 cm (oder ausnahmsweise 87 cm) in der Lage und von 1 bis 2 Metern in der Höhe ist zur Restitution der ursprünglichen Stichprobenmittelpunkte jedoch völlig ausreichend.

Permanente Luftbildstichproben zur Kronenzustandserfassung sind bereits ausreichend genau definiert, wenn der übertragene Satellitenmittelpunkt irgendwo auf der zu treffenden Krone oder in dem anvisierten Kronenzwischenraum liegt. Daher dürfte die Toleranz der Lagefehler etwa im Bereich der Werte der Kronenradien liegen, die die verschiedenen Baumarten in den jeweiligen Altersklassen haben. Die Kronenradien sind aber selbst in Jungbeständen größer als die Fehler der hier ermittelten Lagekoordinaten.

### **2.3.1.3 Restitution der Stichprobenpunkte in den Luftbildern des Folgebildfluges**

Bei der analytisch-photogrammetrischen Erfassung der Stichproben (Kap. 2.3.1.2) sind die Bildkoordinaten der Stichprobenmittelpunkte im Stereomodell des ersten Flugtermins gemessen, in Geländekoordinaten umgerechnet und als Lagekoordinaten gespeichert worden. Bei der Übertragung der Stichprobenorte in die Luftbilder eines Folgebildfluges findet dagegen umgekehrt ein Datenfluß der jetzt bekannten Lagekoordinaten vom Rechner in das neue Modell statt.

Bei Verwendung eines analytischen Auswertegerätes ist in den Luftbildern des Folgebildfluges in der Regel keine Aerotriangulation mehr erforderlich. Nach dem Einlegen der Bilder, Eingabe der Modellnummer und Anfahen der Rahmenmarken ist die absolute Orientierung des Modells in der Regel gegeben. In fünf Modellen sind zur Orien-

tierung der 1991er Luftbilder allerdings Ergänzungsmessungen weiterer identifizierbarer Paßpunkte erforderlich geworden, um nach dem Ausfall nicht mehr erkennbarer Paßpunkte wenigstens die notwendige Mindestzahl an Paßpunkten (vgl. Kap. 2.3.1.2) zu erreichen. Dann werden die vorher registrierten Koordinaten der Stichprobenpunkte eingelesen und von der Meßmarke automatisch angesteuert.

Zu den Voraussetzungen aller bisher beschriebenen Verfahren (z.B. AKÇA und DONG 1989, MAUSER 1990 oder MAXIN 1991) gehört, daß die Interpretation der Kronenzustandsmerkmale an demselben Gerät durchgeführt werden kann. Dies ist in der Praxis einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung jedoch nahezu unmöglich. Angesichts der durch die Investitionskosten bedingten relativ geringen Verbreitung analytischer Auswertegeräte haben forstliche Luftbildinterpreten derzeit fast keine Gelegenheit an einem solchen Gerät zu arbeiten. Aber selbst wenn die sehr zurückhaltenden Landesforstverwaltungen analytische Auswertegeräte beschaffen würden, würden die zu kalkulierenden Systemkosten, die (ohne Operator) derzeit je nach Gerätetyp bei etwa 50 DM pro Stunde beginnen, eine nicht zu rechtfertigende Verteuerung der reinen Interpretationstätigkeit verursachen. Daher muß als **dritter Rationalisierungsschritt** (Schritte 1 und 2 vgl. Kap. 2.1.2/2.1.3 und 2.3.1.1) ein Weg gesucht werden, die Interpretation von den photogrammetrischen Arbeitsschritten und auch vom analytischen Auswertegerät abzukoppeln und an ein analoges Spiegelstereoskop zurückzuverlagern. Dies entspricht auch der von MAUSER (1990) beschriebenen Arbeitsteilung, die ein koordiniertes Zusammenwirken von forstlicher Luftbildinterpretation und Photogrammetrie erforderlich macht.

Dieser Transfer von der Photogrammetrie am analytischen Auswertegerät zur Interpretation am analogen Spiegelstereoskop wird hier mit Hilfe maßhaltiger Transparentfolien vorgenommen. Dazu werden die bei der Aerotriangulation im "alten" Luftbildjahrgang (hier 1987) gemessenen Landeskoordinaten der Stichproben angefahren, als Bildkoordinaten des "neuen" (hier 1991er) Luftbildes registriert und gemeinsam mit den ebenfalls gemessenen und registrierten Bildkoordinaten der Rahmenmarken des "neuen" Luftbildes auf Folie geplottet. Voraussetzung hierfür ist die in der Photogrammetrie im allgemeinen nicht übliche und unter Photogrammetern daher auch weitgehend unbekannte Ausgabe von Landeskoordinaten in Bildkoordinaten.

Damit steht einer Anfertigung der geforderten maßhaltigen Transparentfolien mit Bildnummern und sämtlichen koordinatenmäßig gemessenen Stichprobenpunkten und Rahmenmarken im Maßstab der Aufnahme von Seiten der Hard- und Software prinzipiell nichts mehr im Wege. In der Praxis sind beim Plotvorgang auf Klarsichtfolie jedoch erhebliche Probleme aufgetreten. Diverse Versuche mit unterschiedlichen Stiften und

Folienmaterialien haben aufgrund nicht standardisierbarer Punkt- und Strichstärken und uneinheitlichen Tuschefflusses durchweg zu unbefriedigenden Ergebnissen geführt. Schließlich sind die Ergebnisse auf Negativgravurfolie "Polyscale Orange" der Firma Renker aufgetragen und davon anschließend in reprographischen Verfahren Kontakte auf verzugsfreie Klarsichtfolien im Format der Luftbilder angefertigt worden. Dieser Vorgang ist im Vergleich zum direkten Auftrag der Stichprobenpunkte und Rahmenmarken auf Klarsichtfolie mit Tusche zwar kostenaufwendiger, gewährleistet aber einwandfreie Qualität. Die Gravurarbeiten sind an einem Präzisionszeichentisch, dem Flachbettplotter WILD TA 10 (Abb. 2.4) mit einer Zeichengenauigkeit von 0,15 mm, durchgeführt worden. Da der Lochdurchmesser der ursprünglichen Nadelstiche weitaus größer ist als der potentielle Zeichenfehler dieses Flachbettplotters, garantiert das beschriebene Verfahren von Seiten der Ausgabetechnik her eine hohe Präzision.

Auch die visuelle Beurteilung der Lagegenauigkeit im Rahmen der Luftbildinterpretation, bei der ein Vergleich der übertragenen Stichprobenmittelpunkte mit den ursprünglichen Nadelstichen anhand von Nachbarschaftsverhältnissen vorgenommen wird (vgl. Kap. 2.3.2.2), hat die Operationalität dieser photogrammetrischen Punktübertragung bestätigt. Übertragungsfehler treten lediglich dann auf, wenn der Nadelstich in einer größeren Schattenfläche, z.B. in einer Wege- oder Schneisenmitte, liegt. Dort kann der Photogrammeter keinen verlässlichen Höhenwert (Z-Koordinate) messen. Dies muß nach der Aerotriangulation automatisch auch zu größeren Lagefehlern führen.

Solche Probleme können nur durch visuelle Berücksichtigung von Nachbarschaftsbeziehungen vermieden werden. Auf der Suche nach einem noch rationelleren Verfahren zur Punktübertragung sind, als Alternative zu den dargestellten Rationalisierungsschritten 2 und 3, auch Methoden der optisch-mechanischen Punktübertragung getestet und mit den Ergebnissen der photogrammetrischen Restitution derselben Stichprobenpunkte verglichen worden.

## **2.3.2 Punktübertragung mit optisch-mechanischen Methoden**

### **2.3.2.1 Derzeit verfügbare Techniken zur Punktübertragung**

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes sehr intensive Beschäftigung mit photogrammetrischen Verfahren hat - mehr oder weniger beiläufig - gezeigt, daß Punkte, die in einem Luftbild eindeutig definiert sind, in ein anderes Luftbild desselben Geländeausschnitts übertragen werden können, ohne dabei unbedingt die vollständige analytische Photogrammetrie einzusetzen. Die stereoskopische Übertragung und künstliche

Markierung von Bildpunkten in Stereobildpaaren war lange Zeit und ist zum Teil auch heute noch eine Routineaufgabe der photogrammetrischen Praxis. Seit Einführung der analytischen Photogrammetrie wird ihr seitens der Wissenschaft und der Industrie aber nur noch wenig Aufmerksamkeit gewidmet.

Bei der Aerotriangulation werden die Raumkoordinaten der Übergangspunkte in aufeinanderfolgenden Modellen und in benachbarten Streifen gemessen. Dazu werden als Vorbereitung zur Aerotriangulation häufig **künstliche Bildpunkte** definiert und in Anschlußbilder übertragen, um aufwendige Signalisierungen von Punkten im Gelände einzusparen. Diese Rationalisierungsmaßnahme steigert die Wirtschaftlichkeit einer Streifen- oder Blocktriangulation. Ihre Genauigkeit und Zuverlässigkeit hängt dann primär von der richtigen Identifizierung der Übergangspunkte ab. Vor allem bei der analogen Photogrammetrie, die ohne Rechnerunterstützung arbeitet, ist eine eindeutige und bleibende Punktübertragung und -markierung innerhalb eines Triangulationsstreifens eine der wichtigsten Aufgaben jeder Aerotriangulation (SCHWIDEFSKY u. ACKERMANN 1976). Bis heute ist diese Methode aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auch noch sehr weit in der analytisch-photogrammetrischen Landesvermessung verbreitet. Dort werden höchste Ansprüche an die Übertragungsgenauigkeit und Eindeutigkeit der Punktmarkierung gestellt. Diese Forderungen können nur erfüllt werden, wenn die Punktübertragung bei stereoskopischer Betrachtung erfolgt.

Dazu sind in der Vergangenheit **Punktübertragungsgeräte** entwickelt worden (Tab. 2.4), die durch stereoskopische Betrachtung höchste Punktübertragungsgenauigkeit garantieren. Sie besitzen eine für jedes Bild einzeln variierbare Betrachtungsvergrößerung und eröffnen damit die Möglichkeit der Punktübertragung zwischen Bildern mit unterschiedlichen Maßstäben. Diese Geräte schaffen eine eindeutige und dauerhafte Markierung auf dem Luftbild, indem sie an dem zu markierenden Punkt die Filmemulsion entfernen, ohne die Trägerschicht des Filmes zu beschädigen. (Diese Beschädigung der Trägerschicht ist bekanntlich [vgl. Kap. 2.1.2] der Hauptnachteil der bei der Erstinventur gesetzten Nadelstiche.) Bei allen Geräten können unterschiedliche Punktstärken gewählt werden; die Geräte unterscheiden sich lediglich in der Technik, mit der die Filmemulsion punktförmig entfernt wird.

Beim WILD PUG4 (Abb. 2.5) wird die Markierung mittels einer von Elektromotoren angetriebenen Fräse vorgenommen. Deren Antrieb senkt auf Knopfdruck automatisch einen Hartstahlfrässtichel wählbaren Durchmessers auf die photographische Schicht ab, setzt genau am Punkt der Meßmarke auf und fräst eine kleine kreisrunde Scheibe aus der Filmemulsion, ohne die Filmträgerschicht zu beschädigen. Dadurch entsteht ein sauberer, randscharfer Punkt, der auf dem Leuchttisch weiß durchleuchtet und damit sehr gut erkennbar ist (WILD 1975).

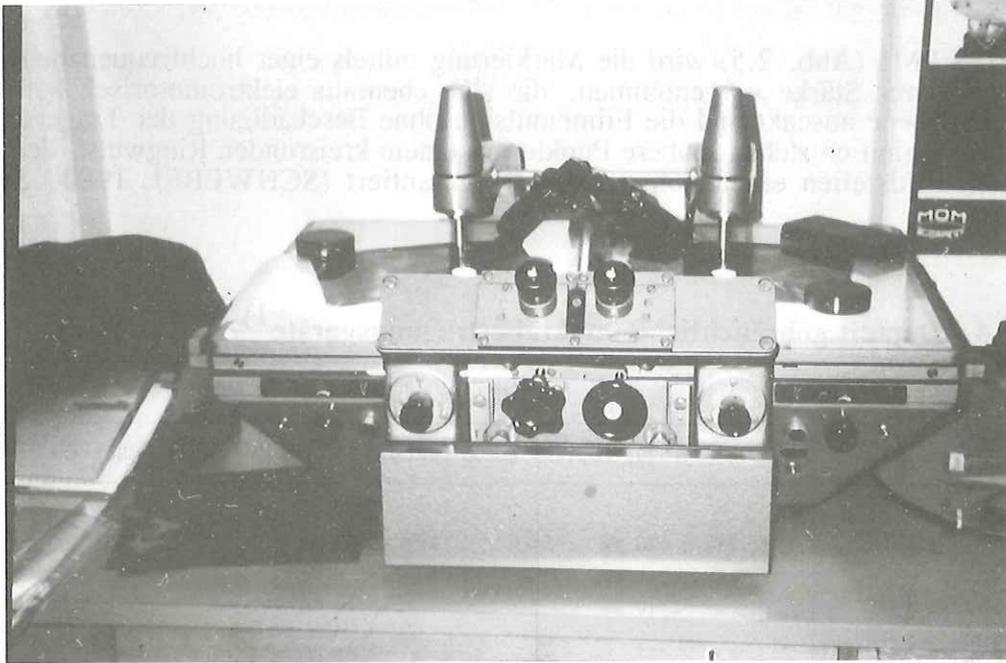
Am ZEISS PM1 (Abb. 2.5) wird die Markierung mittels einer hochfrequenzbeheizten Nadel wählbarer Stärke vorgenommen, die sich ebenfalls elektromotorisch betrieben auf die Bildebene absenkt und die Filmemulsion ohne Beschädigung der Trägerschicht wegbrennt. Damit entstehen saubere Punkte mit einem kreisrunden Ringwulst, der auch auf hellen Bildstellen einen hohen Kontrast garantiert (SCHWEBEL 1980, ZEISS 1982).

**Tab. 2.4: Derzeit gebräuchliche Punktübertragungsgeräte<sup>1)</sup>**

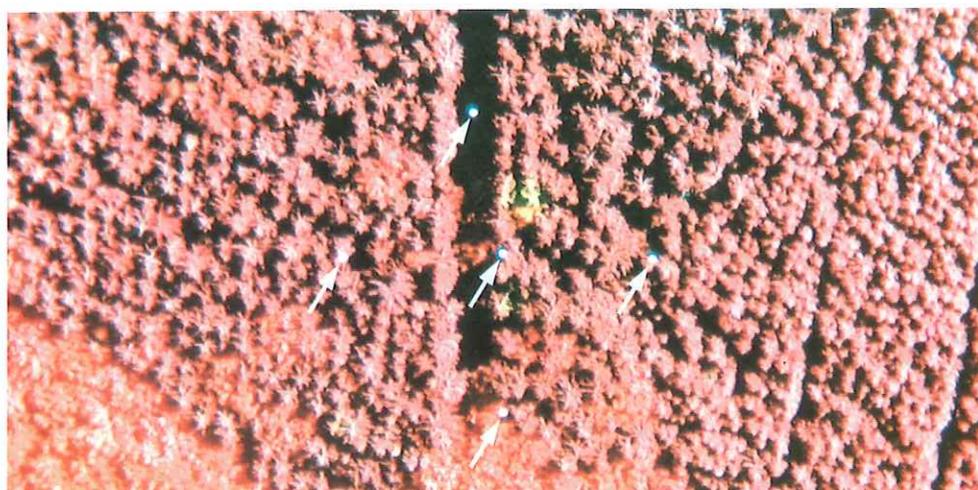
Technische Daten	Hersteller und Gerätebezeichnung		
	WILD Heerbrugg, PUG4 <sup>2)</sup>	ZEISS Oberkochen, PM1 <sup>2)</sup>	ZEISS Jena, TRANSMARK B
Größe der beiden Bildträger	340 x 470 mm	425 x 480 mm	340 x 450 mm
Koordinatenbewegung (Bereich der gemeinsamen und parallaxtischen Bildfeinbewegung in x- und y-Richtung)	± 10 mm	± 15 mm	± 10 mm
Vergrößerungsbereich (beide Okulare getrennt)	6 - 24 fach	6,5 - 26 fach	7-, 10-, 13-, 20 fach
Gesichtsfelddurchmesser in der Bildebene	26 - 6,5 mm	28 - 7 mm	25 (-16) mm
Meßmarke: Punktart (Farbe)	schwarzer Punkt	Schwarz-/Leuchtpunkt (rot)	Leuchtpunkt (grün)
Durchmesser in der Bildebene	50 - 12 µm	50, 85 od. 120 µm	33, 50 od. 60 µm
Optische Bilddrehung	400 <sup>g</sup>	400 <sup>g</sup>	400 <sup>g</sup>
Markierungsdurchmesser wählbar	40 µm 60 µm 100 µm 180 µm 250 µm	40 µm 70 µm 100 µm 200 µm	45 bis 100 µm Zwischengrößen frei wählbar
Markierungstechnik	elektrische Fräse mit Hartstahlstichel	beheizte Nadel mit Hochfrequenzheizung	berührungsfrei mittels Laserstrahl
Preisklasse (DM)	ca. 50.000,-- (Ende 70er Jahre) <sup>2)</sup>	ca. 100.000,-- (Mitte 80er Jahre) <sup>2)</sup>	ca. 125.000,-- (1992)

1) Ohne Anspruch auf Vollständigkeit; von der Firma KERN soll es z.B. ebenfalls ein dem ZEISS PM1 ähnliches Gerät gegeben haben.

2) Dieses Gerät wird nicht mehr produziert und angeboten.



**Abb. 2.5: Punktübertragungsgeräte (2 Beispiele) hier: WILD PUG4 (oben) und ZEISS PM 1 (unten); beide Geräte in den Räumen des Hessischen Landesvermessungsamtes in Wiesbaden**



**Abb. 2.6: Markierungsqualität eines Stichprobenpunktes (Streifen W16, Punkt 14) oben: ursprüngliche Nadelstiche im Luftbild 1987; Mitte: nach Aerotriangulation auf Deckfolie zum Luftbild 1991; unten: nach Punktübertragung (hier mit WILD PUG4, Stichelstärke 0,18 mm) im Luftbild 1991**

Am ZEISS TRANSMARK B (ohne Abb.) findet die Punktmarkierung absolut berührungsfrei mit Hilfe eines Laserstrahls statt. Auch dieser Laserstrahl brennt die Filmemulsion am Punkt der Meßmarke weg ohne die Trägerschicht zu beschädigen. Der Laser ist nahezu verschleißfrei, erfordert keine Nachjustierung und durchdringt zum Markieren auch Deckglasplatten. Der Durchmesser der Punktmarkierung ist hier durch Wahl der Meßmarken-Durchmesser und Zündspannung einstellbar. Er reicht aber nur bis 0,1 mm (ZEISS 1992).

Zur leicht erfaßbaren Visualisierung unserer Stichprobenmittelpunkte ist ein Punktdurchmesser von 0,1 mm, wie Tests ergeben haben, aber bereits das Minimum. Durch den am TRANSMARK B und am PM1 beim Einbrennen entstehenden Ringwulst wird die optische Wirkung jedoch etwas verstärkt, so daß der Punktdurchmesser 0,1 mm bei Einsatz dieser Geräte völlig ausreicht. Vorteilhaft ist die immer noch sehr geringe Abdeckung der zu interpretierenden Bestandesoberfläche. Bei Tests mit dem WILD PUG4 hat sich der Einsatz des Frässtichels 0,18 mm als beste Lösung erwiesen. Ein optimaler Kompromiß zwischen möglichst leichter Erfaßbarkeit und möglichst geringer Geländeabdeckung wäre hier ein Punktdurchmesser um 0,15 mm. Ein solcher Frässtichel gehört jedoch nicht zum Zubehör des Gerätes.

Die Qualität der optischen Visualisierung der Stichprobenpunkte für die Interpretation ist bei Übertragung mit Punktübertragungsgeräten geradezu bestechend (Abb. 2.6). Die Punkte sind sauberer, randschärfer und gleichmäßiger als die ursprünglichen Nadelstiche und wesentlich besser erkennbar als die notgedrungen schwarzen Punkte auf der nach Aerotriangulation erstellten Deckfolie.

#### **2.3.2.2 Verfahren und Ergebnisse der optisch-mechanischen Übertragung von Stichprobenpunkten**

Als Vorarbeit zur optisch-mechanischen Punktübertragung werden unter dem Spiegelstereoskop anhand von Wegen und Bestandesgrenzen zunächst jene Stellen in den neuen Bildern gesucht, an denen die Stichprobenpunkte in den alten Bildern in etwa gestochen sind. Dann werden sie auf der Hülle des neuen Bildes mit einem wasserfesten Overhead-Stift durch einen um den ungefähren Stichprobenmittelpunkt gezogenen Kreis von etwa 25 bis 30 mm Durchmesser markiert und mit ihrer alten Punktnummer bezeichnet. Dies erleichtert und beschleunigt in erheblichem Umfang die Arbeit des Operateurs an einem Punktübertragungsgerät.

Am Punktübertragungsgerät werden die *gebietsgleichen* Diapositive der beiden *unterschiedlichen Flugtermine* auf die beiden Bildträger gelegt, eine relative (gegenseitige) Orientierung vorgenommen und damit ein Stereomodell erzeugt. Da selbst mit gleicher Maßstabszahl durchgeführte Bildflüge verschiedener Termine nie exakt denselben Bildmaßstab haben, ist die Erzeugung eines Stereomodells nur dank der für beide Bilder getrennten variablen Zoomoptik möglich. Die getrennte variable Betrachtungsvergrößerung und Focussierung ist auch unentbehrlich zur Anpassung des Bildausschnitts an die individuelle Qualität des Bildmaterials und an das persönliche stereoskopische Empfinden des Operators. Auch das ist sehr wichtig, denn die Erzeugung des Stereoeffektes aus zwei Bildern, die in einem zeitlichen Abstand von vier oder fünf Jahren aufgenommen wurden, gilt allgemein als schwierig. In Waldbeständen, die in dieser Zeit zumindest einen nennenswerten Höhenzuwachs hatten, sich aber auch durch vielfältige Eingriffe in den Bestand stark verändert haben können, ist es sogar besonders schwierig - aber möglich! Unmöglich ist die Erzeugung des Stereoeffektes lediglich dann, wenn der Bestand im Umfeld um den zu übertragenden Punkt nach flächigem Windwurf oder Endnutzung völlig verschwunden ist. Dieses Problem ist aber mehr theoretischer Natur. In der Inventurpraxis ist es nicht von Belang, da solche Punkte vorübergehend "ruhen" und ohnehin keine einzelbaumweise Interpretation an ihnen stattfindet.

Nach Erzeugung des Stereoeffektes und Einstellung der bestmöglichen Betrachtungsvergrößerung wird die stereoskopisch erscheinende Meßmarke mit den Feinstellschrauben für die x- und y-Verschiebung beider Bildträger sowie für die Relativverschiebung  $\Delta x$  und  $\Delta y$  auf den zu übertragenden Punkten (hier Mitte/Schwerpunkt des durch den Nadelstich verursachten Loches) zentriert und räumlich aufgesetzt.

Vor der nun anstehenden Markierung des Übertragungspunktes mittels Frässtichel, Heiznadel oder Laserstrahl ist es bei dieser Arbeit unerlässlich, die angesteuerte Lage des Punktes im neueren Bildjahrgang in ihrer relativen geometrischen Lage zu benachbarten Bäumen zu prüfen und mit der im älteren Bild zu vergleichen. Ist diese geometrische Nachbarschaftsbeziehung noch nicht optimal wiederhergestellt, so muß von der rein schematischen Punktübertragung abgewichen und die Meßmarke bewußt korrigiert werden. Zum Beispiel ist in dem zur Demonstration der unterschiedlichen Markierungsqualitäten benutzten Punkt (Abb. 2.6) der im Bild obere Satellitenmittelpunkt nach der Aerotriangulation nicht richtig übertragen. Er liegt auf den Kronen der Randbäume anstatt in der Schneisenmitte. Genau an dieselbe Stelle ist der Operator auch mit der Meßmarke im Punktübertragungsgerät gelangt, da er über der Schattenfläche - ebenso wie der Photogrammeter - Probleme bei der richtigen Ansteuerung der Höhenkoordinate hat. Die Möglichkeit der optischen Lagekontrolle hat ihn schließlich veran-

laßt, die Meßmarke zur Schneisenmitte zu verlegen und die Markierung an der richtigen Stelle anzubringen. Erst dieser gezielte Eingriff in den sonst schematischen Arbeitsvorgang garantiert eine optimale Punktübertragung.

Besondere Schwierigkeiten können auftreten, wenn die Bilder beider Bildflugjahre aufgrund unterschiedlicher und sich verändernder Längsüberdeckungen zufällig fast hundertprozentige Längsüberdeckung aufweisen und damit nahezu keinen Stereoeindruck zulassen. Dann findet die Punktübertragung hauptsächlich anhand der geometrischen Nachbarschaftsbeziehungen statt.

Die praktische Eignung dieser optisch-mechanischen Punktübertragung im Walde ist im Rahmen dieser Arbeit an 26 Stichprobenpunkten eines Bildflugstreifens im Westerwald getestet worden. Die Übertragung dieser 26 Stichprobenpunkte mit insgesamt 130 Einzelpunkten, die vorher bereits photogrammetrisch übertragen worden waren, ist nach Entfernung der vorher angefertigten Deckfolien mit den Stichprobenpunkten (vgl. Kap. 2.3.1.4) als unabhängiger, verdeckter Test durchgeführt worden.

Anschließend sind diese Modelle erneut in das analytische Stereoauswertegerät WILD AC1 eingelegt und die Koordinaten der am Punktübertragungsgerät produzierten Markierungspunkte eingemessen worden. Dies ermöglicht einen rechnerischen Vergleich der Koordinatenwerte nach optisch-mechanischer Punktübertragung mit den Koordinaten der vorherigen Aerotriangulation. Diese Lagedifferenzen ergeben sich aus den Gleichungen (1) und (2):

für die Koordinatendifferenzen nach

$$(1) \quad \Delta X = X^{AT} - X^{PÜ} \quad (\text{Beispiel mit Rechtswerten})$$

wobei

$$\Delta X = \text{Rechtswertdifferenz in Geländekoordinaten,}$$

$$X^{AT} = \text{Rechtswert nach Aerotriangulation und}$$

$$X^{PÜ} = \text{Rechtswert nach Punktübertragung}$$

und für die aus den Rechts- und Hochwertdifferenzen resultierenden Lagedifferenzen nach

$$(2) \quad \Delta R = \sqrt{|\Delta X|^2 + |\Delta Y|^2}$$

wobei

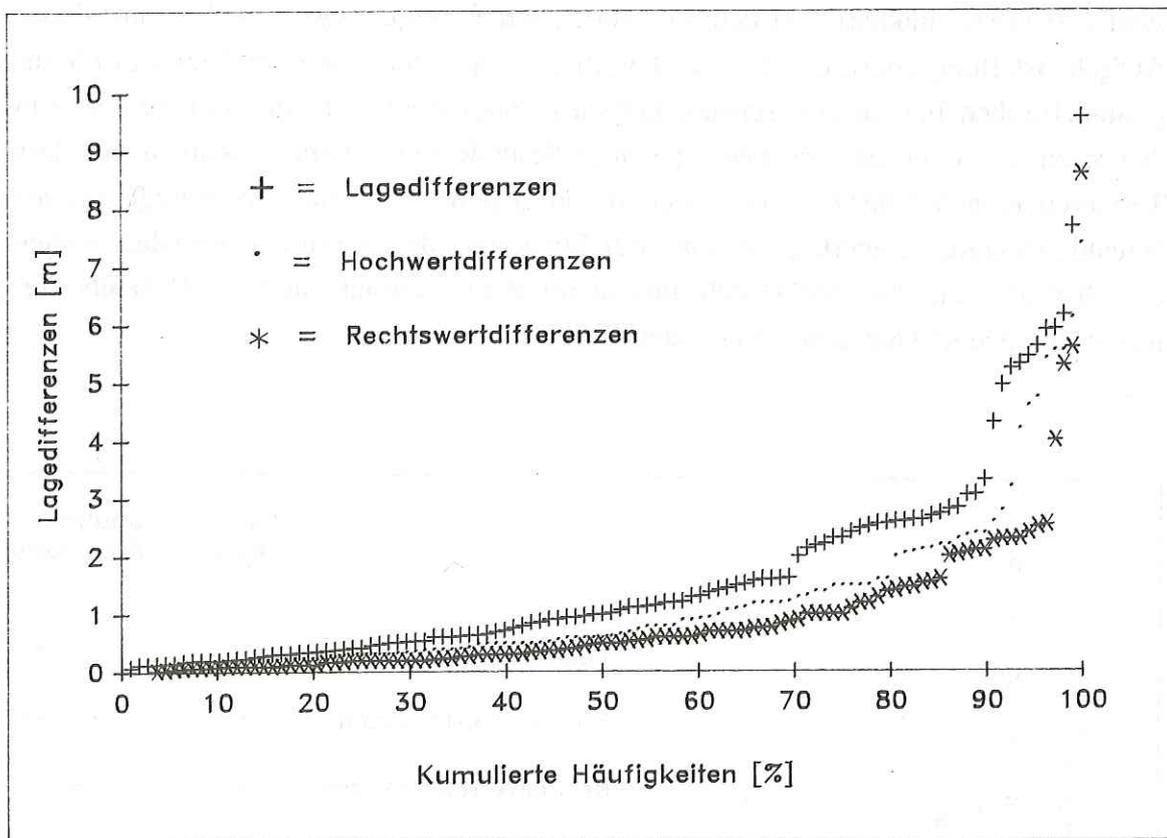
$$\Delta R = \text{Lagedifferenz,}$$

$$\Delta X = \text{Rechtswertdifferenz}$$

und

$$\Delta Y = \text{Hochwertdifferenz (jeweils Beträge in Geländekoordinaten).}$$

Die Ergebnisse zeigen, daß die Koordinatenwerte nach Aerotriangulation und nach Punktübertragung größtenteils ausreichend nahe beieinanderliegen. Die Rechtswertdifferenzen liegen in 93 %, die der Hochwerte in 87 % der Fälle und die daraus resultierenden Lagedifferenzen zu 75 % unter 2,5 m (Abb. 2.7).



**Abb. 2.7: Summenhäufigkeiten der Rechtswert- ( $\Delta X$ ), Hochwert- ( $\Delta Y$ ) und Lagedifferenzen ( $\Delta R$ ) zwischen photogrammetrischer und optisch-mechanischer Punktübertragung**

Größere Abweichungen treten auf,

- wenn erhebliche Veränderungen der Bestandstruktur die Erzeugung des Stereoeffektes erschweren,
- wenn der Bestand am Stichprobenpunkt vollständig verschwunden ist (Windwurf, Endnutzung) oder
- wenn bereits der Nadelstich in einer größeren Schattenfläche (Weg, Schneise) in mehreren Metern Entfernung zum nächsten Baum lag.

Aus diesen Situationen resultiert immer ein Höhenfehler in einer Größenordnung bis zu einer Baumhöhe, der zwangsläufig - auch bei photogrammetrischer Einmessung (vgl. Kap. 2.3.1.4) - zu erheblichen Lagefehlern führen muß. Eine weitere Ursache für größere Lagefehler ist mangelnde Übung und zu geringe Vertrautheit mit den besonderen Gegebenheiten bei der Punktübertragung in Waldbeständen; denn mit zunehmendem Übungsfortschritt zeigt sich eine Abnahme der Lagedifferenzen (Abb. 2.8). Dies ist das Ergebnis eines relativ kleinen Punktübertragungstests (22 Stichprobenpunkte mit insgesamt 110 Einzelpunkten), bei dem der am Punktübertragungsgerät geübte, mit dieser Aufgabenstellung aber zunächst nicht vertraute Operateur an zwei Tagen in photogrammetrischen Fragen von einem erfahrenen Photogrammeter und vom Verfasser in den speziell forstlichen Gegebenheiten und Besonderheiten beraten worden ist. Das Testergebnis muß daher nicht ohne weiteres auf andere, unter anderen Bedingungen arbeitende Operateure übertragbar sein. Zur Steigerung der Übertragungsqualität sollten aber trotzdem nur mit den Gegebenheiten im Wald vertraute und am Punktübertragungsgerät geübte Operateure eingesetzt werden.

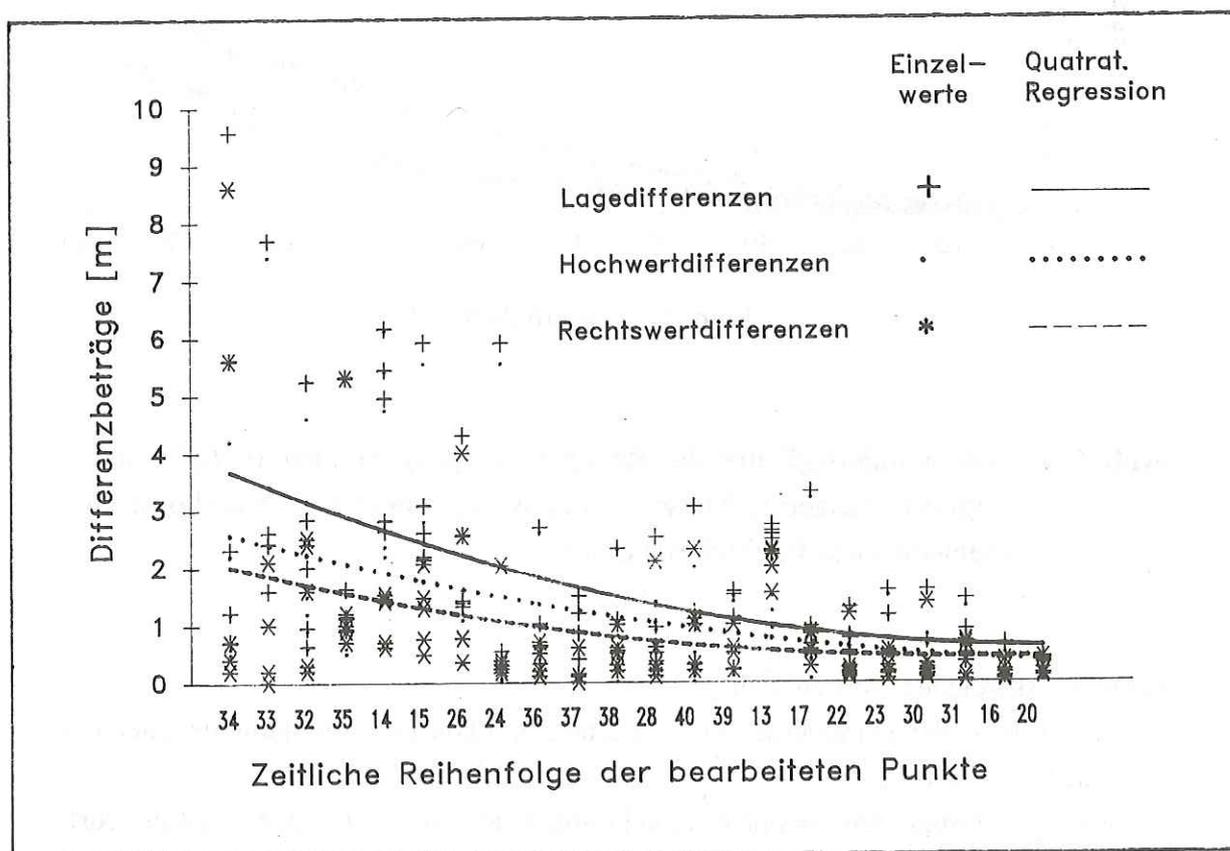


Abb. 2.8: Entwicklung der Rechtswert- ( $\Delta X$ ), Hochwert- ( $\Delta Y$ ) und Lagedifferenzen ( $\Delta R$ ) in Abhängigkeit vom Übungsfortschritt

Die Betrachtung dieser rechnerisch ermittelten Lagedifferenzen kann jedoch nur erste Hinweise auf die Genauigkeit der Punktübertragung liefern, da hier lediglich ein Vergleich zweier unterschiedlich gewonnener Übertragungsergebnisse vorgenommen wird. Diese Ergebnisse können aber untereinander hohe Übereinstimmung aufweisen und trotzdem beide falsch sein. Bei großen Lagedifferenzen wäre zu prüfen, welcher Punkt die höhere Lagegenauigkeit besitzt. Zur endgültigen Beurteilung der Übertragungsgenauigkeit müssen die Positionen der übertragenen Punkte daher auch mit der geometrischen Lage des ursprünglichen Nadelstichs verglichen werden. Dazu ist eine visuelle Interpretation erforderlich, bei der die relative Lage jedes übertragenen Punktes in Bezug auf gut identifizierbare Nachbarobjekte, wie markante Einzelbäume, Baumgruppen, Wegränder oder ähnliches, mit der entsprechenden Lage des zu übertragenden Ausgangspunktes verglichen wird.

Der visuelle Vergleich der Übertragungsgenauigkeiten photogrammetrischer und optisch-mechanischer Übertragung von Stichprobenpunkten zeigt, daß sich beide Verfahren zur Punktübertragung bewährt haben (Tab. 2.5). Die Übertragungsgenauigkeit ist bei beiden Verfahren in 87 % der Fälle gut oder sehr gut, d.h. die Lage des übertragenen Punktes ist mit dem ursprünglichen Nadelstich identisch oder liegt noch im Randbereich des ungleichmäßig flächigen Nadelstiches.

Bei optisch-mechanischer Punktübertragung sind die Bedingungen für sehr gute Übertragungsqualität etwas häufiger (in 73 % der Fälle) erfüllt. Der Test hat auch gezeigt, daß auf optisch-mechanischem Wege in 71 % der Fälle relativ bessere Ergebnisse erzielt worden sind als mit der aufwendigeren Aerotriangulation. Schlecht übertragene Punkte, mit denen eine Rekonstruktion des ursprünglichen Hexagons (vgl. Kap. 2.1.2) ohne weitere Hilfe nicht mehr möglich ist, kommen in diesem Test bei beiden Methoden in 7 % der Fälle vor. In allen diesen Fällen ist die Rekonstruktion der ursprünglichen Probebäume dennoch mit der hier entworfenen Dokumentationsmethode (vgl. Kap. 2.4) möglich geworden.

Dieses Ergebnis ist an einem relativ kleinen Vergleichskollektiv von 126 übertragenen Einzelpunkten gewonnen worden. Da der Test aber eindeutig zu Gunsten der optisch-mechanischen Punktübertragung ausgefallen ist, sind als nächste Testphase alle Stichprobenpunkte der 1992 beflogenen Westeifel nach dieser Methode in die Folgeluftbilder übertragen und nach derselben Bewertungsskala beurteilt worden. Die Übertragung dieser fast 1000 Einzelpunkte ist aus Gründen der Zeitersparnis von zwei Firmen an jeweils einem WILD PUG4 durchgeführt worden. Das Ergebnis ist mit insgesamt 90 % gut oder sehr gut übertragenen Punkten noch besser ausgefallen als im Westerwald. Auch die beiden Operateure der hier beauftragten Firmen haben - nach einigen schlech-

ten Ergebnissen zu Beginn der Arbeiten - sehr bald die Übungsschwelle überschritten und fast ausschließlich sehr gute Übertragungsgenauigkeiten erzielt. Nach dem relativ kleinen Punktübertragungstest hat sich das Verfahren damit auch im Praxiseinsatz bewährt.

**Tab. 2.5: Lagegenauigkeit von photogrammetrisch und optisch-mechanisch übertragenen Stichprobenpunkten (visueller Vergleich mit der Lage des ursprünglichen Ausgangspunktes)**

Test- gebiet	Übertra- gungs- methode	Punkte N	Übertragungsgenauigkeit <sup>1)</sup>				relativ besser in % der Fälle
			sehr gut	gut	befriedigend	schlecht	
Westerwald 1991	photo- gramme- trisch	n	83	27	7	9	29
		%	66	21	6	7	
(1 Test- streifen)	optisch- mecha- nisch	n	92	17	8	9	71
		%	73	14	6	7	
Westeifel 1992	optisch- mecha- nisch	n	702	186	16	83	kein Vergleich
		%	71	19	2	8	

1) Bewertungsskala:

Lage des übertragenen Punktes nach visueller Einschätzung...

- sehr gut ... mit der Lage des ursprünglichen Nadelstichs identisch.
- gut ... noch im Randbereich des ursprünglichen Nadelstichs
- befriedigend ... nicht mehr im Bereich des Nadelstichs, aber noch zwischen denselben Bäumen, sodaß eine Rekonstruktion des ursprünglichen Hexagons möglich ist
- schlecht ... nicht mehr zwischen denselben Bäumen; Rekonstruktion des ursprünglichen Hexagons ist damit allein nicht möglich

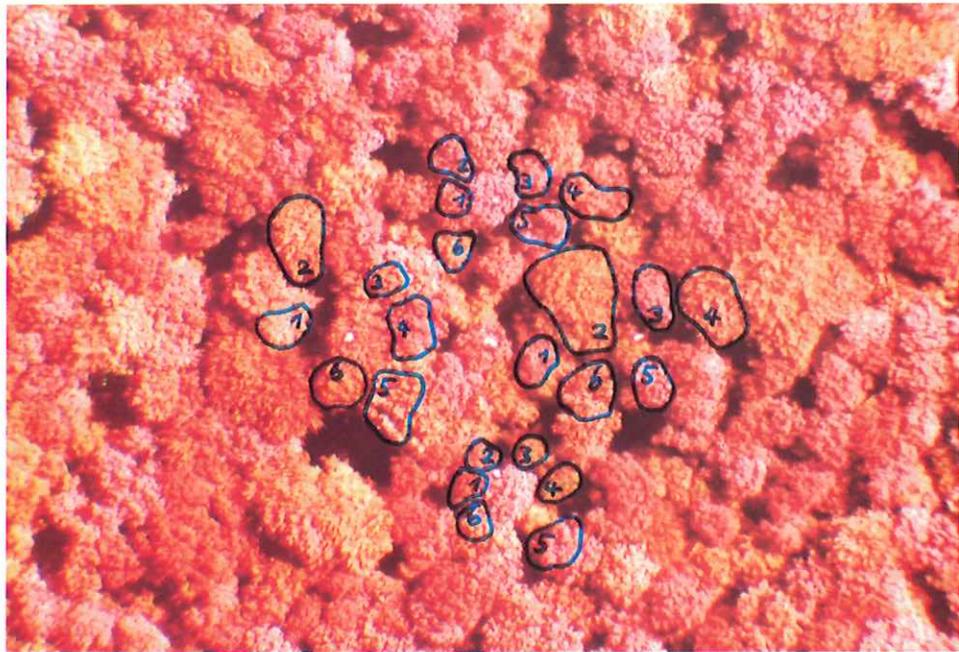
## 2.4 Dokumentation der permanenten Stichprobenbäume

Mit der erfolgreichen Übertragung eines Stichprobenmittelpunktes und der 4 Satellitenmittelpunkte in das entsprechende Luftbild des Folgebildfluges ist die Rekonstruktion des aus 24 Einzelbäumen bestehenden Stichprobenkollektivs nach dem beschriebenen Hexagonverfahren (vgl. Kap. 2.1.2, Abb. 2.1) prinzipiell möglich. Da in der Periode zwischen den beiden Inventurterminen aber diverse Veränderungen im Bestand erfolgt

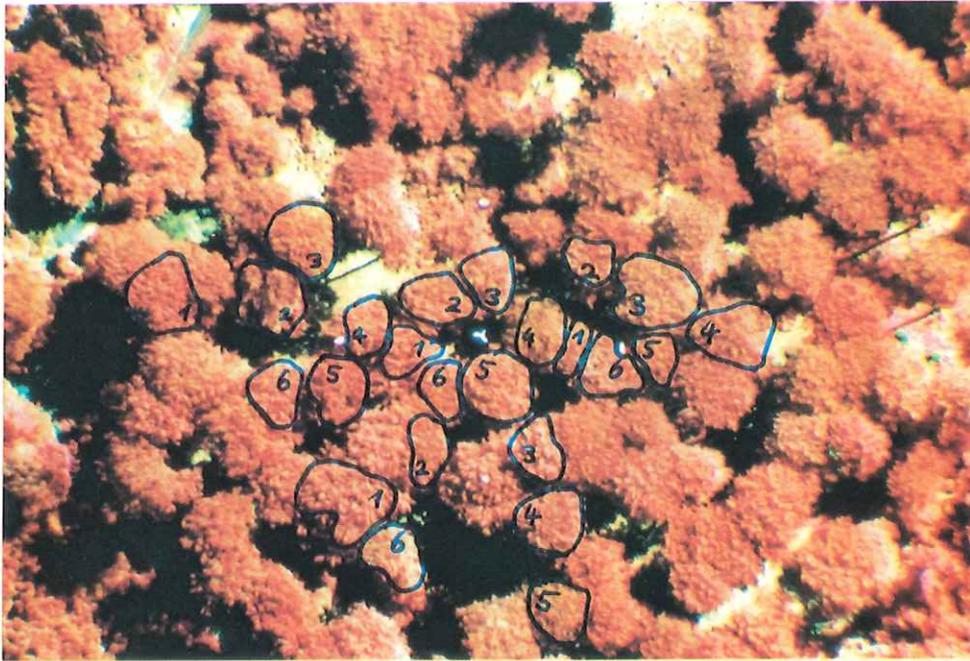
sein können, ist nicht ohne weiteres garantiert, daß die nach dem Hexagonverfahren neu ermittelten Stichprobenbäume in jedem Falle mit den Stichprobenbäumen der Erstinventur identisch sind. Solche permanenten Stichprobenkollektive sind in Luftbildinventuren bisher nur durch photogrammetrische Erfassung aller Stichprobenbäume verwirklicht worden (AKÇA und DONG 1989, MAUSER 1990, MAXIN 1991). Da dieses Vorgehen für eine Großrauminventur zu aufwendig erscheint und außerdem mit der Notwendigkeit einer "On Line"-Interpretation am analytischen Auswertegerät verbunden ist, wird in dieser Arbeit auch nach einem wesentlich einfacheren Verfahren zur eindeutigen Dokumentation der interpretierten Einzelbäume geforscht. Im Sinne einer besonders praxisnahen Verfahrensweise gilt dabei die Forderung, eine Rationalisierung durch funktionale und zeitliche Trennung von Punktübertragung und Interpretation anzustreben.

Die Identität der jeweils sechs in Hexagonform um die vier Satellitenmittelpunkte gruppierten Stichprobenbäume wird mittels eines einfachen Papierbildes von einer Ausschnittsvergrößerung des betreffenden Stichprobenpunktes dokumentiert (Abb. 2.9 - 2.11). Auf dem Fotoabzug werden die Kronen der Stichprobenbäume vom Interpreten umkreist und mit den entsprechenden Baumnummern versehen. Dieses Verfahren hat sich als leicht zu praktizieren, äußerst preiswert und absolut treffsicher erwiesen. Es bietet damit erstmalig in einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung die Möglichkeit, ausgeschiedene Probebäume (Abb. 2.10) zu erfassen und ihre Schadstufenverteilung derjenigen ihrer Ersatzbäume gegenüberzustellen (Kap. 2.6.2).

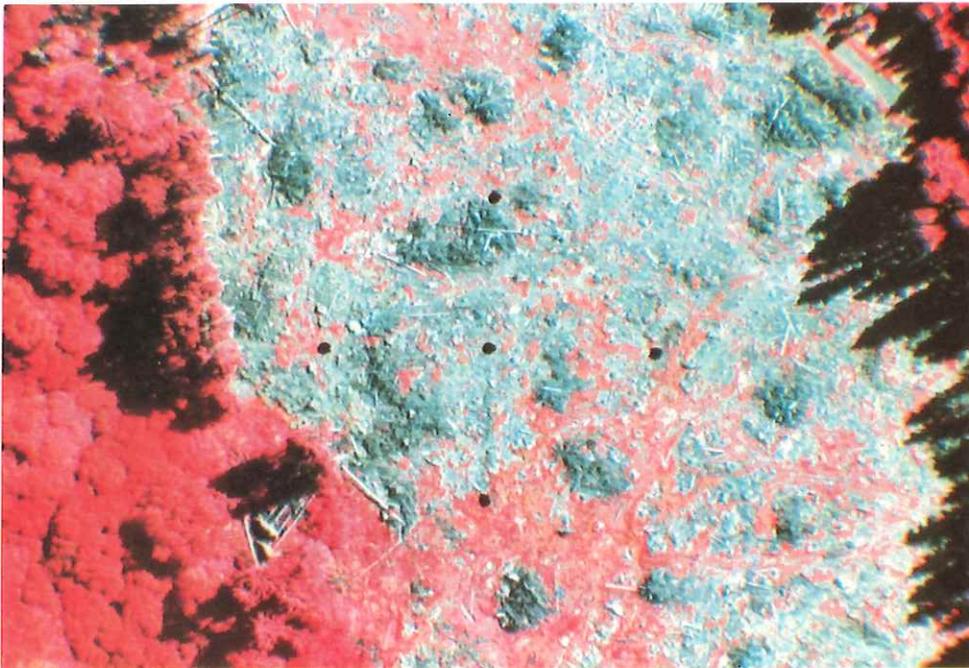
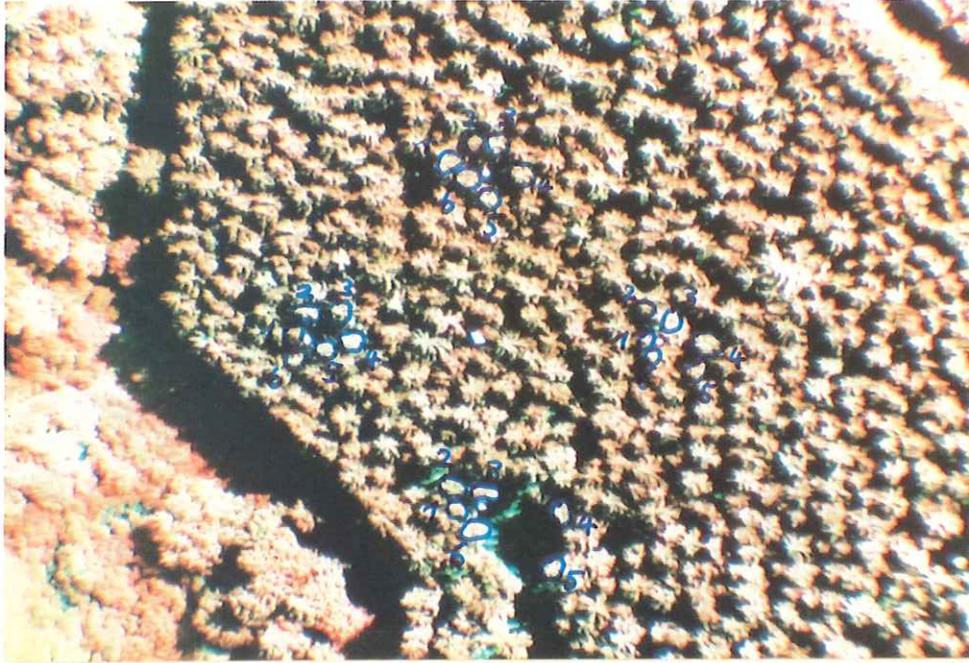
Zur Gewährleistung permanenter Stichproben mit identischen Probebaumkollektiven wäre es aber auch denkbar, alle 24 Probebäume der vier Satelliten auf der Deckfolie auszuplotzen oder mit einem Punktübertragungsgerät zu markieren. Da so viele Punkte aber vor allem in jüngeren Beständen sehr nahe zusammenrücken, decken sie entscheidende Teile der zu bewertenden Kronen ab und können damit die Interpretation erschweren. Außerdem würde damit der mit dem vorgestellten Stichprobendesign gewonnene erste Rationalisierungserfolg, nur noch fünf statt 24 Objekte messen und übertragen zu müssen (vgl. Kap. 2.1.2 und 2.1.3), wieder preisgegeben. Daher werden je Stichprobenpunkt weiterhin nur die fünf Mittelpunkte übertragen, die in der Erstbefliegung durch Nadelstiche gekennzeichnet sind.



**Abb. 2.9: Stichprobenpunkt Nr. 10, Streifen W12, 1987 (oben) und 1991 (unten) mit vollständig erhaltenem Stichprobenkollektiv**



**Abb. 2.10: Stichprobenpunkt Nr. 12, Streifen W12, 1987 (oben) und 1991 (unten) mit einzelnen ausgeschiedenen Probeebäumen und Probebaumersatz**



**Abb. 2.11: Stichprobenpunkt Nr. 3, Streifen W16, 1987 (oben) und 1991 (un-  
ten) mit vollständigem Bestandesverlust infolge flächigen Wind-  
wurfs und daher vorübergehend "ruhendem" Stichprobenpunkt**

## 2.5 Luftbildinterpretation

### 2.5.1 Umfang und Qualität der einzelbaumweisen Luftbildinterpretation

Nach Abschluß der bisher dargestellten photogrammetrischen und organisatorischen Vorarbeiten beginnt die Luftbildinterpretation. Sie kann entsprechend der angestrebten Arbeitsteilung zwischen Photogrammetrie und forstlicher Luftbildinterpretation an ein Spiegelstereoskop an jedem beliebigen Ort verlagert werden.

Die terrestrische Waldschadensansprache verwendet morphologische Merkmale zur Beurteilung des Kronenzustandes von Einzelbäumen. Nadel- und Blattverlust der Gesamtkrone sowie Vergilbungen (Chlorosen) der verbliebenen Nadel- oder Blattmasse sind die wichtigsten Kriterien. Sie werden im Gelände meist in Fünf-Prozent-Werten visuell eingeschätzt und zur Ergebnisdarstellung später zu Kronenzustandsstufen (kombinierten Schadstufen) zusammengefaßt (UN-ECE 1989).

Im Color-Infrarot-Luftbild werden vor allem die Lichtkronen und dort sichtbare Merkmale der Kronengestalt umfassend und genau abgebildet und bei der Auswertung interpretiert. Dazu sind Interpretationsschlüssel erforderlich, bei denen heute Stufen ausgewiesen werden, die mit der terrestrischen Klassifikation vergleichbar sind. Es werden auch Merkmale der Kronenverlichtung und der Nadel- oder Blattvergilbung getrennt beschrieben. Dies erlaubt ebenfalls eine kombinierte Einstufung (AFL 1988, EEC 1991, VDI 1993).

Neben diesen Kronenzustandsmerkmalen werden darüberhinaus zahlreiche weitere Baumparameter einzelbaumweise interpretiert, Gelände- und Bestandesparameter für den gesamten Stichprobenpunkt geschätzt und diverse Ordnungsdaten ermittelt (Tab. 2.6). Die Bewertungsrichtlinien und Skalierungsmaßstäbe gehen aus dem dazugehörigen Schlüsselverzeichnis (Anhang 1) hervor. Bei einer Folgeinventur bekommt der Interpret die LWE-Basisdatei einschließlich der Gelände- und Bestandesparameter sowie der Baumnummern und Baumart aus der Erstinventur. Diese Daten prüft er auf Plausibilität und auf Veränderungen im Stichprobenkollektiv. Die Daten der Kronenzustandsmerkmale sind in der ihm übergebenen Datei gelöscht und unabhängig neu zu interpretieren.

Die Qualität der Ergebnisse einzelbaumweiser Luftbildinterpretation ergibt sich aus dem Grad ihrer individuellen Treffsicherheit und Reproduzierbarkeit, ihrer projektinternen Einheitlichkeit und zeitlichen Konstanz der Bewertungsmaßstäbe und ihrer Vergleichbarkeit zu anderen Projekten, bei denen dieselben Maßstäbe angelegt werden. Zur

**Tab. 2.6: Struktur der LWE-Basisdatenbank für großräumige Luftbild-Waldzustandserhebungen (LWE)**

Nr.	Feldname	Feldtyp	Länge	Feldart <sup>1)</sup>	Erläuterung
Ordnungsdaten <sup>2)</sup>					
1	INT	Zeichen	2	i	Interpret
2	GEB	Zeichen	2	i	Gebiet
3	FLJ	Numerisch	2	i	Befliegungsjahr
4	TGB	Zeichen	1	i	Teilgebiet
5	STR	Numerisch	4	i	Streifen-Nr.
6	BLD	Numerisch	4	i	Bild-Nr.
7	T_K	Numerisch	4	i	Top.Karte (TK 25)
8	PNR	Numerisch	3	i	Punkt-Nr.
9	PAT	Zeichen	1	i	Punktart
10	RWT	Numerisch	5	i	Rechtswert
11	HWT	Numerisch	5	i	Hochwert
12	FAN	Numerisch	3	i	Forstamts-Nr.
Geländeparameter und Bestandesparameter <sup>2)</sup>					
13	HLG	Numerisch	3	i	Höhenlage
14	HRT	Numerisch	1	i	Hangrichtung
15	HNG	Numerisch	1	i	Hangneigung
16	GLF	Numerisch	1	i	Geländeform
17	USN	Numerisch	1	s	Urspr. Satelliten-Nr.
18	SNR	Numerisch	2	i	Satelliten-Nr.
19	LIB	Numerisch	2	i	Lage im Bestand
20	NAK	Numerisch	2	i	Nat. Altersklasse
21	KRS	Numerisch	2	i	Kronenschluß
22	BAB	Numerisch	2	i	Bestandsaufbau
23	MIF	Numerisch	2	i	Mischungsform
Baumparameter und Kronenzustandsmerkmale <sup>2)</sup>					
24	UBN	Numerisch	1	s	Urspr. Baum-Nr.
25	BNR	Numerisch	2	i	Baum-Nr.
26	JIA	Numerisch	2	i	Jahr der 1. Aufnahme
27	BAT	Zeichen	2	i	Baumart
28	VZT	Numerisch	2	i	Verzweigungstyp
29	SST	Numerisch	2	i	Soziale Stellung
30	VLP	Numerisch	3	i	Verlustprozent
31	FST	Zeichen	3	i, b	Feinstufe
32	VST	Numerisch	2	i, b	Verluststufe
33	VGS	Numerisch	2	i	Vergilbungsstufe
34	KST	Numerisch	1	b	Kombinationsstufe
35	FRK	Numerisch	2	i	Fruktifikation
36	SDM	Numerisch	2	i	Sondermerkmale

- 1) i = Erhebung im Rahmen der Interpretation; b = Berechnung aus interpretierten Daten; s = Sortierfeld zur Verknüpfung von Daten verschiedener Erhebungstermine  
 2) Schlüsselverzeichnis vgl. Anhang 1

Steigerung der Interpretationsqualität sind daher eine generelle Standardisierung der Bildqualität aller Bildflüge, eine Harmonisierung der anzuwendenden Interpretationsschlüssel und Maßnahmen zur besseren Abstimmung und Kontrolle der Interpretation erforderlich (HEIDINGSFELD 1990 a).

Der Farbton von CIR-Luftbildern kann sehr unterschiedlich ausfallen, denn eine für alle Bildflüge vollkommen einheitliche Bildqualität ist aus fabrikationstechnischen Gründen über einheitliches Filmmaterial nicht zu realisieren (VORETZSCH et al. 1986). Die daraus resultierenden technischen Fragen zur Mindest-Standardisierung der Bildqualität sind aber weitgehend gelöst (VDI 1990).

In den neuen, allgemeingültigen Interpretationsschlüsseln (AFL 1988, EEC 1991, VDI 1993) ist die Bedeutung der Farbe als Differenzierungsmerkmal außerdem relativiert und Merkmale der Kronengestalt werden stärker berücksichtigt. Daher 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.

Da die Interpretationsschlüssel für die wichtigsten Baumarten inzwischen harmonisiert sind, ist eine Optimierung der Interpretationsqualität heute primär über eine sachgerechte Anwendung dieser Schlüssel, über eine eingehende Abstimmung der Interpretation und über eine gründliche Interpretationskontrolle zu erzielen (HEIDINGSFELD 1989, MAUSER 1991).

Dabei wird besonderer Wert auf die Möglichkeit einer unabhängigen Kontrollinterpretation gelegt, ohne die auch terrestrische Waldzustandserhebungen nicht auskommen. Dies ist dank der eindeutigen Dokumentation der interpretierten Bäume (Kap. 2.4) und der einzelbaumweisen Datenerfassung (Kap. 2.5.1) nun auch in der Luftbild-Waldzustandserhebung problemlos möglich.

#### **2.5.2 Berücksichtigung nicht einzelbaumweise interpretierbarer Jungbestände**

Bei der Bewertung des Niveaus einer regionalen Waldschadenssituation werden in der Regel die auch in der Öffentlichkeit bekannten bundes- oder landesweiten Ergebnisse terrestrischer Waldzustandserhebungen als Vergleichswerte herangezogen. Ein solcher Vergleich ist bisher stets dadurch erschwert, daß in Luftbild-Waldzustandserhebungen eine einzelbaumweise Interpretation maßstabsbedingt erst ab einem von der Baumart

abhängigen Mindestalter möglich ist. Als Folge daraus ist das Teilkollektiv der jüngsten Bestände bis zu dieser baumartenspezifischen "Interpretierbarkeitsgrenze" in der gezogenen Stichprobe bisher meist nicht repräsentiert. Im Vergleich mit den Ergebnissen terrestrischer Erhebungen, die die Grundgesamtheit einschließlich der meist ungeschädigten Jungbestände vollständig erfassen, tritt dadurch eine Verzerrung der Ergebnisse in Richtung eines ungünstigeren Waldzustands ein.

Lösungsansätze für dieses Problem sind bisher lediglich bei der landesweiten Luftbild-Waldschadenserhebung 1983 in Baden-Württemberg und deren Folgeprojekten (SCHÖPFER u. HRADETZKY 1984a, HILDEBRANDT et al. 1986, 1989a) sowie für die Luftbildinventur im Rahmen des österreichischen Waldschaden-Beobachtungssystems (GÄRTNER 1990, 1993) vorgeschlagen worden. Die Interpretation sogenannter "Flächenstichproben" (Baden-Württemberg) und die "pauschale Probeflächentaxation" (Österreich) stellen eine statistisch adäquate Lösung dar. Aus interpretatorischer Sicht können diese Lösungen jedoch nur solange befriedigen, wie mit primär farbbezogenen Interpretationsschlüsseln gearbeitet und die Ergebnisse nicht einzelbaumbezogen, sondern summarisch erfaßt werden. Weitere Lösungsvorschläge aus anderen Luftbild-Waldzustandserhebungen sind nicht bekannt. Durch weitere Verbesserungen bei der Interpretation dürfte das Problem jedoch kaum zu lösen sein. Da die Interpretationsergebnisse solcher "Flächenstichproben" in Jungbeständen aber mit größerer Unsicherheit behaftet sind als die Ergebnisse qualifizierter Einzelbaumtaxationen in mittelalten und älteren Beständen, sollten sie nicht in einen gemeinsamen Datenpool eingespeist und wie gleichwertige Daten weiterverarbeitet werden. Da andererseits auch die sonst gängige Ausgrenzung des jüngsten Teilkollektivs und die daraus resultierende Ergebnisverzerrung keinesfalls weiter akzeptiert werden kann, wird als Behelfslösung eine Substitution durch künstlich generierte, aber möglichst realistische Ersatzdaten vorgeschlagen und getestet.

Bei der einzelbaumweisen Interpretation in mittelalten und alten Beständen sind aus großmaßstäbigen CIR-Luftbildern prinzipiell dieselben Schadensmerkmale und mit vergleichbarer Genauigkeit wie bei der terrestrischen Waldzustandserhebung feststellbar (HEIDINGSFELD 1986, TEPASSÉ 1988). Deshalb sollen auch für Jungbestände Daten gleichen Ansprachestandards in die Datei einer Luftbild-Waldzustandserhebung eingebracht werden. Dies ist näherungsweise möglich, wenn für die Bestände, in denen eine einzelbaumweise Interpretation nicht durchführbar ist, ersatzweise die mittlere, "normale" Schadstufenverteilung in der jeweiligen Altersklasse als Schadensdaten des Stichprobenpunktes in den Datenpool eingefügt wird. Also liegt es nahe, solche Ersatzdaten direkt aus terrestrischen Ansprachen abzuleiten und anstelle unsicherer Flächenschätzungen in die Datei einzubringen.

Der größtmögliche Datenpool, aus dem die üblicherweise zu erwartende, "normale" Schadstufenverteilung von Jungbeständen aller Hauptbaumartengruppen in den Altersklassen bis zur baumartenspezifischen "Interpretierbarkeitsgrenze" ermittelt werden kann, ist das Datenmaterial aller bisherigen terrestrischen Waldzustandserhebungen. Daher sind aus dem gesamten Datenmaterial der Waldzustandserhebungen 1984 bis 1991 in Rheinland-Pfalz die über alle acht Jahre gewogenen mittleren Schadstufenverteilungen in den Altersklassen bis 60 Jahre der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche sowie der Gruppen "sonstige Laubbäume" und "sonstige Nadelbäume" berechnet worden (Tab. 2.7). Eine Transformation dieser dezimalen Prozentwerte in ganzzahlige Anteile von 24 Bäumen ergibt die Schadstufenverteilung, die in Rheinland-Pfalz in der jeweiligen Altersklasse der betreffenden Baumartengruppe durchschnittlich im Probebaumkollektiv eines Stichprobenpunktes angetroffen wird (Tab. 2.8). Da bei diesen hohen mittleren Anteilen an Bäumen ohne sichtbare Schadsymptome (Stufe 0) innerhalb der einzelnen Baumartengruppen nicht mit größeren Streuungen zu rechnen ist (Abb. 2.12), wird unterstellt, daß die tatsächliche Schadstufenverteilung in einem nicht einzelbaumweise interpretierbaren Jungbestand mit großer Wahrscheinlichkeit den durchschnittlichen Normalwerten dieser Hilfstafel entspricht.

Eine solche Tafel kann nur für das Gebiet gelten, in dem die ihr zugrunde liegenden Urdaten erhoben worden sind. Diese Tafel gilt daher nur für die Wälder in Rheinland-Pfalz. Für andere Länder oder kleinräumigere Gebiete mit einer anderen Schadenssituation müßten bei Bedarf entsprechende, landes- oder gebietsspezifische Hilfstafeln berechnet werden. Für Rheinland-Pfalz scheint eine weitere Aufgliederung in wuchsgebietspezifische Hilfstafeln nicht erforderlich zu sein, da die Anteile schadsymptomfreier Bäume (Stufe 0) in den ersten Altersklassen der einzelnen Baumarten zwischen den Wuchsgebieten keine nennenswerten Differenzen aufweisen (Abb. 2.13). Daß die Fichten der Altersklasse III (41-60 Jahre), regional etwas inhomogener sind, ist unkritisch, da Fichten diesen Alters bereits obligatorisch einzelbaumweise interpretiert werden. Lediglich für die Buchen im Pfälzerwald könnte eine modifizierte Hilfstafel gerechtfertigt erscheinen (Abb. 2.13, unten). Bei den Buchen in der Eifel und im Westerwald sind aufgrund der geringen Stichprobenumfänge und der daraus resultierenden größeren Streuungen keine regionalen Unterschiede zu erkennen.

Darüberhinaus sind solche Hilfstafeln nur solange gültig, wie die in ihnen ausgewiesenen Schadstufenverteilungen keiner gerichteten Entwicklung unterliegen. Sie sollten daher jeweils anläßlich der künftig im dreijährigen Turnus aufgenommenen Vollstichproben der terrestrischen Waldzustandserhebung (DAMMANN et al. 1992) überprüft und gegebenenfalls aktualisiert werden.

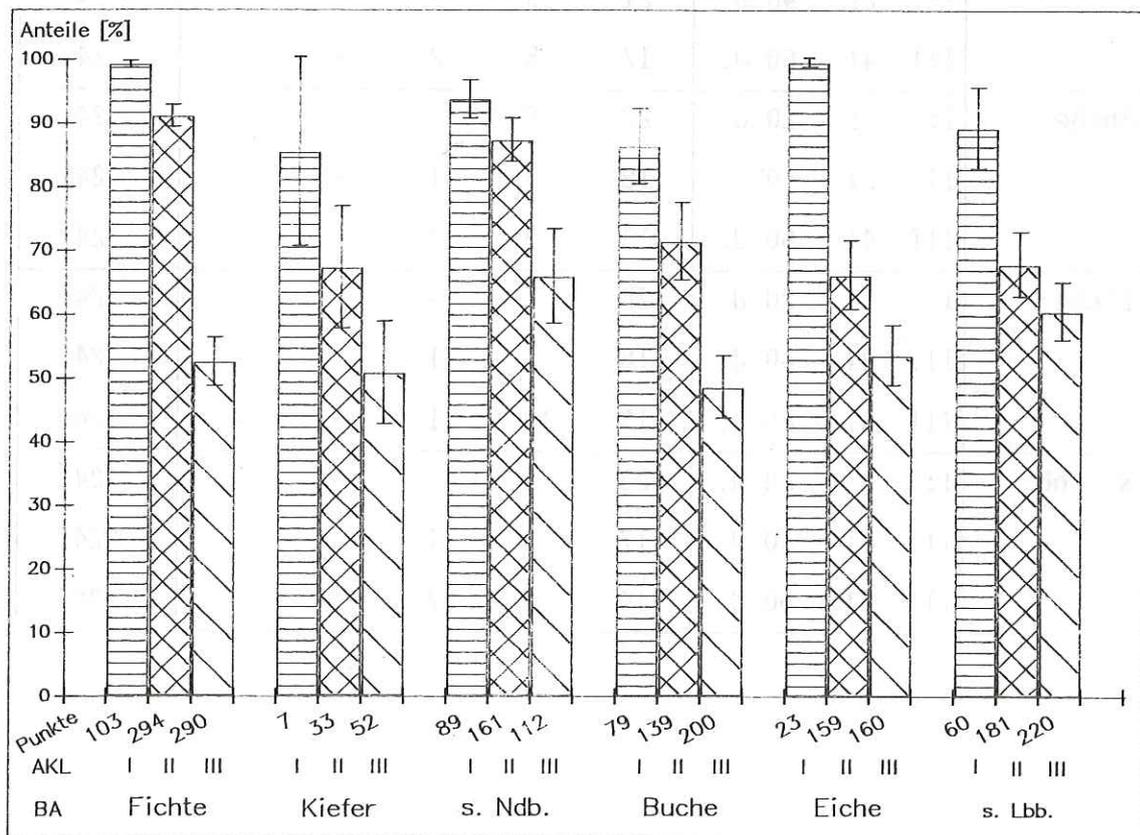
**Tab. 2.7: Mittlere ("normale") Schadstufenverteilungen in den Altersklassen bis 60 Jahre der Hauptbaumartengruppen in Rheinland-Pfalz (gewogenes Mittel der terrestrischen Waldzustandserhebungen 1984 bis 1991 in Rheinland-Pfalz)**

Baumarten- gruppe	Altersklasse	Anteil der Schadstufen [%]					Summe
		0	1	2	3	4	
<b>Fichte</b>	I: 1 - 20 J.	99,2	0,8	0,0	0,0	0,0	100
	II: 21 - 40 J.	91,0	7,6	1,0	0,3	0,1	100
	III: 41 - 60 J.	56,3	35,6	7,4	0,6	0,1	100
<b>Kiefer</b>	I: 1 - 20 J.	85,6	13,2	1,2	0,0	0,0	100
	II: 21 - 40 J.	67,4	31,5	1,1	0,0	0,0	100
	III: 41 - 60 J.	50,9	44,1	2,9	0,0	2,1	100
<b>s. Ndb.</b>	I: 1 - 20 J.	95,1	3,9	0,7	0,1	0,1	100
	II: 21 - 40 J.	85,3	14,1	0,6	0,0	0,1	100
	III: 41 - 60 J.	68,6	22,8	6,7	1,9	0,0	100
<b>Buche</b>	I: 1 - 20 J.	89,9	8,7	1,4	0,0	0,0	100
	II: 21 - 40 J.	74,0	23,3	2,3	0,3	0,0	100
	III: 41 - 60 J.	53,1	39,6	6,8	0,4	0,0	100
<b>Eiche</b>	I: 1 - 20 J.	98,8	0,4	0,4	0,4	0,0	100
	II: 21 - 40 J.	67,1	30,6	2,1	0,2	0,0	100
	III: 41 - 60 J.	55,7	39,9	4,2	0,3	0,0	100
<b>s. Lbb.</b>	I: 1 - 20 J.	95,0	4,2	0,6	0,2	0,0	100
	II: 21 - 40 J.	71,6	23,8	3,3	0,7	0,6	100
	III: 41 - 60 J.	59,1	33,3	5,9	1,3	0,5	100

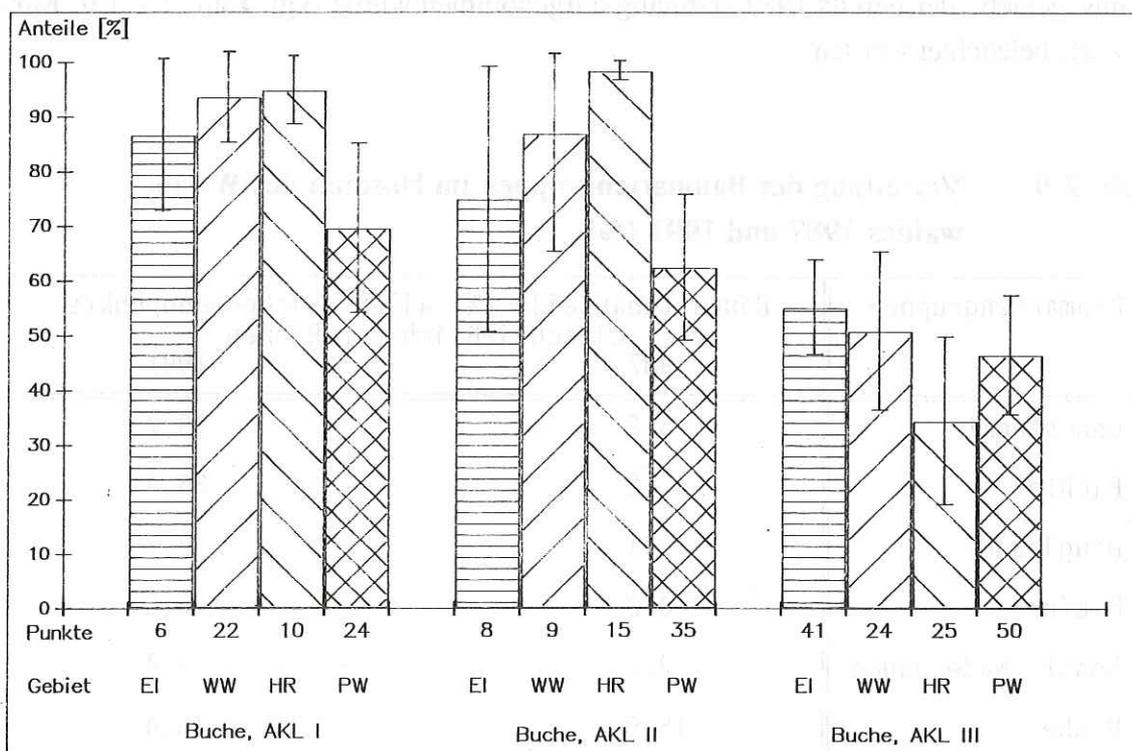
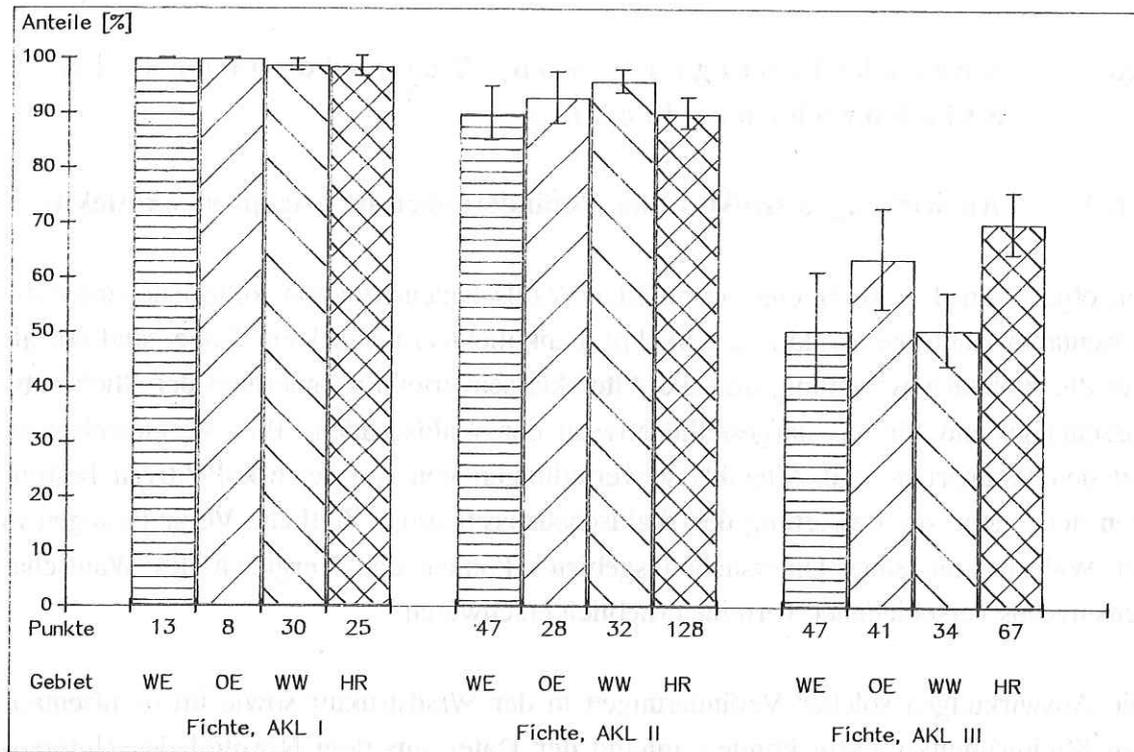
**Tab. 2.8: Vorläufige Hilfstafel zur Abschätzung "normaler" Schadstufenverteilungen in nicht einzelbaumweise luftbildinterpretierbaren Jungbeständen in Rheinland-Pfalz (abgeleitet aus Tab. 2.7)**

Baumarten- gruppe	Altersklasse	Anteil der Schadstufen [Bäume]					Summe
		0	1	2	3	4	
<b>Fichte</b>	I: 1 - 20 J.	24	-	-	-	-	24
	II: 21 - 40 J.	22	2	-	-	-	24
	III: 41 - 60 J.	14	8	2	-	-	24
<b>Kiefer</b>	I: 1 - 20 J.	21	3	-	-	-	24
	II: 21 - 40 J.	16	8	-	-	-	24
	III: 41 - 60 J.	12	11	1	-	-	24
<b>s. Ndb.</b>	I: 1 - 20 J.	23	1	-	-	-	24
	II: 21 - 40 J.	21	3	-	-	-	24
	III: 41 - 60 J.	17	5	2	-	-	24
<b>Buche</b>	I: 1 - 20 J.	22	2	-	-	-	24
	II: 21 - 40 J.	18	5	1	-	-	24
	III: 41 - 60 J.	13	9	2	-	-	24
<b>Eiche</b>	I: 1 - 20 J.	24	-	-	-	-	24
	II: 21 - 40 J.	16	7	1	-	-	24
	III: 41 - 60 J.	13	10	1	-	-	24
<b>s. Lbb.</b>	I: 1 - 20 J.	23	1	-	-	-	24
	II: 21 - 40 J.	17	6	1	-	-	24
	III: 41 - 60 J.	14	8	2	-	-	24

Die vorliegende Hilfstafel sollte auch nicht obligatorisch für alle hier enthaltenen Baumarten und Altersklassen angewendet werden; denn erfahrene Interpreten sind sehr wohl in der Lage, z.B. Fichten ab einem Alter von 20 Jahren oder Kiefern ab 40 Jahre einzelbaumweise zu interpretieren. Die Aufgabe des Interpreten besteht daher darin, an jedem Stichprobenpunkt zunächst abzuwägen, ob der vorgefundene Bestand eine einzelbaumweise Interpretation zuläßt oder nicht. Diese Entscheidung hat er im Feld "Punktart" der LWE-Basisdatei festzuhalten. Handelt es sich um einen nicht einzelbaumweise interpretierbaren Jungbestand, so sind Baumart und Alter zu schätzen, damit die entsprechende Schadstufenverteilung aus der Hilfstafel abzulesen und diese im Feld "Verluststufe" einzusetzen. Dabei werden die höchsten zu vergebenden Schadstufen vereinfachend bei den ersten Baumnummern und bei den restlichen Bäumen einheitlich Stufe 0 gesetzt. In Mischbeständen ist es dem fachlichen Ermessen des Interpreten überlassen, die Schadstufenverteilungen der Hilfstafel den vorliegenden Baumartenanteilen entsprechend zu kombinieren.



**Abb. 2.12: Anteile an Bäumen ohne sichtbare Schadensmerkmale (Stufe 0) in den ersten 3 Altersklassen der Hauptbaumartengruppen in Rheinland-Pfalz [ %, mit 95%-Vertrauensbereichen]**



**Abb. 2.13: Anteile an Bäumen ohne sichtbare Schadensmerkmale (Stufe 0) in den ersten 3 Altersklassen von Fichte (oben) und Buche (unten) in den Hauptwaldgebieten von Rheinland-Pfalz (WE = Westeifel, OE = Osteifel, WW = Westerwald, HR = Hunsrück, EI = Eifel, PW = Pfälzerwald) [ %, mit 95%-Vertrauensbereichen]**

## 2.6 Berücksichtigung von Veränderungen im Stichprobenkollektiv

### 2.6.1 Auswirkungen struktureller Veränderungen im Stichprobenkollektiv

Zur objektiven Bewertung einer ermittelten Waldschadenssituation sollte jede Ergebnispräsentation auch die Struktur des Stichprobenkollektivs beleuchten. Dabei sind vor allem die Baumartenverteilung und die Altersklassenverteilung innerhalb der Stichprobe ausschlaggebend für das dargestellte Niveau der Waldschäden. Ihre Vergleichbarkeit mit den Baumarten- und Altersklassenverteilungen von Vergleichskollektiven bestimmen den Tenor zur Bewertung der Waldschadenssituation. Zeitliche Veränderungen in der Waldstruktur eines Untersuchungsgebietes können den Vergleich des Waldschadensniveaus verschiedener Termine erheblich erschweren.

Die Auswirkungen solcher Veränderungen in der Waldstruktur sowie im repräsentativen Stichprobenkollektiv können anhand der Daten aus dem Nordteil des Untersuchungsgebiets, der bereits 1987 erstmalig aufgenommen wurde (vgl. Kap. 2.2.1 u. Karte 2.2), beleuchtet werden.

**Tab. 2.9: Verteilung der Baumartengruppen im Nordteil des Westerwaldes 1987 und 1991 (%)**

Baumartengruppen	Baumartenanteile (%) aller Stichprobenpunkte einschließlich der Blößen	
	1987	1991
unbestockt	5,2	18,7
Fichte	47,2	36,4
Douglasie	3,1	2,3
Kiefer	0,2	0,5
Sonst. Nadelbäume	2,2	1,4
Buche	15,9	15,4
Eiche	10,1	9,9
Sonst. Laubbäume	16,1	15,4
Alle Baumarten	100,0	100,0

Die Baumartenzusammensetzung hat sich im Nordteil des Westerwaldes von 1987 bis 1991 erheblich verändert (Tab. 2.9). Vor allem der Anteil der Fichtenbestände ist von 47 auf 36 % gesunken. Im gleichen Zeitraum ist der Anteil unbestockter Flächen deutlich gestiegen. Hier dokumentieren die Luftbilder, daß die Orkane zu Beginn des Jahres 1990, denen vor allem Fichtenbestände zum Opfer gefallen sind, die Waldstruktur im Westerwald erheblich verändert haben. Örtlich sind auch Buchen sehr stark von den Stürmen betroffen gewesen, insgesamt hat ihr Anteil jedoch nur um knapp 1 % abgenommen.

Das Ausmaß der Waldschäden in einem Untersuchungsgebiet hängt primär von der Altersstruktur der erfaßten Waldbestände ab. Bei überwiegend älteren Beständen ist das Schadensniveau höher als in einem Gebiet mit überwiegend jüngeren Beständen. Veränderungen der Altersstruktur können die Schadensentwicklung daher überlagern oder rechnerisch kompensieren.

Im Nordteil des Westerwaldes beträgt die Summe der Baum- und Althölzer 1987 noch fast 60 %, 1991 dagegen nur noch 44 %. Demgegenüber hat der Anteil der Kahlf lächen (Blößen) von 5 %, einem für Normaljahre bereits ungewöhnlich hohen Wert, auf fast 19 % zugenommen (Tab. 2.10).

**Tab. 2.10: Verteilung der natürlichen Altersklassen im Westerwald und in den Teilgebieten 1987 und 1991 (%)**

Natürliche Altersklassen	Aufnahmejahr und Teilkollektiv			
	1987 Nordteil	1991 Nordteil	1991 Südteil	1991 Gesamt
Blöße/Kahlf läche	5,2	18,7	2,9	11,4
Jungwuchs	5,9	7,2	11,9	9,3
Dickung	14,0	14,2	7,4	11,1
Stangenholz	16,7	15,9	16,2	16,0
Schwaches Baumholz	29,4	25,6	29,3	27,3
Mittleres Baumholz	19,0	12,7	25,1	18,4
Starkes Baumholz (Altholz)	9,8	5,7	7,1	6,4
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0

Diese Zunahme an Kahlf lächen ist ebenfalls ein Ergebnis der Stürme zu Beginn des Jahres 1990, die vor allem Baumhölzer geworfen haben. Der leichte Anstieg der Jungwuchsflächen deutet auf die ersten Ergebnisse der sofort einsetzenden Aufforstungstätigkeiten hin. Ihr Anteil wird nach Aufforstung aller Kahlf lächen in diesem Teilgebiet auf über 20 % ansteigen. Dies gilt auch für das gesamte Untersuchungsgebiet, in dem noch 11 % Kahlf lächen vorkommen.

Diese Veränderungen der Altersklassenverteilung müssen erhebliche Auswirkungen auf das Niveau der Waldschäden im Untersuchungsgebiet haben; denn jüngere Bäume weisen, wie mehrere Untersuchungen belegen (z.B. HILDEBRANDT et al. 1986, SCHÖPFER et al. 1984a) im allgemeinen geringe Schäden auf als ältere.

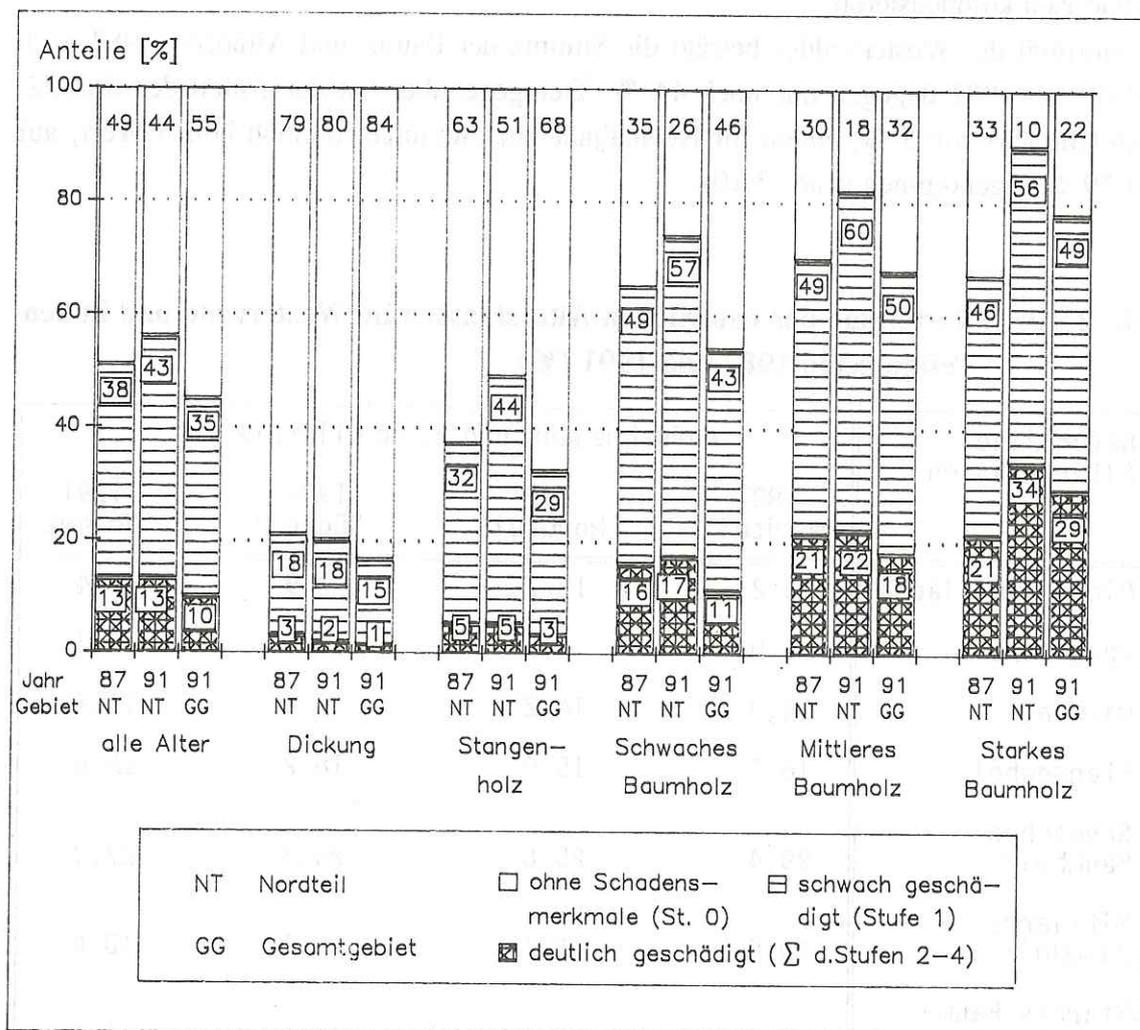


Abb. 2.14: Schadstufenverteilung in den natürlichen Altersklassen, alle Baumarten [%]

Mit zunehmendem Alter zeigt der Anteil an Bäumen ohne sichtbare Schadensmerkmale (Stufe 0) eine deutliche Abnahme (Abb. 2.14). Im Testgebiet Westerwald sind in Dickungen etwa 80 % der Bäume ohne sichtbare Schäden (Stufe 0), in Althölzern waren es 1987 noch 33 % und im gleichen Gebiet 1991 dagegen nur noch 10 %. Demgegenüber steigt die Summe deutlich geschädigter Bäume (Stufen 2-4).

In Altbeständen hat der Anteil deutlich geschädigter Bäume in der Zeit von 1987 bis 1991 von 21 % auf 34 % zugenommen. Dies hat jedoch keine Auswirkungen auf das Gesamtergebnis über alle Altersklassen, denn die Orkane des Jahres 1990 haben sehr stark in die älteren Bestände eingegriffen. Dadurch kam es statistisch zu einer relativen Verjüngung der Wälder im Westerwald. Da jüngere Bestände erfahrungsgemäß geringere Schäden aufweisen, hätte der Anteil deutlich geschädigter Bäume hier insgesamt sinken müssen. Er beträgt jedoch unverändert 13 % (Abb. 2.14). Ohne die sturmschadensbedingte Veränderung der Waldstruktur wäre daher vermutlich ein Schadensanstieg eingetreten.

#### **2.6.2 Einfluß ausgeschiedener und ersetzter Probebäume**

Die Waldbestände mit Stichprobenpunkten werden regulär bewirtschaftet. Wo einzelne Stichprobenbäume aufgrund planmäßiger Nutzung oder aus Kalamitätsgründen ausscheiden, werden sie durch die jeweils nächststehenden Bäume ersetzt. Vollständig ausgefallene Stichprobenpunkte "ruhen", bis die nachfolgende Waldgeneration heranwächst (DAMMANN et al. 1992). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob der Probebaumersatz zu einer Schönung der Schadensergebnisse führt; denn häufig wird die Vermutung geäußert, daß hauptsächlich stark geschädigte Bäume ausscheiden und durch ungeschädigte ersetzt würden (z.B. KLEIN 1991). Damit wäre ein "Gesundhauen" der Wälder verbunden.

Die Frage nach dem Einfluß ausgeschiedener und ersetzter Probebäume kann in den Ergebnisberichten der terrestrischen Waldzustandserhebungen dank der nummerierten Probebäume regelmäßig beantwortet werden (z.B. HEIDINGSFELD et al. 1990, HEIDINGSFELD 1991a). Aus Luftbildern ist dieser Frage bisher nur mittels einzelbaumweiser Vollaufnahmen und Kronenkartierungen zur Aufdeckung räumlicher Schadensverteilungsmuster und zur Rekonstruktion des Schadensverlaufs in einzelnen Beständen nachgegangen worden (AKÇA et al. 1991, AMMER et al. 1983, DELB 1989, HEIDINGSFELD 1986, HÖGER 1987). Die dazu erforderliche Erfassung ausgeschiedener und ersetzter Probebäume ist mit dem hier vorgestellten Stichprobendesign, der photogrammetrischen oder optisch-mechanischen Übertragung der Stichprobenmittelpunkte

sowie der eindeutigen Probebaumdokumentation erstmalig auch in einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung auf Stichprobenbasis möglich geworden (vgl. Kap. 2.3 u. 2.4).

Das Stichprobenkollektiv der Luftbild-Waldzustandserhebung ist von den Stürmen auch nicht verschont geblieben, denn 18 % der 1987 erstmalig bewerteten Probebäume sind bis 1991 ausgeschieden (Tab. 2.11). Davon konnten 3,7 % in den verbliebenen Beständen ersetzt werden und 14,3 % der Probebäume waren 1991 nicht zu ersetzen, da die Bestände durch die Stürme vollständig verloren gegangen sind. Diese Stichprobenpunkte "ruhen", bis die nachfolgende Waldgeneration herangewachsen ist.

**Tab. 2.11: Schadstufenverteilung ausgeschiedener, ersetzter und nicht ersetzbarer Probebäume im Nordteil des Westerwaldes 1991**

Teilkollektiv	Anteil an der Stichprobe Bäume		Anteile der Schadstufen (Bäume/%)					Summe 2-4	
	(N)	(%)	0	1	2	3	4		
bis 1991 ausgeschiedene Bäume	655	18,0	N	218	305	121	7	4	129
			%	33	47	18	1	1	20
Ersatzbäume 1991	133	3,7	N	44	62	25	2	0	27
			%	33	47	19	2	0	20
Vorgänger 1987	133	3,7	N	37	64	27	2	3	29
			%	28	48	20	2	2	22
1991 nicht ersetzbare Bäume	522	14,3	N	181	241	94	5	1	100
			%	35	46	18	1	0	19

Auf die aktuelle Schadstufenverteilung 1991 konnte jedoch weder das Ausscheiden eines erheblichen Teils der Probebäume noch der Ersatz eines Teils dieser Bäume einen Einfluß nehmen, da die ausgeschiedenen Bäume, die Ersatzbäume, ihre Vorgänger und die nicht ersetzbaren Bäume alle etwa die gleichen Schadstufenverteilungen aufweisen.

## 2.7 Erprobung des Verfahrens in der Praxis

Das dargestellte Verfahren ist im Untersuchungsgebiet Westerwald einem großräumigen Praxistest unterzogen worden, um seine praktische Durchführbarkeit und die Treffsicherheit der Ergebnisse zu prüfen.

### 2.7.1 Gesamtergebnisse der Luftbild-Waldzustandserhebung

Die Auswertung der Luftbildinterpretation zeigt das Ausmaß der Waldschäden im Untersuchungsgebiet und ermöglicht Vergleiche mit Daten aus anderen oder größeren Gebieten sowie mit den Ergebnissen terrestrischer Erhebungen in demselben Gebiet.

Die terrestrische Waldzustandserhebung 1991 hat gezeigt, daß im gesamten Wuchsgebiet Westerwald über alle Baumarten und Altersklassen etwa 55 % der Bäume ohne sichtbare Schadsymptome, 34 % schwach geschädigt und 11 % aller Bäume deutlich geschädigt sind (HEIDINGSFELD 1991a). Die wesentlich intensivere Luftbild-Waldzustandserhebung in dem von den Flugstreifen 1991 erfaßten Untersuchungsgebiet zeigt eine Schadstufenverteilung, die mit der der terrestrischen Erhebung im Westerwald nahezu identisch ist. Auch hier erscheinen 55 % aller Bäume ohne sichtbare Schadsymptome. Schwach geschädigt sind 35 % und 10 % der Bäume weisen deutliche Schäden auf (Tab. 2.9). Dieser hohe Grad an Übereinstimmung mit den Ergebnissen der terrestrischen Waldzustandserhebung trägt zur Erfüllung der Zielsetzung bei, terrestrische und luftbildgestützte Waldzustandserhebungen in ein gemeinsames Inventursystem zu integrieren (vgl. Kap. 1.3). In diesem System soll die terrestrische Erhebung Ergebnisse für Großräume bis zum Wuchsgebiet und die Luftbild-Waldzustandserhebung Detailinformationen innerhalb des Wuchsgebietes liefern. Daß die Ergebnisse - wie hier - an der Schnittstelle beider Methoden übereinstimmen, ist eine Voraussetzung für die Glaubwürdigkeit der Detailergebnisse. Diese Übereinstimmung ist teilweise auf die Optimierung der Interpretationsqualität (HEIDINGSFELD 1990 a) zurückzuführen. Die erstmalige Berücksichtigung der nicht einzelbaumweise interpretierbaren Jungbestände (vgl. Kap. 2.5.2) hat aber auch wesentlich dazu beigetragen.

Zeitliche Vergleiche von Ergebnissen unterschiedlicher Inventurtermine legen Schadensentwicklungen offen oder zeigen, daß die Schäden, ungeachtet struktureller Veränderungen (Kap. 2.6.1), insgesamt unverändert sind. Die Aufschlüsselung nach Hauptbaumartengruppen (Tab. 2.12) dient dem Vergleich mit bereits bekannten Ergebnissen.

**Tab. 2.12: Schadstufenverteilung nach Baumartengruppen und Untersuchungsgebieten 1987 und 1991 im Westerwald; wobei ein Zeitvergleich nur für den kleineren, 1987 bereits beflogenen Nordteil des Untersuchungsgebiets vorgelegt werden kann.**

Baumarten- gruppen	Gebiet, Jahr	Anteil der Schadstufen (%)				
		0	1	2 bis 4	2	3+4
Fichte	Gesamtgeb. 1991	54	36	10	9,5	0,3
	Nordteil 1991	42	45	13	12,6	0,3
	Nordteil 1987	48	39	13	12,1	0,9
Buche	Gesamtgeb. 1991	38	45	17	15,1	1,6
	Nordteil 1991	31	48	21	17,5	3,0
	Nordteil 1987	38	44	18	16,2	2,1
Eiche	Gesamtgeb. 1991	37	49	14	13,2	1,0
	Nordteil 1991	36	48	16	14,2	1,6
	Nordteil 1987	37	50	13	12,9	0,5
Sonstige	Gesamtgeb. 1991	78	19	3	2,0	0,5
	Nordteil 1991	64	32	4	3,3	1,1
	Nordteil 1987	66	26	8	6,1	1,5
Alle Baumarten	Gesamtgeb. 1991	55	35	10	9,2	0,7
	Nordteil 1991	44	43	13	11,5	1,2
	Nordteil 1987	49	38	13	11,5	1,2

### 2.7.2 Rasterpunktbezogene Darstellung der Inventurergebnisse

Rasterpunktbezogene Waldzustandserhebungen haben neben der Ermittlung des Ausmaßes der Waldschäden im Untersuchungsgebiet und in verschiedenen Teilkollektiven (Baumarten, Altersklassen o.ä.) vor allem die Aufgabe, die räumliche Verteilung der

Schäden aufzuzeigen. Die Darstellung der Ergebnisse in thematischen Karten ist daher ein unentbehrliches Hilfsmittel, räumliche Bezüge zwischen verschiedenen Faktoren verständlich zu machen.

Zur Veranschaulichung der räumlichen Verteilung der Waldschäden im Untersuchungsgebiet wird der Anteil deutlich geschädigter Bäume (d.h. die Summe der Stufen 2 bis 4) an den einzelnen Stichprobenpunkten in Übersichtskarten dargestellt. Diese Kenngröße eignet sich am besten zur Charakterisierung der Schadenssituation am Stichprobenort (vgl. Kap. 3.1.2). Sie wird nach Einteilung in Klassen (vgl. Zeichenerklärung Karte 2.3) zur Darstellung der regionalen Verteilung der Schäden verwendet.

Die kartographische Darstellung ist früher durch zeitaufwendige manuelle Zeichnung von Einzelkarten geschehen, die allenfalls auf photo- oder drucktechnischem Wege vervielfältigt werden können. Heute bieten moderne EDV-Anlagen mit CAD- oder GIS-Programmen (CAD = computer aided design = computerunterstütztes Zeichnen, GIS = Geographische Informations-Systeme) die Möglichkeit der digitalen Erfassung von graphischen Elementen wie Karten oder Zeichnungsvorlagen und der rationelleren, vielseitigeren und professionelleren Erstellung von thematischen Karten.

Für die kartographische Präsentation klassifizierter Punktdaten sind parallel zu dieser Arbeit spezielle Routinen entwickelt worden, die es erlauben, mit Hilfe des Standardprogramm Pakets AutoCAD (AUTODESK 1991) Geometrie- und Sachdaten zu verknüpfen (BOPP 1992).

Als Kartengrundlage zur räumlichen Orientierung werden die wichtigsten topographischen Kartenelemente (Straßenzüge, Waldflächen, Bildflugstreifen, Gewässerlinien und die Lage einiger Ortschaften) im Gauß-Krüger-Koordinatensystem digitalisiert und in einer Geometriedatenbank gespeichert. Die für eine kartographische Ergebnisdarstellung vorgesehenen beschreibenden Daten müssen in einer Sachdatenbank im dBASE-IV-Format (ASHTON-TATE 1990) rasterpunktbezogen klassifiziert vorliegen, d.h. die Sachdatenbank enthält zu jedem Stichprobenpunkt deren Gauß-Krüger-Koordinaten und die Klassenwerte aller darzustellenden Merkmale (Anteil deutlich geschädigter Bäume, Höhe ü. NN, natürliche Altersklassen usw.).

Aus einer Symbolbibliothek, in der beliebig viele Symbole definiert sind, werden die für den Ergebnisplot gewünschten Symbole als Muster ausgewählt und diese gleich der Klassennummer gesetzt. Diese Muster werden mit Hilfe der hierfür entwickelten Routine mit den Gauß-Krüger-Koordinaten aus der Sachdatenbank verknüpft, in die Geometriedatenbank eingelesen und im Ergebnisplot zusammen mit der Topographie lagege-

nau abgebildet (BOPP 1992). Dieses Verfahren hat sich bereits bei der kartographischen Darstellung klassifizierter Ergebnisse von ebenfalls an Rasterpunkten gewonnenen Boden- und Nadelanalysen bewährt (BLOCK et al. 1991). Damit entstehen thematische Karten, die regionale Schadensschwerpunkte aufzeigen, Einblick in die räumliche Verteilung der einzelnen Merkmale erlauben und Beziehungen zwischen der räumlichen Verteilung verschiedener Parameter aufdecken (vgl. Karten 2.3 - 2.6).

Der Anteil deutlicher Schäden an den einzelnen Stichprobenpunkten variiert 1991 in großem Rahmen. Stark und sehr stark geschädigte Bestände mit deutlichen Schäden von über 60 % bzw. über 90 % wurden im Westerwald nicht gefunden. Eine Gefährdung der Wälder in ihrer Bestandesstruktur, wie sie zum Beispiel in den Hochlagen des Hunsrücks vorkommt (vgl. Kap. 3.6), liegt an keinem Stichprobenpunkt vor. Der Westerwald ist derzeit somit nicht als Hauptschadensgebiet zu bezeichnen.

Relativ stärker geschädigte Bestände (über 20 % deutliche Schäden) liegen gehäuft in einem Gebiet, das mit der Abgrenzung der Höhenlagen über 400 m über NN sowie der Verteilung älterer Waldbestände weitgehend identisch ist (Karten 2.3 - 2.5). Die Baumartenzusammensetzung, die in anderen Gebieten gelegentlich ebenfalls Einfluß auf die Schadensverteilung hat (BEUTEL et al. 1991), spielt im Westerwald keine entscheidende Rolle, da die hier dominierenden Baumarten Fichte und Buche weitgehend gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt sind (Karte 2.6).

Die rasterpunktbezogene Darstellung der Inventurergebnisse hat sich damit als ein geeignetes Hilfsmittel erwiesen, mit dem räumliche Bezüge zwischen verschiedenen Faktoren aufgedeckt und demonstriert werden können.

# Luftbild – Waldzustandserhebung im Westerwald

im Westerwald

Karte 2.3 : Stichprobepunkte und  
Anteil deutlich geschädigter  
Bäume (Stufen 2-4)  
1991

Alle Baumarten

Anteil deutlich geschädigter  
Bäume (Stufen 2-4)

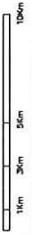
- Bäume
- bis 10%
- ◻ > 10 bis 25%
- ◼ > 25 bis 50%
- über 50%

Zeichenerkennung



- Fluglinie mit  
südlichem Streifenende 1987
- Weißföhren
- Bundesstraße  
Autobahn
- Forstamtgrenze
- Forstämter

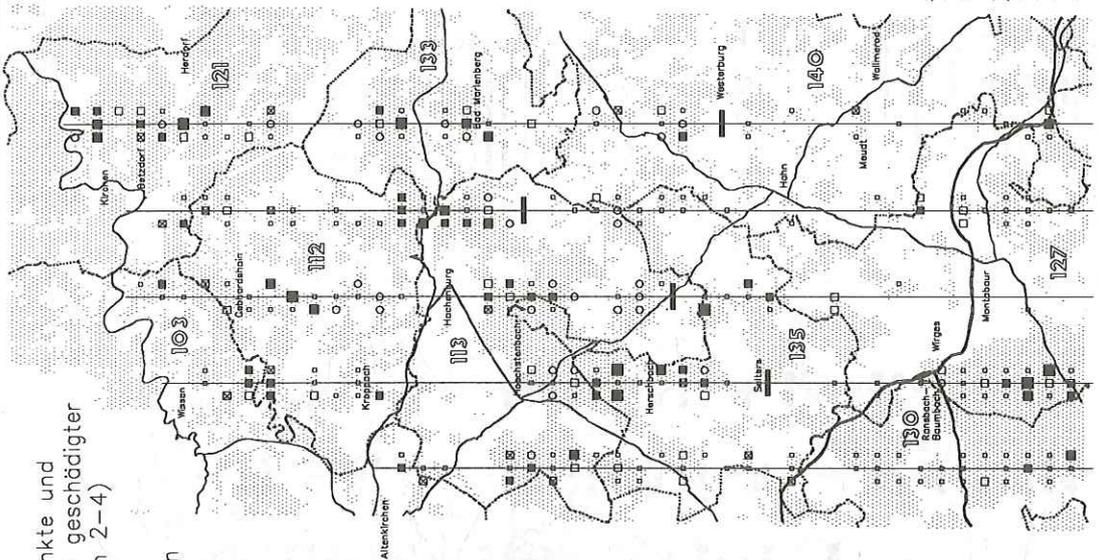
- 103 Altkirchhain
- 112 Hachenburg-Nord
- 113 Hachenburg-Süd
- 121 Kirrhan
- 127 Monstabaur
- 130 Neuhäsel
- 133 Sellera
- 140 Weimrodt



Koblenz

Dat:

FVA R-P, Trippstadt, 9/92



# Luftbild – Waldzustandserhebung im Westerwald

im Westerwald

Karte 2.4 : Stichprobepunkte und  
Höhe über NN

Höhe über NN

- bis 300 m
- ◻ > 300 bis 400 m
- ◼ über 400 m

Zeichenerkennung



- Fluglinie mit  
südlichem Streifenende 1987
- Weißföhren
- Bundesstraße  
Autobahn
- Forstamtgrenze
- Forstämter

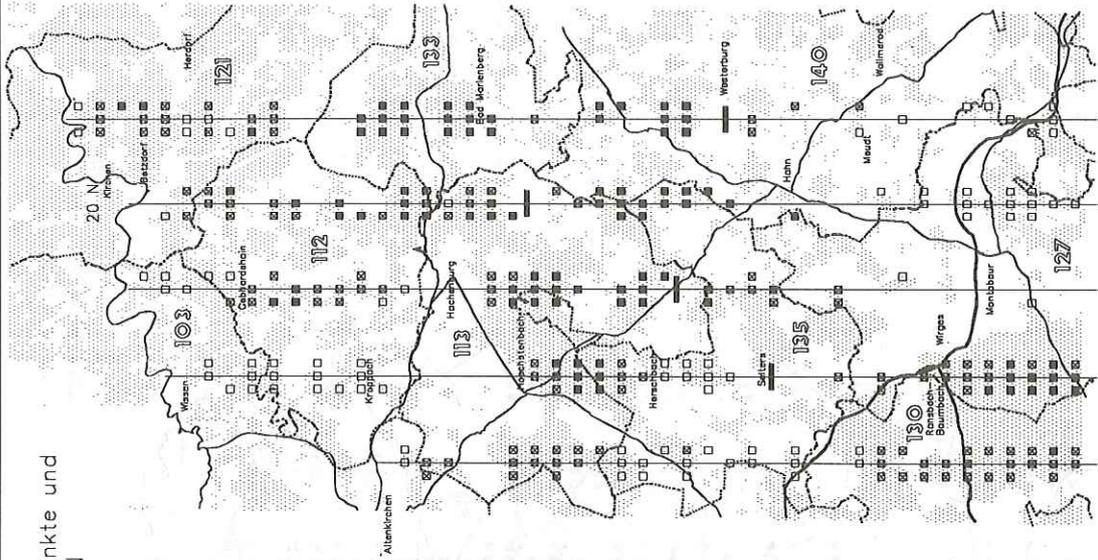
- 103 Altkirchhain
- 112 Hachenburg-Nord
- 113 Hachenburg-Süd
- 127 Monstabaur
- 130 Neuhäsel
- 133 Sellera
- 140 Weimrodt



Koblenz

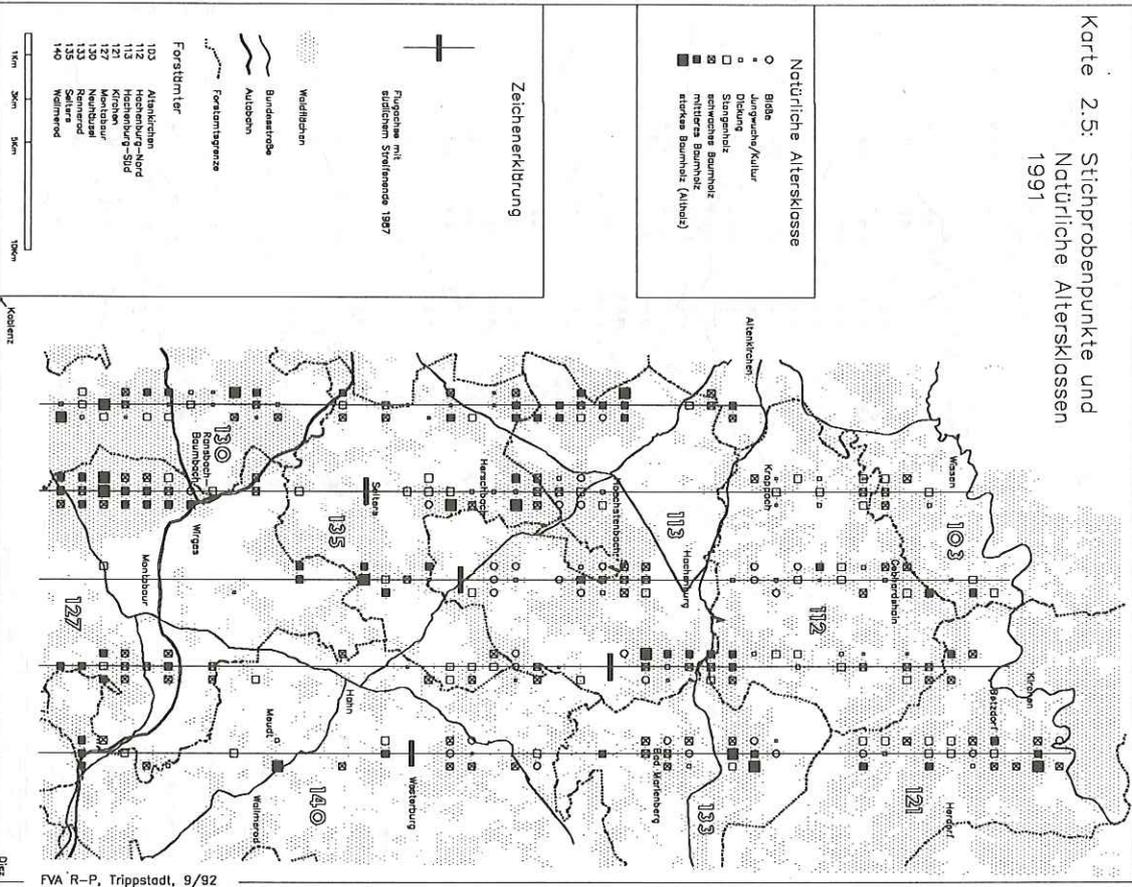
Dat:

FVA R-P, Trippstadt, 9/92



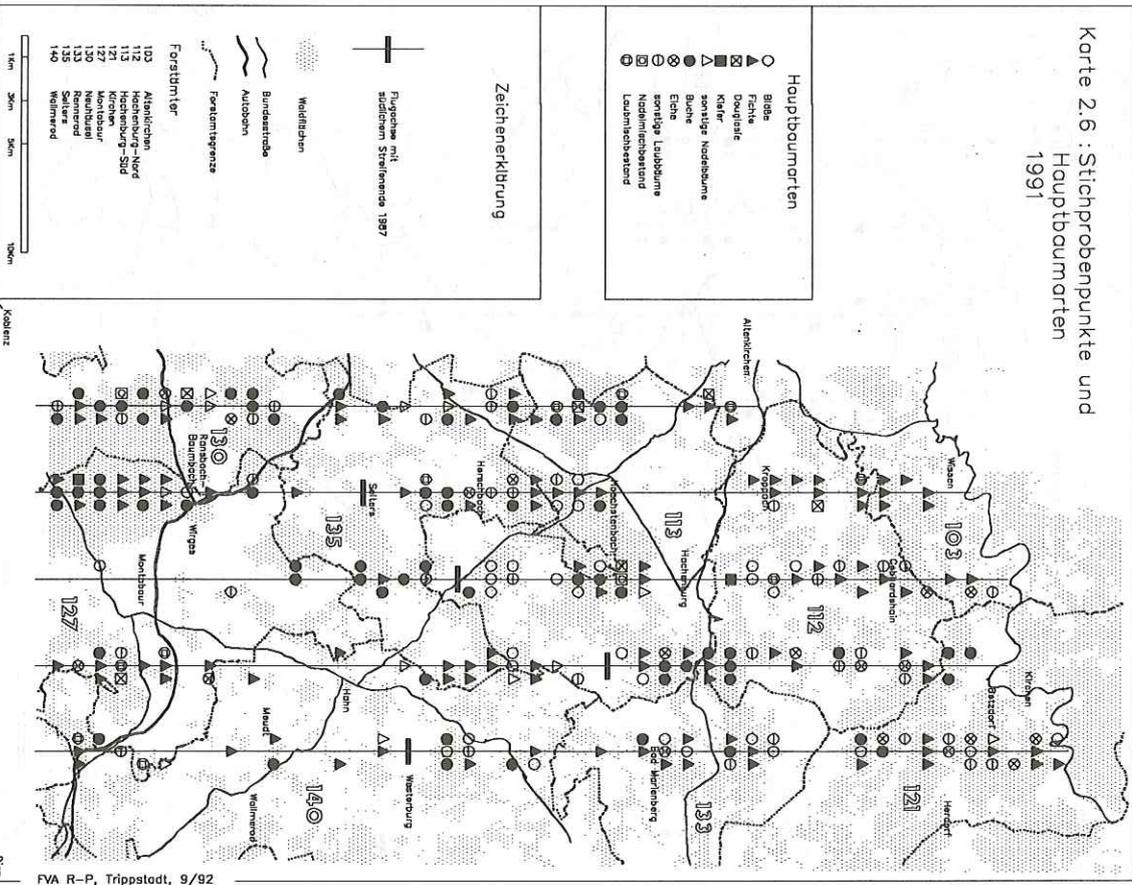
## Luftbild – Waldzustandserhebung im Westerwald

Karte 2.5: Stichprobenpunkte und  
Natürliche Altersklassen  
1991



## Luftbild – Waldzustandserhebung im Westerwald

Karte 2.6 : Stichprobenpunkte und  
Hauptbaumarten  
1991



## 2.8 Abschließende Wertung des Verfahrens

### 2.8.1 Technische Realisierbarkeit der gesteckten Ziele

Nachdem das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung mit vereinfachten permanenten Stichproben vollständig vorgestellt ist, soll als Abschluß des ersten Hauptteils dieser Arbeit eine kritische Wertung des Verfahrens erfolgen. Dies ist erforderlich, um die Praxisreife eines neuen Verfahrens abschätzen zu können, die sich aus der technischen Realisierbarkeit der gesteckten Ziele und dem Anteil weiterhin ungelöster Probleme ergibt.

Eines der Ziele dieser Arbeit ist es gewesen, ein Verfahren zu entwickeln, das nicht nur wissenschaftlich und methodisch innovativ ist, sondern vor allem technisch und arbeitsorganisatorisch leicht realisierbare Lösungswege aufzeigt. Von den Inventurergebnissen wird jedoch weiterhin angemessene Qualität hinsichtlich ihrer Reproduzierbarkeit und Treffsicherheit verlangt (Kap. 1.3).

Diese Zielsetzung ist hauptsächlich mit Hilfe von drei Rationalisierungsschritten, 1. Steigerung der Übersichtlichkeit des Stichprobendesigns und Reduzierung der Anzahl zu übertragender Punkte, 2. Vereinfachung des technischen Verfahrens zur Restitution der ursprünglichen Stichprobenmittelpunkte und 3. kostengünstige Arbeitsteilung durch funktionale und zeitliche Trennung von Punktübertragung und Luftbildinterpretation verwirklicht worden. Weitere wesentliche Komponenten dieses neuen Verfahrens sind die einfache Dokumentation der permanenten Stichprobenpunkte sowie die Berücksichtigung nicht einzelbaumweise interpretierbarer Jungbestände mit Hilfe einer Hilfstafel regional "normaler" Schadstufenverteilungen.

Die beiden vorgeschlagenen Techniken zur Übertragung der Stichprobenmittelpunkte in die Luftbilder eines Folgebildfluges sind grundsätzlich für eine erfolgreiche Restitution der Stichprobenpunkte geeignet.

Die Punktübertragung mit Methoden der analytischen Photogrammetrie erlaubt regelmäßig die Rekonstruktion aller Stichprobenbäume der Erstinventur im Folgebildflug. Dieses gute Ergebnis ist jedoch mit erheblichem photogrammetrischem Aufwand verbunden. Vor allem die Beschaffung der zur absoluten Modellorientierung erforderlichen Paßpunkte in ausreichender Anzahl hat in Waldgebieten erwartungsgemäß einige Probleme bereitet. Die Dichte des landesweit geschlossenen Netzes topographischer Dauerpaßpunkte der rheinland-pfälzischen Landesvermessung reicht für eine Aerotriangulation in Luftbildern eines großmaßstäbigen Streifenbildfluges noch nicht aus. Hier

sind in jedem Falle zusätzliche Verdichtungs- und Höhenpaßpunkte zu bestimmen. Die Arbeit mit den Dauerpaßpunkten (vgl. Kap. 2.3.1.1) ist allerdings sehr rationell und unkompliziert.

Die Ausgleichsrechnung im Rahmen der Aerotriangulation hat zu mittleren Restfehlern in einer Größenordnung von etwa 0,5 Metern in der Lage und 1,5 Metern in der Höhe geführt. Diese rechnerische Lagegenauigkeit ist zur Restitution der ursprünglichen Stichprobenmittelpunkte völlig ausreichend. Die visuelle Überprüfung der Lagegenauigkeit anhand der relativen Lage zu eindeutig identifizierbaren Nachbarobjekten hat jedoch gezeigt, daß die Lagefehler tatsächlich im Mittel in einer Größenordnung von 2 bis 3 Metern liegen. Trotzdem hat auch sie die grundsätzliche Operationalität der vereinfachten photogrammetrischen Punktübertragung bestätigt. Eine Steigerung der erzielbaren Lagegenauigkeit wäre künftig über eine weitere Verdichtung des Dauerpaßpunktnetzes mit trigonometrisch hochwertigen Vollpaßpunkten sowie eventuell durch eine noch höhere Sorgfalt bei der photogrammetrischen Messung von Übertragungspunkten oder bei der Digitalisierung von Paßpunkten zu erreichen. Beides steigert den Arbeitsaufwand jedoch erheblich.

Aufgrund der unter ökonomischen Gesichtspunkten zu fordernden Trennung von Photogrammetrie und Interpretation ist die Ausgabe der Stichprobenpunkte auf Deckfolien zu den Luftbildern des Folgebildfluges erforderlich. Dies hat sich ebenfalls als technisch realisierbar erwiesen. Die optische Visualisierung der Stichprobenpunkte mit schwarzen Punkten stößt über dunklen Beständen allerdings gelegentlich auf Grenzen bei der Interpretation.

Bei der **Punktübertragung mit optisch-mechanischen Methoden** ist die Qualität der optischen Visualisierung geradezu bestechend. Die durch Entfernung der Filmemulsion ohne Beschädigung der Trägerschicht entstandenen randscharfen Punkte wählbarer Größe lassen das Licht des Leuchttisches durchscheinen und sind auf den dichten CIR-Diapositiven daher sehr gut zu erkennen.

Da bei der Übertragung eines Stichprobenpunktes mit Hilfe eines Punktübertragungsgerätes nur ein Arbeitsgang erforderlich ist, liegen die übertragenen Punkte bei Einsatz dieses Verfahrens sehr schnell vor. Bei der Erzeugung des Stereoeffektes aus zwei Bildern, die in einem zeitlichen Abstand von vier oder fünf Jahren mit gleicher Fluglinien-disposition aufgenommen wurden, können jedoch Probleme auftreten. Dies ist der Fall, wenn sich Waldbestände in dieser Zeit aufgrund von Höhenzuwachs, Bestandesdifferenzierung oder Eingriffen in den Bestand erheblich verändert haben oder wenn einzelne Bilder beider Bildflüge zufällig fast hundertprozentige Längsüberdeckung aufweisen.

Diese Schwierigkeiten führen zwar zu einer Verzögerung des Arbeitsfortschritts, haben sich im Rahmen der hier beschriebenen Tests - entgegen vorheriger Warnungen - jedoch immer meistern lassen (vgl. Kap. 2.3.2.2).

Die Lagegenauigkeit der optisch-mechanisch übertragenen Punkte ist überwiegend gut bis sehr gut. Ein visueller Vergleich der Übertragungsgenauigkeiten photogrammetrischer und optisch-mechanischer Übertragung von Stichprobenpunkten zeigt, daß auf optisch-mechanischem Wege in der Regel relativ bessere Ergebnisse erzielt worden sind als mit der aufwendigeren Aerotriangulation.

Die Übertragung der Stichprobenpunkte mittels Punktübertragungsgeräten hat sich also sowohl bezüglich der Qualität ihrer optischen Visualisierung als auch hinsichtlich der Übertragungsgenauigkeit als technisch hervorragend realisierbar erwiesen.

Die **Dokumentation der interpretierten Stichprobenbäume** mittels eines einfachen Papierabzuges von einer Ausschnittsvergrößerung des betreffenden Stichprobenpunktes und dessen Beschriftung mit den entsprechenden Baumnummern ist eine äußerst preiswerte Alternative zu den kostspieligen Methoden der Kronendigitalisierung und Bildeinspiegelung in analytischen Auswertegeräten (z.B. "Videomap" an ZEISS-Geräten). Dieses Verfahren ist sehr leicht zu praktizieren und trotzdem absolut treffsicher. Gerade die Einfachheit dieser Methode und ihre Eignung zur Verlagerung der Interpretation an ein herkömmliches Spiegelstereoskop machen ihre Operationalität aus.

### **2.8.2 Praxisrelevanz und Kosten des Verfahrens**

Ob eine neue Methode Chancen besitzt, tatsächlich in die Inventurpraxis eines Landes eingeführt zu werden, hängt schließlich von der Beurteilung ihrer Praxisrelevanz und dem Ergebnis einer ökonomischen Bewertung des Verfahrens ab.

Analog zu den terrestrischen Waldzustandserhebungen können großräumige Luftbild-Waldzustandserhebungen jetzt ebenfalls mit permanenten Stichprobenkollektiven arbeiten. Unter der Voraussetzung, daß eine gebietspezifische Hilfstafel "normaler" Schadstufenverteilungen vorliegt oder berechnet wird, können auch Jungbestände, in denen eine einzelbaumweise Luftbildinterpretation maßstabsbedingt nicht möglich ist, berücksichtigt und mit möglichst realistischen Ersatzdaten in die Datenbasis der Luftbild-Waldzustandserhebung eingebracht werden. Bei der Bildinterpretation sind schließlich dank der neuen, allgemeingültigen Interpretationsschlüssel sowie ihrer abgestimmten und kontrollierten Anwendung auch annähernd dieselben Schadensmerkmale und mit

vergleichbarer Genauigkeit wie bei terrestrischen Erhebungen feststellbar. Damit ist die Luftbild-Waldzustandserhebung der terrestrischen Methode in allen die Durchführung betreffenden Belangen vollständig gleichwertig.

Als "Nachteile" verbleiben das Risiko, in der relativ kurzen Frist im Juli/August aus Witterungsgründen eventuell keinen Bildflug durchführen zu können, und ihre organisatorisch und technisch bedingte geringere Aktualität. Diese Nachteile verlieren jedoch an Bedeutung, wenn terrestrische und luftbildgestützte Waldzustandserhebungen nicht als konkurrierende Methoden, sondern als Bausteine eines gemeinsamen Inventursystems verstanden und arbeitsteilig eingesetzt werden. Daher wird ein Gesamtsystem vorgeschlagen (vgl. Kap. 4.2), in dem es Aufgabe der terrestrischen Waldzustandserhebung ist, einen aktuellen landesweiten Überblick bis zur Ebene der Wuchsgebiete zu liefern, während die Luftbild-Waldzustandserhebung tiefergehende Detailauswertungen innerhalb der Wuchsgebiete liefern soll. Darüberhinaus ist die terrestrische Erhebung unverzichtbar, um die beschriebene Extrapolation auf nicht bonitierbare Jungbestände vornehmen und periodisch aktualisieren zu können.

Die Gesamtkosten einer Luftbild-Waldzustandserhebung setzen sich zusammen aus den Bildflugkosten zur Herstellung der Luftbilder, den Kosten der Punktübertragung, denjenigen zur Dokumentation der permanenten Stichprobenbäume und den Interpretationskosten sowie hier nicht näher betrachteten Kosten für Projektleitung, Organisation, Datenverarbeitung, Berichterstattung und Verwaltung.

Die Kosten eines Streifenbildfluges im Bildmaßstab 1:5.000 liegen bei einem Auftragsvolumen von 200 bis 300 Streifenkilometern in einer Größenordnung von etwa 150 DM/Flugkilometer. Bei einer durchschnittlichen Stichprobendichte von 2 Punkten/km belastet dies die kalkulatorischen Kosten pro Stichprobenpunkt (Tab. 2.13) mit etwa 75,-- DM.

Die Punktübertragung ist bei photogrammetrischer Punktübertragung der größte Kostenfaktor. Bei einem erstmaligen Einsatz dieses Verfahrens, wie im vorliegenden Projekt, setzen sie sich zusammen aus den Teilpositionen Beschaffung von Dauerpaßpunkten, Kartenunterlagen und Kontaktkopien, der koordinativen Punkterfassung am analytischen Auswertegerät, Aerotriangulation und Blockausgleichsrechnung, der Punktübertragung in die Folgebilder und der Anfertigung der transparenten Deckfolien zu den neuen Luftbildern. Die daraus resultierende Gesamtsumme von etwa 290,-- DM/Punkt gilt für eine erste Folgeinventur. Bei der nächsten Folgeinventur entfallen die Kosten der Beschaffung von Dauerpaßpunkten und die koordinative Erfassung der Punkte. Es sind jedoch neue Verknüpfungspunkte und eventuell weitere Höhenpaßpunkte zu erfassen.

sen und damit eine neue Ausgleichsberechnung vorzunehmen. Die Kosten der photogrammetrischen Punktübertragung werden dann (in den Teilpositionen 2.1 und 2.2 [Tab. 2.13]) um etwa 150,-- DM geringer ausfallen und sich damit insgesamt etwa halbieren. Selbst im Vergleich damit ist die optisch-mechanische Punktübertragung noch

**Tab. 2.13: Kosten einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung bei photogrammetrischer oder optisch-mechanischer Punktübertragung [DM/Stichprobenpunkt]**

Position	Kalkulatorische Kosten pro Stichprobenpunkt [DM]	
	bei photogrammetrischer Punktübertragung	bei optisch-mechanischer Punktübertragung
<b>1. Luftbilder</b> (bei 150.- DM/Flug-km und 2 Punkten/km)	75.-	75.-
<b>2. Punktübertragung</b>		
2.1 Beschaffung von Paßpunkten, Karten und Kontaktkopien	20.-	-
2.2 Koordinative Punkt- erfassung u. Aero- triangulation einschl. Blockaus- gleichsrechnung	200.-	-
2.3 Punktübertragung in die Folgeluftbilder	40.-	60.-
2.4 Transparentfolie anfertigen	30.-	-
	} > 290.- (140.-) <sup>1)</sup>	
<b>3. Dokumentation</b> der Stichprobenbäume (Fotomaterial, Hüllen Arbeitszeit)	5.-	5.-
<b>4. Interpretation</b> einschl. Abstimmung, Kontrolle etc.	35.-	35.-
<b>Summa</b>	405.- (255.-) <sup>1)</sup>	175.-

1) Reduzierte Kosten einer Wiederholung ohne erneute koordinative Erfassung der Paßpunkte und Stichprobenpunkte

wesentlich preiswerter (ca. 60,-- DM/Punkt), da bei ihr nur ein Arbeitsgang am Punktübertragungsgerät erforderlich ist, der ohne nennenswerte Vor- oder Nacharbeiten sofort zu der gewünschten Markierung führt.

Die ökonomische Bewertung der beiden Alternativen zur Punktübertragung fällt also eindeutig zu Gunsten der optisch-mechanischen Übertragung aus. Da sie der photogrammetrischen Methode hinsichtlich der Übertragungsgenauigkeit gleichwertig und bei der Qualität der optischen Visualisierung sogar überlegen ist, wird sie immer dann vorzuziehen sein, wenn der Bildflug ausschließlich für eine großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung genutzt wird. Sollten auf den Flugstreifen eines Untersuchungsgebietes jedoch zufällig weitere Objekte anderer Nutzer liegen, die sich anstelle eigener photogrammetrischer Arbeiten an den Kosten dieser Aerotriangulationen beteiligen, dann kann eine multifunktionale Nutzung der Aerotriangulationsdaten die photogrammetrische Bearbeitung der Flugstreifen als insgesamt kostengünstiger erscheinen lassen.

Die Kosten zur Dokumentation der permanenten Stichprobenbäume sowie der Luftbildinterpretation sind in beiden Varianten wieder gleich, wobei die Dokumentationskosten nicht nennenswert ins Gewicht fallen.

Insgesamt liegen die kalkulatorischen Kosten einer Luftbild-Waldzustandserhebung mit dem hier vorgestellten Stichprobendesign bei optisch-mechanischer Punktübertragung in einer Größenordnung von etwa 175,-- DM/Stichprobenpunkt, bei erstmaliger photogrammetrischer Bearbeitung knapp über 400,-- DM/Punkt und bei deren Wiederholung über 250,-- DM/Stichprobenpunkt. Im Vergleich dazu liegen die kalkulatorischen Kosten einer terrestrischen Waldzustandserhebung bei Einsatz eines Zwei-Mann-Teams mit Arbeitszeitkosten von 50,-- DM pro Mann und Stunde und einer Leistung von durchschnittlich vier Aufnahmepunkten/Tag in einer Größenordnung von etwa 200,-- DM plus durchschnittlich 60,-- DM Reisekosten pro Aufnahmepunkt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit sind auch darin nur die Kosten der reinen Datenaquisition, ohne Projektleitung, Verwaltung oder Berichterstattung enthalten.

Die in dieser Arbeit entwickelten Verbesserungs- und Rationalisierungsmaßnahmen des Stichprobendesigns, der Punktübertragung, der Dokumentation des Stichprobenkollektivs und der Luftbildinterpretation haben die großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung den terrestrischen Erhebungsverfahren sowohl methodisch als auch - je Stichprobenpunkt - ökonomisch vergleichbar gemacht. Sie ermöglicht damit, im Gegensatz zur zeitlich eingegengten, aber aktuelleren terrestrischen Erhebung, eine beliebige Erhöhung der Stichprobendichte.

### **3 BESTANDESBEZOGENE LUFTBILD-KARTIERUNG VON WALDSCHÄDEN AUF DER FORSTBETRIEBSEBENE**

#### **3.1 Flächendeckender Inventuransatz**

##### **3.1.1 Bedarf einer flächendeckenden Waldzustandserhebung**

Das im vorstehenden Kapitel beschriebene Inventurverfahren einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung basiert auf einer systematischen Rasterstichprobe, deren Stichprobendichte für bestandesbezogene Aussagen nicht ausreicht. Dies ist ein Charakteristikum aller großräumigen Stichprobeninventuren. Zur Planung und Umsetzung forstbetrieblicher Maßnahmen zur Sanierung besonders stark geschädigter Waldbestände sind Informationen für die Befundeinheit der Bestände erforderlich. Daher sind für die Ebene der Forstbetriebe bereits diverse Inventuransätze mit noch dichteren Stichprobenrastern vorgeschlagen und in entsprechenden Inventurprojekten getestet worden (z.B. HARTMANN 1984, BEUTEL 1986, MAUSER 1993a, OESTER 1991, RUNKEL u. KENNEWEG 1986, TRÄNKNER u. TROYCKE 1988, ZINDEL 1989). Sie arbeiten alle mit Einzelbaum-Stichproben aus großmaßstäbigen CIR-Luftbildern, die aufgrund ihrer Stichprobendichte meist eine Aggregation zahlreicher Probebäume eines Bestandes zulassen und damit Aussagen auf Bestandesebene ermöglichen. Wenn auch kleine Bestände ausreichend repräsentiert sein sollen, müssen diese Verfahren mit sehr dichten Stichprobenrastern arbeiten. Das macht sie äußerst arbeitsaufwendig. Bei weniger dichten Stichprobenplänen mit Rasterabständen von etwa 150 m (KUHL 1987) oder 200 m (AMMER et al. 1988, HEIDINGSFELD 1989) ist nicht mehr für jeden Bestand eine Aussage möglich, sondern nur noch für die Ebene von Distrikten oder Revierteilen und für ausgewählte Straten wie Baumartengruppen, Altersklassen oder Höhenlagen.

Herkömmliche Stichprobenverfahren für Inventuren in Wäldern sind allgemein mehr für deskriptiv statistische Auswertungen als für flächenbezogene Aussagen angelegt. Die an einem Stichprobenpunkt erhobenen Informationen gelten oft ausschließlich für die unmittelbare Umgebung des Stichprobenpunktes. Da Nachbarbestände völlig unterschiedliche Baumarten, Alter oder Standortbedingungen aufweisen können, ist eine Interpolation zwischen benachbarten Stichprobenpunkten im schlagweisen Hochwald meist nicht möglich. Eine Übertragung punktscharf gewonnener Informationen in die Fläche ist daher allenfalls bis zur nächsten Bestandesgrenze zulässig.

In Hauptschadensgebieten mit chronischen Waldschäden benötigt die forstliche Praxis aber einen flächendeckenden Überblick über die lokale Schadensverteilung in einer sehr detaillierten räumlichen Auflösung.

Diesem Bedarf nach bestandesbezogenen Schadenskarten kann bisher nur mit Hilfe eines aufwendigen Stichprobenverfahrens (MAUSER 1993) oder durch bestandesbezogene Taxation ohne entsprechende Interpretationsschlüssel nachgekommen werden (SCHERRER et al. 1990). Die technische Alternative, eine flächendeckende Schadenskartierung mit Flugzeugscanner- oder Satellitendaten vorzunehmen, gestattet selbst in "fernerkundungsgerechten" Wäldern mit großflächig gleichaltrigen Beständen einer Baumart wegen ihrer geometrischen Probleme oder geringen Auflösung nur eine Abgrenzung größerer Schadzonen (ALBERTZ et al. 1989, AMMER et al. 1989, FÖRSTER 1989, KENNEWEG et al. 1989a,b; KADRO 1990, LANDAUER et al. 1989). Daher ist es dringend erforderlich, die Lücke zwischen aufwendigen Luftbildstichproben mit bestandesbezogenem Informationsgehalt und rationellen flächigen Klassifizierungen von multispektralen Scannerdaten eingeschränkten Informationsgehalts durch ein neues Inventurverfahren zu schließen. Dabei gilt es, den hohen Informationsgehalt hochauflösender CIR-Luftbilder zu nutzen und mit einem rationellen, flächenintegrierenden Interpretationsverfahren auszuwerten (Kap. 3.3).

### **3.1.2 Bestandesbezogene Klassifizierung von Waldschäden**

Zur Charakterisierung des mittleren Schädigungsgrades ganzer Bestände sind in der Vergangenheit mehrere, unter verschiedenen Voraussetzungen entwickelte Klassifizierungsansätze veröffentlicht worden (z.B. BURK 1992a, FÖRSTER 1989, GÄRTNER 1993, KENNEWEG et al. 1984, LUX et al. 1968, MÖSSMER 1986, NEUMANN 1989, OESTER 1987, SCHMIDTKE 1987). Alle Autoren versuchen dabei die komplexe Information über die Schäden eines Bestandes in eine anschauliche Kennziffer zu komprimieren. Die Vorteile einer solchen Kennziffer sind erhöhte Aussageprägnanz, ihre kartographische Eignung, die Erweiterung des potentiellen Zielgruppenspektrums auf ansonsten ungeübte Interessenten und ihre dadurch erhöhte Öffentlichkeitswirksamkeit. Als Nachteile gelten der mit der Komprimierung einhergehende, unvermeidliche Informationsverlust und die Gefahr vermeidbarer Informationsverfälschungen. Die korrekte Interpretation der in der Kennziffer verschlüsselten Aussage setzt deshalb eine vollkommene Transparenz ihrer Konstruktion voraus (BURK 1992 a).

Derzeit sind drei Gruppen von Waldschadenskennziffern bekannt: Mittelwerte, gutachtliche Kennziffern und Anteils- oder Summenwerte. Davon besitzt die Bildung arithmetischer Mittelwerte - trotz ihrer statistischen Unzulänglichkeiten - den größten Bekanntheitsgrad und die weiteste Verbreitung.

In der Schweiz wird beispielsweise bei der Waldschadenskartierung anhand von Infrarot-Luftbildern im Maßstab 1:9.000 nach einer pauschalen Schätzung der Schadklassenverteilung bestandesbezogen der "durchschnittliche Schädigungsgrad pro Flächeneinheit" berechnet und in sogenannten Schadenintensitätskarten dargestellt (OESTER 1987, SCHERRER et al. 1990, SCHWARZENBACH et al. 1986).

Auch KENNEWEG u. LIESEBACH (1984) berechnen arithmetische Mittelwerte als "Schädigungsindices" zur Verrechnung und Darstellung der Waldschäden im Hils (Niedersachsen).

Eine ähnliche Möglichkeit der bestandesweisen Klassifizierung, hier allerdings von terrestrisch erhobenen Daten, wird in Österreich praktiziert, wo aus den Verlichtungsstufen der Probebäume durchschnittliche Verlichtungsgrade berechnet und diese in sechs Klassen unterschiedlicher "Verlichtungskategorien" dargestellt werden (NEUMANN 1989). Ebenso werden bei der Luftbildinventur im Rahmen des österreichischen Waldschaden-Beobachtungssystems aus den Verlichtungsstufen der Einzelkronen "mittlere Verlichtungsgrade (MVG)" je Probefläche berechnet und in Punktrasterkarten dargestellt (GÄRTNER 1993).

Diese Klassifizierungsansätze mittels einfacher arithmetischer Mittelwerte sind immer mit der Problematik behaftet, daß aus nicht äquidistanten, kategorial-quantitativen, d.h. ordinalen Schadstufen im streng statistischen Sinne keine arithmetischen Mittelwerte gebildet werden dürfen, es sei denn man ordnet ihnen ersatzweise Rangzahlen (scores) zu und berechnet mit einer äquidistanten Scorefunktion ein gewichtetes arithmetisches Mittel (BURK 1992 a). Dabei sollen die Gewichte entsprechend der überproportional ansteigenden Bewertung der Schadklassen gewählt werden, um der Ernsthaftigkeit der Schädigung gerecht zu werden. Dies dürfte vermutlich die wissenschaftlich adäquate Methode zur "Transformation der in den Kategorien der gewonnenen Schadvariablen enthaltenen Informationen in eine einzige Kennzahl" (BURK 1992 a, S. 44) sein. Dem selbstgesteckten Anspruch "vollkommene Transparenz der Konstruktion für den Anwender und den Leser", auch dem "ungeübten Interessenten" (BURK 1992 a, S. 41) zu vermitteln, wird diese Methode jedoch nur eingeschränkt gerecht; denn die mit der

Gewichtung verbundenen zusätzlichen Abstraktionsschritte beeinträchtigen die Anschaulichkeit der gewonnenen Kennziffer. Ähnliche Probleme hinsichtlich der vollkommenen Transparenz treten bei allen gutachtlichen Klassifizierungsansätzen auf.

Ein Mischkonzept aus Mittelwertbildung und gutachtlicher Bewertung ist bei der alten "Tharandter Großraumdiagnose" verwirklicht worden (LUX 1965, LUX u. PELZ 1968, PELZ 1966). Dort sind aus den Kronenzustandsstufen von jeweils 50 Probestämmen durch Mittelbildung zunächst "Wertziffern" berechnet und diese in Stufen oder Klassen zusammengefaßt worden. Den Stufen sind als Stufenbezeichnung sodann Rangzahlen zugewiesen worden, die weder der Kronenzustandsstufe noch der Wertziffer entsprechen. Damit sind schließlich gutachtlich Schadzonen ausgeschieden worden.

Bei dem "Bestandesschadniveau" nach SCHMIDTKE (1987) handelt es sich um eine nach forstlichen Kriterien gutachtlich abgegrenzte Bestandesschadstufenbildung, die aus der Schadstufenverteilung der einzelnen Probestämme eines Stichprobepunktes abgeleitet wird. Dieser Ansatz verzichtet auf die Bildung arithmetischer Mittel aus nicht äquidistanten Schadstufen.

Zur luftbildgestützten Schaderkennung in Fichtenwaldgebieten der ehemaligen DDR haben PELZ und DRECHSLER (1989) später eine "Schadstufenbestimmung für Teilflächen" anhand des Hauptmerkmals "Anteil stark geschädigter Bäume", also einer Summengröße, durchgeführt. Als "stark geschädigt" sind dort alle Fichten bezeichnet worden, die einen Nadelverlust von mehr als 50 % aufweisen. Der Anteil abgestorbener Bäume wird als Nebenmerkmal hinzugezogen. Obwohl die Autoren dies nicht explizit ausführen, handelt es sich hier aber vermutlich um abgestorbene und entnommene Bäume; denn der Anteil toter, noch stehender Bäume ist als Stufe 4 im Hauptmerkmal erfaßt.

Ähnlich ist MÖSSMER (1986) vorgegangen, der bei seiner Untersuchung der Verteilung von Fichtenschäden in den Bayerischen Alpen den Prozentanteil der mittel- und starkgeschädigten Fichtenkronen (Stufen 2-4) an der Gesamtzahl lebender Fichten auf den Probekreisen als Maß der Schadintensität herangezogen hat.

Auch im niedersächsischen Harz ist nach der einzelbaumweisen Luftbildinterpretation der Anteil deutlich geschädigter Bäume (Stufen 2-4), bestandesbezogen berechnet und ab einem Anteil von 50 % kartographisch dargestellt worden (UEBEL u. NAGEL 1989).

Im nördlichen Teil des gleichen Untersuchungsgebietes hat FÖRSTER (1989) zur Kartierung von Waldschäden mit Satellitenbilddaten (Thematic Mapper) "Schadenshäufigkeitsklassen" definiert, die sich ebenfalls am Anteil deutlich geschädigter Bäume innerhalb seiner Trainingsgebiete orientieren.

Der Anteil deutlicher Schäden hat sich aufgrund seiner Anschaulichkeit und hohen Aussageprägnanz ferner zur forstamtsweisen Präsentation der Ergebnisse von Luftbild-Waldzustandserhebungen bewährt (TRÄNKNER u. TROYCKE 1988) und ist durch die bundesweite Darstellung der Ergebnisse jährlicher terrestrischer Erhebungen auf Landes- oder Wuchsgebietsebene (z.B. BML 1991) auch in der Öffentlichkeit zu einer bekannten Größe geworden. Diese Kenngröße bietet sich daher auch zur bestandesbezogenen Klassifizierung der Waldschäden an. Die Interpretation soll aber nicht einzelbaumweise, sondern flächenhaft in sogenannten *Bestandesschadstufen* (Tab. 3.1) erfolgen.

**Tab. 3.1: Bestandesschadstufen (BSSt) zur flächenhaften Klassifizierung von Waldschäden**

BSSt	Anteil an Bäumen der Schadstufen 2-4 im Bestand	Bezeichnung
0	bis 30 %	nicht oder schwach geschädigte Bestände
1	30 bis 60 %	mittelstark geschädigte Bestände
2	60 bis 90 %	stark geschädigte Bestände
3	über 90 %	sehr stark geschädigte Bestände

Diese flächenhaft integrierende Schätzung des Schadensgrades ganzer Bestände faßt, ähnlich der Bildung von "Mischpixeln" bei der Auswertung von Satellitendaten, unterschiedlich gewichtete Mischinformationen aus Verlust- und Vergilbungssymptomen zusammen (Kap. 3.3). Daraus ergibt sich zwangsläufig eine leichte Unschärfe, die nur eine relativ grobe Klassifikation zuläßt. Zur Vermeidung von Pseudogenauigkeiten werden bei der Klassifizierung der Bestandesschadstufen daher auch Drittelstufen ausgewiesen, wie sie FÖRSTER (1989) zur Abgrenzung seiner "Schadenshäufigkeitsklassen" gewählt hat.

Auch waldschadensbedingte Bestandsverlichtung als fortgeschrittenes Stadium der Schädigung eines Bestandes muß in einer bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden berücksichtigt werden. Sie soll jedoch nicht in der Bestandesschadstufen-Klassifizierung untergehen, sondern als eigenständiger Parameter erhoben werden (Kap. 3.3.2).

## **3.2            U n t e r s u c h u n g s g e b i e t   u n d   B i l d m a t e r i a l**

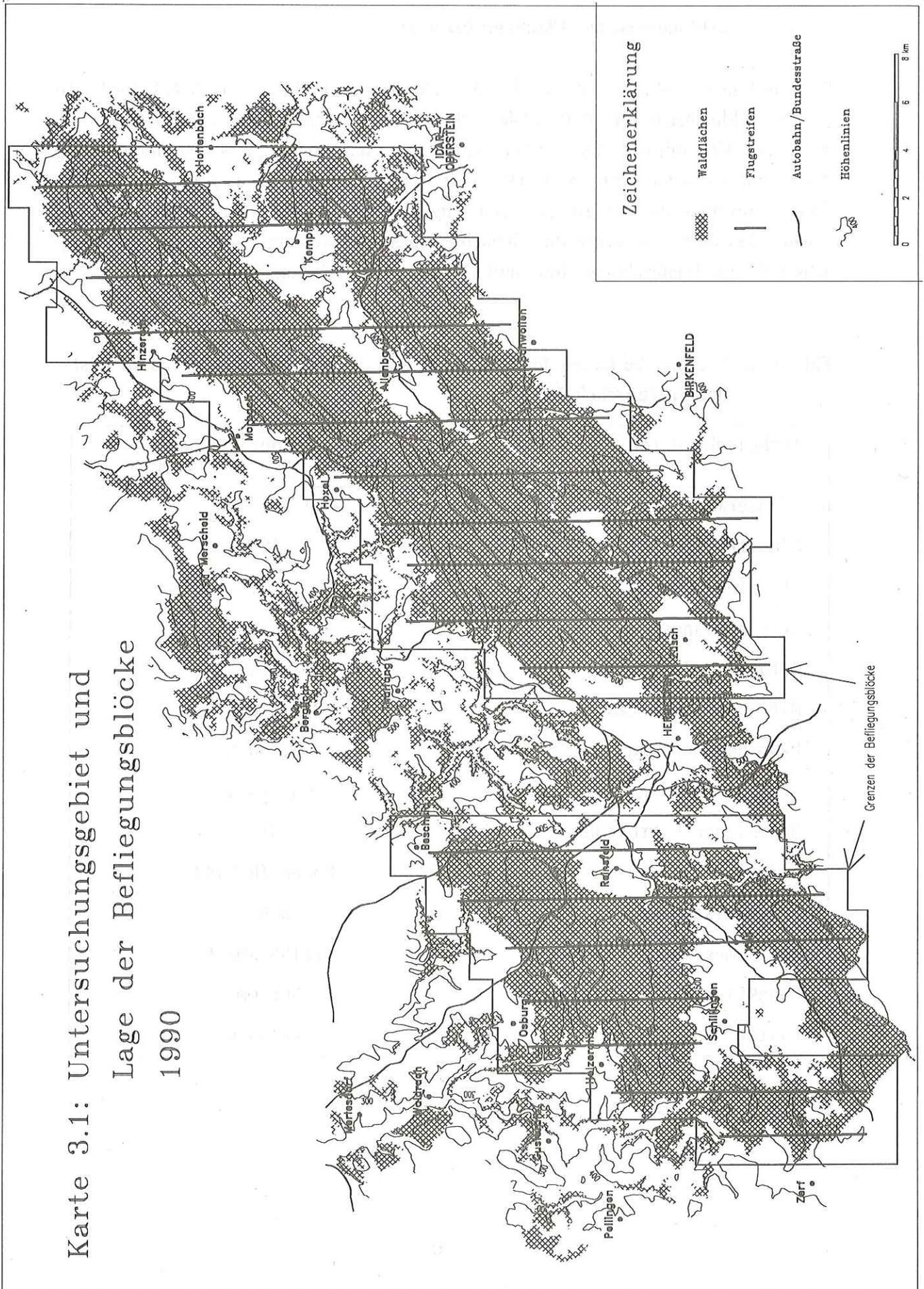
### **3.2.1        U n t e r s u c h u n g s g e b i e t   i m   w e s t l i c h e n   H u n s r ü c k**

Zur Entwicklung eines Verfahrens zur bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung flächenhafter Waldschäden auf der Ebene von Forstbetrieben ist ein Untersuchungsgebiet im *westlichen Hunsrück* ausgewiesen worden. Dieses Testgebiet erstreckt sich über den von neun Forstämtern bewirtschafteten Naturraum "*Hoch- und Idarwald*", in dem die höchsten Lagen des Hunsrücks - unter anderem auch der Erbeskopf, mit 816 m ü. NN die höchste Erhebung in Rheinland-Pfalz - zusammengefaßt sind (Karte 3.1). Die Höhenzonierung des Untersuchungsgebietes erstreckt sich zwar über eine für das Rheinische Schiefergebirge relativ weite Amplitude von unter 300 m bis über 800 m ü. NN, der überwiegende Teil der Wälder dieses Gebietes stockt jedoch in Höhenlagen zwischen 400 und 700 m ü. NN (vgl. Kap. 3.6.2 und Tab. 3.10).

Als Testgebiet für dieses Forschungsvorhaben ist der Hoch- und Idarwald besonders prädestiniert, weil er sich nach der landesweiten Auswertung der ersten Streifenbefliegungen in allen fünf Hauptwaldgebieten des Landes (Karte 2.1) als das Gebiet erwiesen hat, in dem die meisten stark geschädigten Bestände vorkommen.

Die Hauptwaldgebiete des Hoch- und Idarwaldes sind im Sommer 1990 in zwei Blöcken vollflächig, d.h. streifenweise mit Querüberdeckung, in mittlerem Maßstab beflogen worden. Der Bildflug hat die Wälder dieses Naturraumes mit über 50.000 ha beflogener Waldfläche nahezu komplett erfaßt. Lediglich die waldärmeren Bereiche im Umfeld um die Stadt Hermeskeil sowie eine kleinere Fläche südlich von Schillingen sind aus Kostengründen und zur Vereinfachung der Bildflugplanung von der Befliegung ausgespart worden.

Karte 3.1: Untersuchungsgebiet und Lage der Befliegungsblöcke  
1990



### 3.2.2 Bildmaterial des Flächenbildfluges

Der Bildflug ist mit dem Film Kodak Aerochrome Infrared 2443 (KODAK 1981 a,b) im Nennbildmaßstab 1:10 000, tatsächlich jedoch in einem mittleren Bildmaßstab von etwa 1:11 000, mit etwa 60 % Längsüberdeckung und knapp 25 % Querüberdeckung durchgeführt worden (Tab. 3.2). Diese für Flächenbildflüge etwas geringe Querüberdeckung resultiert aus der Vorgabe, den Flugstreifen einen systematischen Abstand von genau 2 km zu geben, damit die Flugachse jedes zweiten Flugstreifens mit den Flugachsen der großmaßstäbigen Streifenbildflüge im 4-km-Abstand identisch ist.

**Tab. 3.2: Technische Daten des Bildfluges und des Bildmaterials aus dem westlichen Hunsrück 1990**

Technische Daten	Flächenbefliegung Westl. Hunsrück 1990
Flugtermin	04.08.1990
Flugstreifen (N)	18
Streifenabstand	2 km
Streifenlänge	245 km
Erfasste Waldfläche	ca. 50.000 ha
Mittl. Bildmaßstab	1:11 000
Längsüberdeckung	ca. 60 %
Querüberdeckung	ca. 25 %
Anzahl der Luftbilder	251
Filmart	Kodak IR 2443
Fillemulsion Nr.	306
Aufnahmekamera	ZEISS RMK A
Objektiv (Kammerkonstante)	305 mm
Filter	ZEISS D

Dies schafft die Möglichkeit direkter Vergleiche mit dem Streifenflug 1988. Auf den 18 Flugstreifen der beiden Befliegungsblöcke sind insgesamt 251 CIR-Luftbilder aufgenommen worden, die gute Bildqualität aufweisen.

Der Bildflug ist mit einer Filmemulsion durchgeführt worden, die eine breite farbliche Differenzierung aufweist und auch hinsichtlich des speziellen Farbtons sehr gut für eine qualifizierte Luftbildinterpretation geeignet ist (VDI 1990, VORETZSCH et al. 1986).

### **3.3 Interpretation von Bestandesschäden in mittelmaßstäbigen Luftbildern**

#### **3.3.1 Interpretationsschlüssel für "Bestandesschadstufen"**

Zur Entwicklung von Interpretationsschlüsseln sind für die einzelnen Bestandesschadstufen typische Bestände innerhalb des Untersuchungsgebietes auszuwählen. Von diesen "Trainingsbeständen" müssen Materialien mit weitergehenden Informationen vorliegen, als die CIR-Luftbilder, für die die Schlüssel erstellt werden sollen. Sehr zweckmäßig ist es, wenn neben den auszuwertenden mittelmaßstäbigen Luftbildern auch CIR-Luftbilder in einem größeren Maßstab (hier ca. 1:4.000) oder eigens zur Schlüsselerstellung angefertigte, nicht metrische CIR-Mittelformatluftbilder sehr großen Maßstabs (hier ca. 1:2.500; vgl. MARTIN u. ROBL 1990) und normalfarbige Kleinbild-Schrägaufnahmen aus geringer Flughöhe verfügbar sind. Darüberhinaus sind terrestrische Aufnahmen in den betreffenden Beständen erforderlich, um die Luftbildinterpretation mit entsprechenden "Ground Truth"-Daten abzusichern. Mit diesen Materialien sind zwei Interpretationsschlüssel zur flächenhaften Taxation von "Bestandesschadstufen" in Fichten- und Buchenbeständen (mit beigemischten Eichen) entwickelt und in der Praxis erprobt worden. Spezielle Interpretationsschlüssel für Kiefern- oder Eichenbestände können in diesem Untersuchungsgebiet nicht entworfen werden, da diese Baumarten in den Wäldern der Hunsrück-Kammlagen, die fast ausschließlich aus Fichten und Buchen bestehen, nur sehr selten vorkommen. Zur Entwicklung von Bestandesschadstufen-Schlüsseln für Kiefern und Eichen sollte daher in Gebiete ausgewichen werden, in denen diese Baumarten dominieren und auch entsprechende Schäden aufweisen.

Interpretationsschlüssel zur *einzelbaumweisen* Auswertung von *großmaßstäbigen* CIR-Luftbildern berücksichtigen Gestalts- und Farbmerkmale als Hauptgliederungskriterien zur Beschreibung der luftbildsichtbaren Schadensmerkmale. Dabei wird die vorrangig zu beurteilende Gestalt der Krone durch Form, Grob- und Feinstruktur und die Farbe

durch Farbverteilung, Farbsättigung, Farbhelligkeit und den Farbton beschrieben (AFL 1988, EEC 1991, VDI 1993). So detailliert kann eine *flächenhafte* Bestandesschadstufen-Schätzung aus *mittelmaßstäbigen* CIR-Luftbildern nicht differenzieren. Sie muß viel stärker generalisieren und sich daher an besonders auffälligen und somit leicht erkennbaren Merkmalen orientieren. Trotzdem sollen bei der flächenbezogenen Schätzung des Anteils deutlich geschädigter Bäume (Stufen 2-4) je Bestand nach wie vor Nadel- oder Blattverluste, die am Einzelbaum zur Stufe 2 oder höher führen, als auch entsprechend stark ausgeprägte Chlorosen berücksichtigt werden. Die Gestaltsmerkmale reduzieren sich aber auf Form und Grobstruktur, da Merkmale der Feinstruktur in Bildmaßstäben kleiner 1:10 000 nur noch in Ausnahmefällen an großkronigen Bäumen zu erkennen sind. Farbmerkmale sind dagegen noch gut zu differenzieren. Sie bekommen in diesen Schlüsseln vorrangige Bedeutung.

Die auffälligsten Veränderungen luftbildrelevanter Auswertungskriterien, die am Einzelbaum beim Übergang von Verluststufe 1 in Verluststufe 2 auftreten, sind (Zitate aus AFL 1988, VDI 1993) deutliche Farbaufhellungen durch abnehmende Farbsättigung und zunehmende Grauanteile (bei Fichte und Buche), erste sichtbare Formveränderungen am Kronenumriß (Fichte: klar "sternförmig"; Buche: "stark ausgefranst") sowie Veränderungen der Grobstruktur (Kammfichte: "deutlich feinstrahlig"; Bürstenfichte: "undeutlich sternartig"; Buche: "deutlich aufgelockert"). Chlorosen, die zur Vergilbungsstufe 2 und damit in der Kombination von Verlust und Vergilbung auch zur Kombinationsstufe 2 führen können, äußern sich ebenfalls durch besonders auffällige Farbaufhellungen (Fichte: "großflächige Teilbereiche rosa bis weiß"; Buche: "rot-weiße Marmorierung großer Teil der Krone").

Farbliche Aufhellungen können also sowohl von mindestens mittelstarken Nadel-/Blattverlusten (Verluststufe 2) als auch von mindestens mittelstarken Chlorosen (Vergilbungsstufe 2) herrühren. Da es für die Schätzung des Gesamtanteils an Bäumen in den Stufen 2 und höher aber nicht erheblich ist, ob die einzelnen Individuen aufgrund ihrer Nadel-/Blattverluste oder ihrer Chlorosen mindestens in Stufe 2 gehören, erübrigt sich auch eine weitere Differenzierung dieser beiden Symptome in den Bestandesschadstufen-Schlüsseln. Die doppelte Bedeutung der Farbmerkmale macht sie aber zum primären Auswertungskriterium zur Schätzung der Bestandesschadstufen (Tab. 3.3 und 3.4).

Die für die Stufe 2 am Einzelbaum charakteristischen Gestaltsmerkmale der Form und Grobstruktur verursachen in der Bestandesaufsicht mit ihren "feinstrahlig-sternförmigen" oder "gefranst/rauhstrahlig-sternförmigen" Umrissen (Fichte) oder den "stark ausgefranst" Umrissen und "aufgelockerten" Grobstrukturen (Buche) sehr auffällige

Kronenmuster. Die unterschiedliche Ausprägung dieser Kronenmuster weist auch dann auf den jeweiligen Anteil deutlich geschädigter Bäume hin, wenn keine Chlorosen in dem zu bonitierenden Bestand vorkommen. Da sich die Gestaltsmerkmale der Einzelbäume in der Aufsicht auf einen ganzen Bestand zu einem charakteristischen, flächigen Muster zusammenfügen, wird hier bewußt von "Texturmerkmalen" gesprochen (Tab. 3.3 und 3.4). Dieser Begriff ist in älteren Interpretationsschlüsseln (z.B. MASUMY 1984, HARTMANN u. UEBEL 1986, TEPASSÉ 1988) häufig anstelle des Begriffs "Gestaltsmerkmale" verwendet, wegen der Bedeutung von "Textur" als "Gewebe, Faserung, räumliche Anordnung, Gefügestand" (DUDEN 1982) jedoch nicht in die neuen Interpretationsschlüssel übernommen worden. Als Hauptauswertungskriterium zur Charakterisierung des Kronenmusters eines Bestandes ist dieser Begriff aber zutreffend.

Zur leichteren Schätzung des jeweiligen Anteils farblicher Aufhellungen oder entsprechend strahliger (Fichte) oder ausgefranst-aufgelockerter (Buche) Kronenmuster sind in die Schlüssel spezielle Flächenraster zur Anteilsschätzung eingefügt, die die Stufengrenzen abstecken. Drei Beispiel-Photos von Ausschnittsvergrößerungen aus Beständen, die etwa an der betreffenden Stufengrenze zu klassifizieren sind, dienen der Veranschaulichung und als grobe Orientierungshilfe, können eine stereoskopische Betrachtung jedoch nicht ersetzen.

Bei der Arbeit mit diesen flächenbezogenen Interpretationsschlüsseln entfällt erstmalig die zeitaufwendige einzelbaumweise Taxation von Stichprobenbäumen. Der Interpret schaut sich jeden Bestand innerhalb des Untersuchungsgebietes nur noch kurz als Ganzes an, durchmustert die Bestandesoberfläche bei diesem "Quicklook" hinsichtlich der relativen Farbsättigung und schätzt den Anteil und die Verteilung grauer Kronenflächen. Nach diesem Einstieg über die Farbmerkmale überprüft er sein erstes Urteil anhand der Texturmerkmale und ihrer stufenspezifischen Kronenmuster. Dieser "geistige Scan-Vorgang" ist dank der für geübte Interpreten relativ leichten Schätzbarkeit der die Stufen 2 bis 4 am Einzelbaum repräsentierenden Farbe (Grauanteile) und Textur (Anteile stufenspezifischer Kronenmuster) sehr zügig durchführbar. Dabei ist es jedoch unerlässlich, beide Merkmalsgruppen zu beachten; denn eine nachlässige Berücksichtigung der in mittleren Bildmaßstäben noch gut erkennbaren Texturmerkmale führt unweigerlich zu Problemen bei der Treffsicherheit der Ergebnisse. Die Anwendung dieses Verfahrens in der Praxis erfordert jedoch, wie jede Schätzung, weitere arbeitstechnische und organisatorische Maßnahmen zur Nachprüfung und endgültigen Absicherung der Ergebnisse (Kap. 3.3.3 und 3.4).

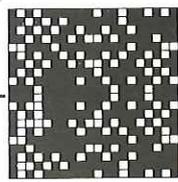
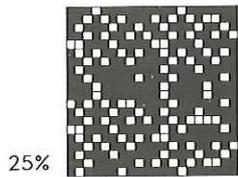
Tab. 3.3: Schlüssel zur Interpretation von Bestandesschadstufen  
 Baumart : Fichte

Bestandes- schadstufe	Farbmerkmale	Texturmerkmale
0	Bestandesoberfläche überwiegend intensiv farbgesättigt, dunkel; wenig Graunteile, wenig deutliche Aufhellungen (bis 30% der Fläche)	Kronenmuster des Bestandes aus überwiegend gewellten bis breitsternförmig gezackten Umrissen zusammengesetzt; wenig (bis 30%) gefranst-sternförmige bis feinstrahlig sternförmige Umrisse (fallen erst bei genauerem Hinsehen auf; man muß sie suchen!)
1	Bestandesoberfläche in flächigen Teilbereichen (30 bis 60% der Fläche) deutlich aufgehellt, mit abnehmender Farbsättigung und zunehmenden Graunteilen in fein- bis grobgefleckter Verteilung	Kronenmuster des Bestandes mit einem auffälligen Anteil (30 bis 60%) an feinstrahlig-sternförmigen oder gefranst-/rauhstrahlig-sternförmigen Umrissen durchsetzt (fällt bei mittlerer Vergrößerung sofort auf!)
2	Bestandesoberfläche in großflächigen Teilbereichen (60 bis 90% der Fläche) deutlich aufgehellt, mit geringer Farbsättigung und überwiegenden Graunteilen in grobgefleckter bis flächiger Verteilung	Kronenmuster des Bestandes überwiegend (60 bis 90%) aus feinstrahlig-sternförmigen oder gefranst-/rauhstrahlig-sternförmigen Umrissen zusammengesetzt (fällt bereits bei geringer Vergrößerung auf!)
3	Bestandesoberfläche fast ausschließlich (über 90% der Fläche) deutlich aufgehellt, mit geringer Farbsättigung und überwiegenden Graunteilen an der gesamten Bestandesoberfläche	Kronenmuster des Bestandes ausschließlich (über 90%) aus feinstrahlig-sternförmigen oder gefranst-/rauhstrahlig-sternförmigen Umrissen zusammengesetzt (fällt bereits beim Durchmustern der Luftbilder auf!)

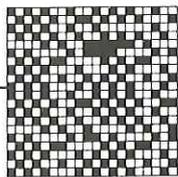
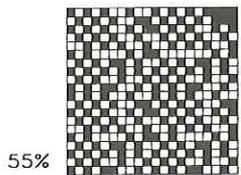
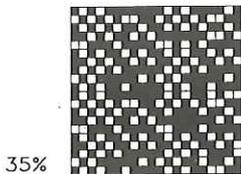
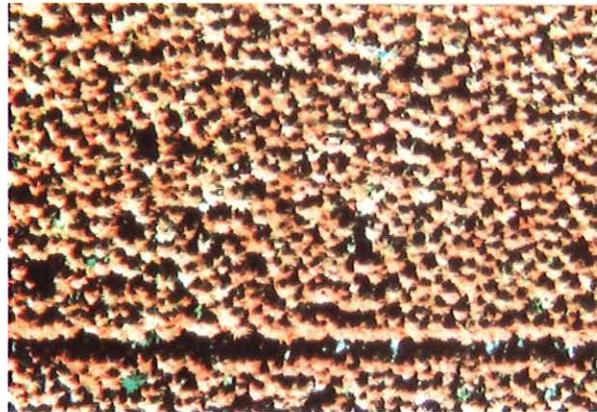
aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern (mb = ca. 1:10.000)

Flächenraster zur  
Anteilsschätzung

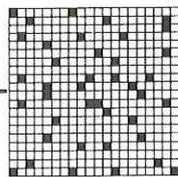
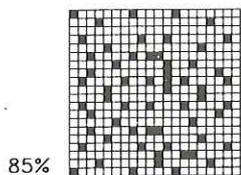
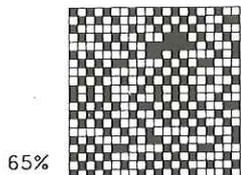
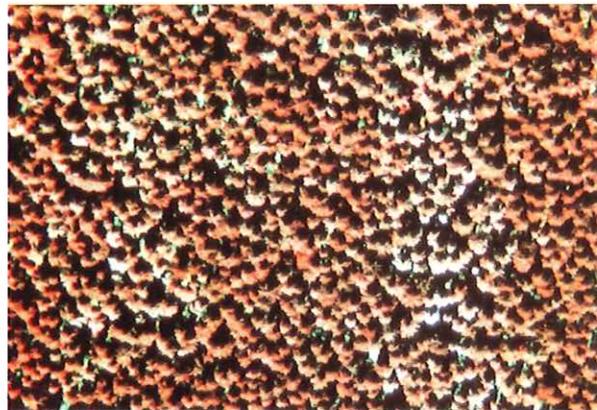
Beispiel-Photos (ca. 13-fache Vergrößerung;  
Kleinbildaufnahmen bei Zoomfaktor 4,5  
und Abzug 7\*10 cm)



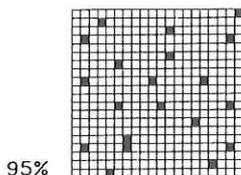
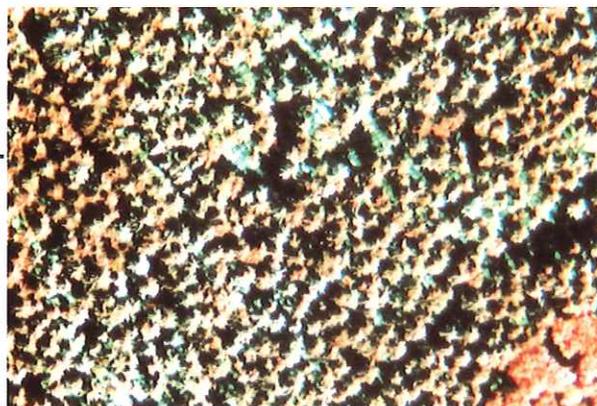
30%



60%



90%



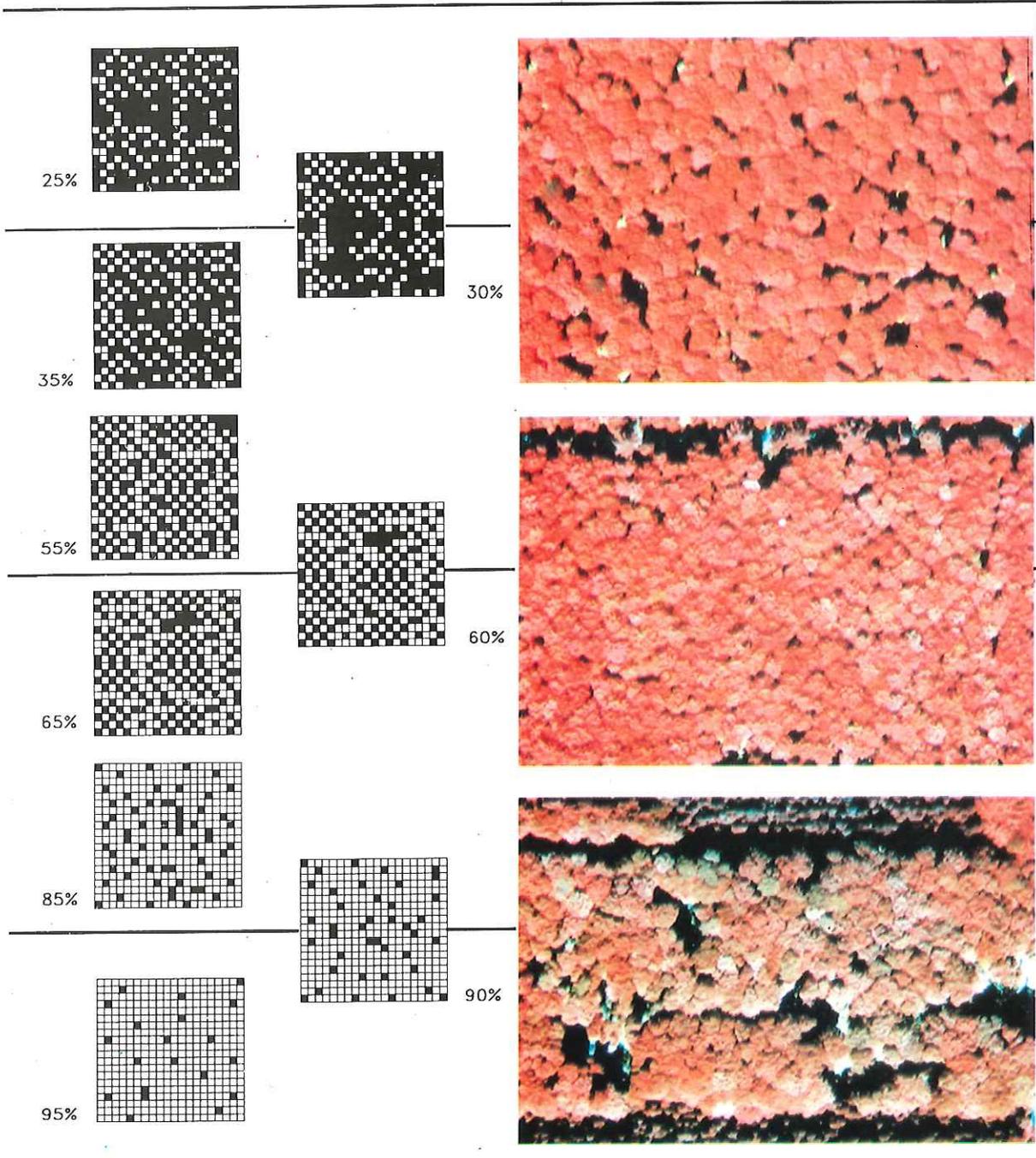
Tab. 3.4: Schlüssel zur Interpretation von Bestandesschadstufen  
 Baumart : Buche

Bestandes- schadstufe	Farbmerkmale	Texturmerkmale
0	Bestandesoberfläche überwiegend intensiv farbgesättigt, mittlere (buchentypische) Farbhelligkeit; wenig Grau- oder Weißanteile, wenig deutliche Aufhellungen (bis 30% der Fläche)	Kronenmuster des Bestandes aus überwiegend dichten Kronen mit geschlossenen, stumpf gezähnten Umrissen zusammengesetzt; wenig (bis 30%) stark ausgefranste Umrisse und aufgelockerte Grobstrukturen (fallen erst bei genauerem Hinsehen auf; man muß sie suchen!)
1	Bestandesoberfläche in flächigen Teilbereichen (30 bis 60% der Fläche) deutlich fleckig aufgehell, mit abnehmender Farbsättigung und zunehmenden Anteilen feiner grauroter bis weißroter Flecken in ungleichmäßig wechselnder Verteilung	Kronenmuster des Bestandes mit einem auffälligen Anteil (30 bis 60%) an stark ausgefransten Umrissen und aufgelockerten Grobstrukturen durchsetzt (fällt bei mittlerer Vergrößerung sofort auf!)
2	Bestandesoberfläche in großflächigen Teilbereichen (60 bis 90% der Fläche) deutlich aufgehell, mit geringer Farbsättigung und überwiegenden Anteilen grauroter bis weißroter Flecken in gleichmäßig flächiger Verteilung	Kronenmuster des Bestandes überwiegend (60 bis 90%) aus stark ausgefransten Umrissen und aufgelockerten Grobstrukturen zusammengesetzt (fällt bereits bei geringer Vergrößerung auf!)
3	Bestandesoberfläche fast ausschließlich (über 90% der Fläche) deutlich aufgehell, mit geringer Farbsättigung und überwiegenden Anteilen grauroter bis weißroter Flecken an der gesamten Bestandesoberfläche	Kronenmuster des Bestandes ausschließlich (über 90%) aus stark ausgefransten Umrissen und aufgelockerten Grobstrukturen zusammengesetzt (fällt bereits beim Durchmusteren der Luftbilder auf!)

aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern (mb = ca. 1:10.000)

Flächenraster zur  
Anteilsschätzung

Beispiel-Photos (ca. 13-fache Vergrößerung;  
Kleinbildaufnahmen bei Zoomfaktor 4,5  
und Abzug 7\*10 cm)



Die hier vorgestellte Bestandesschadstufen-Klassifizierung ist mit ihrer Kenngröße "Anteil deutlich geschädigter Bäume" bewußt auf die charakteristische, mittlere Schadenssituation der meisten Mittelgebirge ausgerichtet. Eine besondere Berücksichtigung des Anteils sehr stark geschädigter Bäume (Stufe 3) oder erhöhter Mortalität (noch stehende, abgestorbene Bäume [Stufe 4]) ist aus Gründen der praktikableren Handhabung der Schlüssel und wegen des im allgemeinen äußerst geringen Anteils dieser Schadstufen (Rheinland-Pfalz 1991: 0,8 % Stufen 3 + 4 und Bundesrepublik Deutschland 1991: 2,2 % Stufen 3 + 4 [BML 1991, HEIDINGSFELD 1991a]) nicht vorgesehen.

Diese *Bestandesschadstufen-Klassifizierung* ist aber eine *nach oben offene Skala*, die bei Bedarf jederzeit um eine Bestandesschadstufe 4 und 5 erweitert werden kann: Zur Steigerung bietet es sich beispielsweise an, den Anteil sehr stark geschädigter und abgestorbener Bäume (Stufen 3 + 4) heranzuziehen. In Analogie zu der bisherigen Klassifizierung kann so ab einem Anteil von 30 % Bäumen der Stufen 3 + 4 eine Bestandesschadstufe 4 und über 60 % Bäumen der Stufen 3 + 4 eine Bestandesschadstufe 5 ausgewiesen werden. Auch diese Kriterien lassen sich dank der äußerst auffälligen Form und Farbgebung solcher Bäume im Color-Infrarot-Luftbild flächenhaft schätzen. Im Luftbild wären die Bestandesschadstufen 4 und 5 an einer Bestandesoberfläche mit entsprechenden Anteilen graugrüner bis blaugrüner Farbe und einem aus deutlich speichenradförmigen (Fichte) oder zerklüfteten (Buche) Umrissen zusammengesetzten Kronenmuster zu erkennen. Ein diesbezüglicher Test ist im Rahmen dieser Arbeit aber nicht möglich gewesen, da so stark geschädigte Bestände im Untersuchungsgebiet nicht vorkommen.

Darüberhinaus beschreibt die hier vorgestellte Bestandesschadstufen-Klassifizierung nur den aktuellen Kronenzustand derjenigen Bestandesglieder, aus denen sich der jeweils zu bonitierende Bestand zum Zeitpunkt der Inventur/Befliegung zusammensetzt. Ein in der Vergangenheit eingetretener, überproportional hoher Anteil an Abgängen, der sich als waldschadensbedingte Bestandesverlichtung äußert und zweifellos auch ein wesentliches Charakteristikum des Bestandeszustands ist, wird in die Bestandesschadstufen-Klassifizierung nicht direkt einbezogen, sondern als eigenständiges Merkmal aufgenommen (Kap. 3.3.2).

### 3.3.2 Berücksichtigung waldschadensbedingter Bestandesverlichtung

Großräumige Waldzustandserhebungen sind immer auf den aktuellen Kronenzustand des zum Aufnahmestichtag vorhandenen Waldes ausgerichtet (DAMMANN et al. 1992). Daher werden genutzte oder aus anderen Gründen ausgefallene Probestämme im Jahr ihres Ausscheidens ein letztes Mal erfaßt und anschließend durch die dem Stichprobenmittelpunkt jeweils nächststehenden Bäume ersetzt. Dieses Vorgehen ist erforderlich, um einerseits eine aktuelle Zustandserfassung zu gewährleisten und andererseits dem dynamischen Charakter des Waldes in seiner Gesamtheit gerecht zu werden. Für den Normalfall einer regulären, nachhaltig forstlichen Bewirtschaftung stellt die Stichprobe der Inventur damit eine Momentaufnahme aus einer sich fließend verändernden, aber dennoch im Gleichgewicht befindlichen Grundgesamtheit dar. Unter der Voraussetzung chronischer Waldschäden, die Veränderungen am Einzelbaum zeigen, das Bestandesgefüge jedoch nicht beeinflussen, vermitteln Stichprobenverfahren einen objektiven Einblick in den aktuellen Schadenszustand. Dies gilt nicht mehr, wenn der Anteil der Abgänge die Ansätze regulärer Nutzungen übersteigt.

In den regional begrenzten Hauptschadensgebieten der Mittelgebirge müssen in einzelnen Beständen überproportional viele Bäume schadensbedingt entnommen werden, so daß diese Bestände zunehmend verlichten. Dies ist für eine Großrauminventur nicht sehr erheblich, da sie für derartig kleine Befundeinheiten keine Aussagen liefern soll. Für die Charakterisierung des Zustands eines Bestandes sind solche Verlichtungsercheinungen jedoch ein Zeichen weit fortgeschrittener Schäden; denn sie gefährden die Substanz des Bestandes und sind damit bereits eine Vorstufe schadensbedingter Freiflächen.

Eine bestandesbezogene Luftbild-Kartierung flächenhafter Waldschäden kann daher nicht ohne Berücksichtigung der Bestandesverlichtung erfolgen. Wegen ihrer grundlegenden forstbetrieblichen Bedeutung und zur Wahrung der interpretatorischen Transparenz soll dieses Kriterium jedoch nicht, wie früher in den Hauptschadensgebieten des Erzgebirges (LUX u. PELZ 1968, PELZ 1966, PELZ u. DRECHSLER 1989, WOLFF 1970 a,b), in die Bestandesschadstufen-Klassifizierung einbezogen, sondern als eigenständiger Parameter erhoben werden. Analog zu der getrennten Erhebung von Kronenverlichtung und Nadel-Blatt-Chlorosen am Einzelbaum und deren anschließenden Verknüpfung zu einer "Kombinationsschadstufe" (UN-ECE 1989 [terr.], AFL 1988, VDI 1993 [aerial]) kann bei Bedarf jederzeit aus der Bestandesschadstufe (BSSt, Tab. 3.3 u. 3.4) des verbliebenen Bestandes und der Bestandesverlichtungsstufe (BVS, Tab. 3.5) über eine entsprechende Matrix ebenfalls eine "kombinierte Bestandesschadstufe" gebildet werden.

**Tab. 3.5: Bestandesverlichtungsstufen (BVS) zur flächenhaften Klassifizierung von Waldschäden**

BVS	Kronenschlußgrad [Kronendichte in %]	Bezeichnung
0	> 90 %	ohne Bestandesverlichtung
1	70 bis 90 %	schwache Bestandesverlichtung
2	40 bis 70 %	mittlere Bestandesverlichtung
3	10 bis 40 %	starke Bestandesverlichtung
4	< 10 %	schadensbedingte Freifläche

Zur Klassifizierung der Bestandesverlichtung aus Luftbildern wird im allgemeinen der Kronenschlußgrad ermittelt. Er ist definiert als "der Grad der Überschildung des Bodens durch die Baumkronen" (SPEIDEL 1972, S. 236). Da sich der Kronenschlußgrad eines Bestandes im Luftbild wesentlich einfacher als im Wald ermitteln läßt (AKÇA in HUSS (Hrsg.) 1984), wird er hier nicht nach den traditionellen Kriterien "gedrängt, geschlossen, locker, licht und räumig" angegeben, sondern als Anteil der Kronenprojektionsfläche an der gesamten Bestandesfläche ("Kronendichte[%]"). Dieser Wert hat eine straffe Beziehung zum Bestockungsgrad (DENSTORF 1981, AHLBORN 1981, zit. b. AKÇA in HUSS (Hrsg.) 1984, S. 279), der aus Luftbildern nur indirekt hergeleitet werden kann (AKÇA 1981, HILDEBRANDT 1969b).

Die Ermittlung des Kronenschlußgrades soll hier aber nicht durch Punktstichproben (SCHADE 1980), durch Kronenkartierung und anschließende digitale Planimetrierung (AKÇA 1981) oder durch Luftbild-Winkelzählproben (KLIER 1969, DENSTORF 1981), sondern durch visuelle Schätzung mit Hilfe von Kronendichteskalen (MOESSNER 1947, zit. b. AKÇA et al. 1992; PRODAN 1965) erfolgen. Hierzu können die Flächenraster zur Anteilsschätzung aus Tab. 3.3 und 3.4 verwendet oder die feiner abgestufte Kronenschlußgrad-Skala aus PRODAN (1965, S. 399) herangezogen werden. Ein erfahrener Forstmann kann den Kronenschlußgrad auf diese einfache Weise mit einem mittleren Fehler von 10 bis 20 % ermitteln (AKÇA in HUSS (Hrsg.) 1984). Auch SPELLMANN (1984) ermittelt den Kronenschlußgrad auf diese Weise in 87 % der Fälle richtig. Die visuelle Schätzung kann daher für die wieder bewußt relativ grob abgestufte Klassifizierung der Bestandesverlichtungsstufen (Tab. 3.5) als ausreichend treffsicher gelten. Wie bei jeder Schätzung ist die Genauigkeit auch hier von den Vorkenntnissen des Interpreten und seiner Fähigkeit zu Analogieschlüssen abhängig (AKÇA et al. 1992). Entsprechende Erfahrung wird daher vorausgesetzt.

Ein anderes Problem bei der praktischen Durchführung dieser Taxation der Bestandesverlichtung liegt in der Differenzierung zwischen schadensbedingter, also unplanmäßiger *Verlichtung* und planmäßig waldbaulicher *Auflichtung*. Hier ist ebenfalls die waldbauliche Erfahrung eines ausgebildeten Forstmannes gefordert, von dem erwartet werden darf, daß er die regional üblichen Verjüngungsformen der verschiedenen Baumarten kennt, im Luftbild erkennt und von vorzeitiger Verlichtung unterscheiden kann.

Eine Besonderheit dieser Klassifizierung der Bestandesverlichtung ist die Bestandesverlichtungsstufe 4, mit der als Endstufe der Verlichtung alle schadensbedingten Freiflächen erfaßt werden. Sie soll eine Kartierung letaler Waldschäden, wie sie WAGNER (1989) im Hochharz aus älteren Schwarz-weiß-Luftbildern und aktuellen Color-Infrarot-Luftbildern erstellt hat, direkt in diesen Arbeitsgang integrieren.

### 3.3.3 Arbeitsablauf und Rahmenbedingungen der Kartierung

Zu Beginn der bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden muß sich der Interpret zunächst intensiv in die anzuwendenden Interpretationsschlüssel einarbeiten und mit dem auszuwertenden Luftbildmaterial vertraut machen. Analog zur einzelbaumweisen Interpretation, wo die vorhandenen Schlüssel an den speziellen Farbton der jeweiligen Filmemulsion angepaßt werden müssen, gilt es auch hier, den speziellen Farbton zu berücksichtigen. Die Adaption der eigenen Bewertungsmaßstäbe an den Farbton der vorliegenden Luftbilder und die Klassifizierungsmerkmale der anzuwendenden Interpretationsschlüssel muß der Interpret mit Hilfe der Luftbilder typischer Schlüsselbestände vollziehen. Terrestrische Fotos und die Ergebnisse terrestrischer Schadenserhebungen in diesen Beständen sowie, falls wie hier vorhanden, großmaßstäbige Luftbilder dienen dabei als zusätzliche Hilfsmittel. Zur Absicherung und "mentalen" Festigung des Interpreten sollte diese erste Phase mit einem terrestrischen Vergleich in den Schlüsselbeständen abschließen und die Interpretationsmaßstäbe bestätigen.

In der anschließenden Interpretationsphase werden alle Stereomodelle des zu bearbeitenden Untersuchungsgebietes durchmustert. Dabei werden zunächst alle Waldbestände mit deutlich erkennbarer Ausprägung der verschiedenen Bestandesschadstufen (Tab. 3.3 und 3.4) und Bestandesverlichtungsstufen (Tab. 3.5) auf der Luftbildhülle - oder einer Deckfolie - deliniert. Grenzfälle zwischen zwei Bestandesschadstufen werden in einem zweiten Arbeitsgang durch stichprobenweise Taxation von Einzelbäumen abgesichert. Danach sollte ein zweiter terrestrischer Vergleich stattfinden, bei dem anhand ausgewählter Kontrollbestände eine Verifizierung der Interpretationsergebnisse erfolgt (Kap.

3.4). Mit den dabei gewonnenen Maßstäben und zusätzlichen Erkenntnissen wird die Interpretation des gesamten Untersuchungsgebietes in einem letzten Interpretationsdurchgang auf Plausibilität geprüft und abgeschlossen.

Die räumliche Abgrenzung der Schadensflächen erfolgt ausschließlich nach interpretatorischen Gesichtspunkten des Kronenzustands *ohne* Beachtung und Kenntnis der forsteinrichtungstechnischen Bestandesabgrenzung, Waldeinteilung, Besitzverhältnisse oder ähnlichen Flächeninformationen. Die Waldortbezeichnungen der Schadensflächen stellen sich damit erst dann heraus, wenn die Schadenskartierung der Forstkarte als Overlay hinzugefügt ist (Kap. 3.5.2). Gegenüber den bisherigen Waldschadenskartierungen mit Bestandesbezug (z.B. HARTMANN 1984, SCHERRER et al. 1990), bei denen zunächst die Bestandesgrenzen aus der Forstkarte ins Luftbild übertragen und jeder Bestand dann individuell bearbeitet wurde, ist dieses Verfahren wesentlich rationeller.

Als Mindestfläche, ab der eine Bestandesschadstufe ausgewiesen wird, gilt im Hinblick auf die Darstellbarkeit im Maßstab 1:25.000 der Forstamtsübersichtskarte eine Flächenausdehnung von etwa 0,5 Hektar.

Die auf den Luftbildern delinierten Flächen werden in der dritten Arbeitsphase mittels eines Zoom-Spiegelstereoskops mit der Möglichkeit zur optisch-zeichnerischen Kartierung (hier: BAUSH & LOMB - Stereo ZOOM TRANSFER SCOPE ZT4 S [BAUSH & LOMB 1983, DOWNARD 1976]) auf eine über der topographischen Karte 1:25.000 (TK 25) liegende Deckfolie umgezeichnet. Diese Umzeichnung kann mit dem hier verwendeten Gerät - im Gegensatz zu klassischen Einbild-Umzeichnern - zwar unter stereoskopischer Betrachtung erfolgen; da es jedoch kein photogrammetrisches, mit Paßpunkten arbeitendes Stereokartiergerät ist, kann es die Fehlermöglichkeiten der Einbildauswerteverfahren nicht ausschließen. Das Original-Luftbild mit den delinierten Schadensflächen bildet einen Geländeausschnitt in *Zentralprojektion* ab. Daher enthält die Abbildung Differenzen gegenüber der gewünschten *Parallelprojektion*, in der die Kartierung erfolgen soll. Dies ist nur dann nicht der Fall, wenn die Aufnahmeachse genau senkrecht auf die aufgenommene Fläche gerichtet und außerdem diese Fläche absolut eben und ohne Baumbewuchs ist (HILDEBRANDT 1961).

Ist die Aufnahmeachse im Augenblick der Aufnahme nicht senkrecht auf die Erdoberfläche gerichtet, so treten Verzerrungen auf, die innerhalb des Bildes unterschiedliche Maßstabsverhältnisse zur Folge haben. Sie lassen sich durch altbekannte Entzerrungsverfahren beseitigen (BAUMANN 1957). Da die moderne Luftbildaufnahmetechnik aber im allgemeinen Senkrechtaufnahmen mit Nadirdistanzen von wenigen Minuten oder allenfalls 1 bis 2 Grad gewährleistet, sind diese Fehler heute zu vernachlässigen.

Höhenunterschiede im Gelände führen jedoch zu Abbildungsdifferenzen gegenüber der gewünschten Kartenabbildung, die wegen ihrer vom Bildnadir ausgehenden radialen Richtung als *radiale Punktversetzungen* bezeichnet werden. Jede Erhebung über die Kartenebene bewirkt eine Punktversetzung vom Bildnadir weg nach außen, eine Absenkung dagegen eine Versetzung des abzubildenden Punktes zum Bildnadir hin. Selbst in absolut ebenem Gelände treten durch unterschiedliche Bestandeshöhen bereits solche Punktversetzungen auf (HILDEBRANDT 1961). Sie können durch einen Entzerrungsvorgang nicht eliminiert werden.

Zur Vermeidung größerer Fehler durch relief- und bestandesbedingte Höhendifferenzen sollte das Ausmaß der radialen Punktversetzungen dadurch eingeschränkt werden, daß die Luftbilder mit einem Objektiv möglichst langer Brennweite aufgenommen, daß Luftbilder mit möglichst kleinem Aufnahmemaßstab verwendet und daß nur die zentralen Bildbereiche ausgewertet werden (HILDEBRANDT 1961).

Die erste Bedingung ist bei der Waldschadenskartierung aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern relativ leicht einzuhalten, da Color-Infrarot-Bildflüge heute - auch aus interpretatorischen Gründen - im allgemeinen mit 300-mm-Objektiven durchgeführt werden. Lediglich in Gebieten mit Flughöhenbeschränkungen kann die weniger günstige Objektivbrennweite von 150 mm erforderlich sein (VDI 1990).

Die zweite Bedingung - möglichst kleiner Bildmaßstab - ist wegen des durch Inventurzielsetzung und Bildflugplanung vorgegebenen mittleren Maßstabs nicht beliebig optimierbar. Die Bedingung darf jedoch auch als erfüllt gelten, da der hier gewählte Bildmaßstab von etwa 1:11.000 im Rahmen der von HILDEBRANDT (1961, S. 147) ausgesprochenen Empfehlung liegt: "Unter Berücksichtigung aller Gesichtspunkte dürfte je nach Hauptzweck der Bildauswertung für deutsche forstliche Verhältnisse ein Aufnahmemaßstab zwischen 1:10.000 und 1:15.000 zu empfehlen sein". Die gleichzeitig ausgesprochene Empfehlung für eine Längsüberdeckung von möglichst über 70 % und ausreichende Querüberdeckung, damit jeder Geländepunkt im zentralen Bildteil einer Aufnahme zur Abbildung kommt, ist hier (60 % Längsüberdeckung, 25 % Querüberdeckung) jedoch nicht erfüllt. Diesem Gesichtspunkt ist daher künftig bereits bei der Bildflugplanung entsprechende Beachtung zu schenken.

Die dritte Bedingung - nur aus zentralen Bildteilen zu kartieren - ist hier, im Rahmen der bei 60 % Längsüberdeckung und 25 % Querüberdeckung gegebenen Möglichkeiten, konsequent eingehalten worden. Darüberhinaus findet die Umzeichnung am Stereo ZOOM TRANSFER SCOPE im Stile einer Kartennachführung statt, bei der jeweils kleinere (zentrale) Bildausschnitte mit Hilfe markanter Punkte und Linien in den vorge-

gebenen Kartenmaßstab eingezoomt werden, bevor man die zu kartierenden Linien überträgt. "Diese "richtigen" Kontrollpunkte stellen... einen guten Anhalt für gutachtliche Korrekturen dar" (HILDEBRANDT 1961, S. 148).

Damit dürften die durch radiale Punktversetzung zwangsläufig hervorgerufenen Kartierungsfehler in ausreichendem Maße reduziert sein, zumal an eine Waldschadenskartierung weitaus geringere Genauigkeitsanforderungen zu stellen sind als an eine forstliche Betriebskarte. Waldschäden treten nicht parzellenscharf auf, sondern zeigen in größeren Bestandeskomplexen fließende Übergänge zwischen den unterschiedlichen Schädigungsgraden. Damit beinhaltet die vom Interpreten gutachtlich entschiedene Grenzziehung zwischen Flächen verschiedener Bestandesschadstufen einen Toleranzbereich, der wesentlich größer ist als die unter den hier dargelegten Bedingungen entstandenen Lagefehler durch radiale Punktversetzung. Der Einsatz aufwendigerer Verfahren, wie das der Proportionalteilung (v.LAER 1970) oder der Stereokartierung, die für nicht in der "Bildmitte" liegende Linienzüge genauere Ergebnisse liefern als die Umzeichnung, erscheint für diese Kartierungsaufgabe daher nicht erforderlich.

Trotzdem wird als Fazit dieser Überlegungen empfohlen, bei einer Wiederholung dieser Kartierung oder ähnlichen Inventuren künftig folgende Rahmenbedingungen einzuhalten: Es sollte ein interpretatorisch noch vertretbarer mittlerer Bildmaßstab von etwa 1:12.500 gewählt werden, sofern dies bei Verwendung des 300-mm-Objektivs nicht mit Flughöhenbeschränkungen kollidiert. Bei unveränderten Streifenabständen von zwei Kilometer steigt die Querüberdeckung damit auf über 30 %. Außerdem sollte mit Bildintervallen für 80 % Längsüberdeckung geflogen werden.

Jede Schadfläche wird im Zuge der Umzeichnung mit einer Nummer versehen und unter derselben Schadflächennummer in einer Datenbank ("Schadflächendatei", Tab. 3.6) erfaßt. In dieser Schadflächendatei werden alle interpretierten Attribute (z.B. Baumart, Altersklasse, Bestandesschadstufe) sowie die aus der TK 25 zu entnehmenden Parameter (z.B. Höhe ü.NN, Exposition etc.) flächenbezogen gesammelt. Die für Flächenbilanzen erforderliche Planimetrierung findet jedoch erst später automatisiert statt (Kap. 3.5.2).

Die als Deckfolie zur TK 25 entstandenen Manuskriptkarten werden schließlich an einem CAD-Arbeitsplatz als zusätzliche thematische Layer zu vorher erstellten digitalen Forstamtsübersichtskarten hinzu digitalisiert, mit Methoden der digitalen thematischen Kartographie weiterverarbeitet und in beliebigen Maßstäben ausgegeben (Kap. 3.5.2 und 3.5.3).

**Tab. 3.6: Struktur der Schadflächendatei zur bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden**

Nr.	Feldname	Feldtyp	Länge	Feldart <sup>1)</sup>	Erläuterung
1	SFN	Numerisch	8	k	Schadflächennummer
2	WBZ	Numerisch	4	k	Wuchsbezirk
3	FAN	Numerisch	3	k	Forstamt
4	WBA	Zeichen	1	k	Waldbesitzart
5	WB	Zeichen	2	k	Waldbesitzer
6	ABT	Numerisch	3	k	Abteilung
7	TFL	Numerisch	1	d	Teilfläche in der Abteilung
8	BAG	Zeichen	2	i	Baumartengruppe
9	NAK	Numerisch	1	i	natürl. Altersklasse
10	BSST	Numerisch	1	i	Bestandesschadstufe
11	BVS	Numerisch	1	i	Bestandesverlichtungsstufe
12	FHA	Numerisch	5	c	Fläche in ha
13	HLG	Numerisch	3	k	Höhenlage
14	HRT	Numerisch	1	k	Hangrichtung
15	WBK	Numerisch	1	f	Waldbesitzer klassifiziert

- 1) i: Erhebung im Rahmen der Interpretation  
k: Erhebung im Rahmen der Kartierung / Umzeichnung  
d: Erhebung im Rahmen der Digitalisierung / Flächenberechnung  
c: Ermittlung (automatisch) mit Hilfe des CAD-Programms  
f: Ermittlung im Rahmen der Vergabe der Schadflächennummer

### 3.4 Verifizierung der Interpretationsergebnisse

#### 3.4.1 "Ground truth"-Daten zur Abschätzung der Klassifizierungsgenauigkeit

Thematische Karten, die mit Methoden der Fernerkundung erstellt werden, erfordern immer Hinweise auf die Genauigkeit ihrer Angaben. Insbesondere zur Beurteilung der Güte einer flächenintegrierenden Klassifizierung ist eine Genauigkeitsabschätzung erforderlich. Sie ist z.B. bei der Auswertung digitaler Satelliten- oder Flugzeugscannerdaten der wichtigste Arbeitsschritt nach jeder Klassifizierung (FÖRSTER 1989, HILDEBRANDT et al. 1989 b, KEIL et al. 1989, KENNEWEG et al. 1989 b, KUNTZ 1988, SCHARDT 1990, WIECZOREK 1990). Die Fachliteratur bezeichnet diesen Vorgang als "Verifizierung", meint damit jedoch keine Beweisführung im streng mathematisch-statistischen Sinne (die wissenschaftstheoretisch ohnehin eher eine Falsifizierung an-

strebt), sondern im Sinne von "verifizieren" als "durch Überprüfen die Richtigkeit von etwas bestätigen; Ggs. --> falsifizieren" (DUDEN 1982). Mit derselben Bedeutung ist auch der englische Begriff "verification" (= Nachprüfung, Bestätigung) belegt.

Zur Beurteilung der Klassifizierungsgüte stehen sowohl qualitative als auch quantitative Verfahren zur Auswahl (HILDEBRANDT et al. 1989 b). *Qualitative* Verifizierungsansätze beruhen im allgemeinen auf einfachen Plausibilitätsprüfungen und dienen meist der Optimierung der Klassifizierung im Rahmen der Trainingsphase. Um ein *quantitatives* Maß zur Abschätzung der Klassifizierungsgenauigkeit zu gewinnen, müssen stichprobenweise Kontrollen in speziell ausgewählten Verifizierungsbeständen durchgeführt werden. Dabei werden sogenannte "Ground truth"-Daten erhoben, diese als "wahre" Werte definiert und die Klassifizierungsergebnisse an ihnen gemessen.

Bei der Auswertung von Flugzeugscanner- oder Satellitendaten werden häufig CIR-Luftbildinterpretationen als "Ground truth"-Daten herangezogen (z.B. FÖRSTER 1989, HILDEBRANDT et al. 1989 b, KEIL et al. 1989, WIECZOREK 1990) und diese bereits als "richtig" definiert. FÖRSTER (1989) hält terrestrische Kontrollen zwar für genauer und daher wünschenswert, aber wegen ihres großen Personalaufwands für undurchführbar. Andernorts (z.B. im Südschwarzwald [HILDEBRANDT et al. 1989 b]) sind jedoch terrestrische Geländebegehungen in Begleitung des örtlichen Forstamtsleiters durchgeführt worden, der von der Qualität der Satelliten-Klassifizierung überrascht war und sie mit seiner Beurteilung als "brauchbar und nützlich für die tägliche Arbeit" zusätzlich qualitativ bestätigt hat.

Zur Beurteilung der Klassifizierungsgenauigkeit flächenhafter Bestandesschadstufenschätzungen in mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern stehen zwei Wege der Gewinnung von "Ground truth"-Daten zur Auswahl: Erstens können in den Kontrollbeständen *terrestrische Stichproben* einzelbaumweise angesprochen werden, was in Übereinstimmung mit FÖRSTER (1989) tatsächlich als sehr aufwendig zu bezeichnen ist. Andererseits gilt dies aber als die sicherste Methode, da es nach wie vor ein Ziel ist, terrestrische Ansprachen und mit Fernerkundungsverfahren ermittelte Ergebnisse widerspruchsfrei aufeinander abzustimmen. Völlige Gleichheit kann wegen der unterschiedlichen Betrachtungsweise eo ipso nicht bestehen (TEPASSÉ 1988). Daneben können aber auch CIR-Luftbilder zu dieser Verifizierung eingesetzt werden. Da eine Methode sich aber nicht selbst bestätigen kann, sind in vorliegendem Falle *CIR-Luftbilder einer großmaßstäbigen Zusatzbefliegung* erforderlich, aus denen für eine Auswahl von Kontrollbeständen Probekreis-Stichproben einzelbaumweise interpretiert werden. Im Rahmen der mit modernen Interpretationsschlüsseln und entsprechender Luftbilderfahrung erreichbaren Übereinstimmung zwischen terrestrischer und aeraler Kronenzustandserhebung, die für

die hier interessierenden Einzelbaum-Schadstufen 2 bis 4 sehr hoch ist (HEIDINGSFELD 1986, TEPASSÉ 1988), sind damit auf wesentlich rationellerem Wege "Ground truth"-Daten zu gewinnen.

In der vorliegenden Arbeit sind beide Wege beschritten worden. Zum Vergleich mit den Ergebnissen einzelbaumweiser Interpretationen aus großmaßstäbigen CIR-Luftbildern haben aus zwei im Untersuchungsgebiet gelegenen Kurzstreifen zusätzliche Aufnahmen im Maßstab von etwa 1:4.000 zur Verfügung gestanden. Diese Kurzstreifen, die hauptsächlich zur Aufnahme und Dokumentation des Kronenzustands von ertragskundlichen Weiserflächen befliegen wurden, liegen quer über den Hunsrück-Hauptkamm und enthalten daher das gesamte Spektrum der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Bestandesschadstufen.

Als Grundlage zur Abschätzung der Klassifizierungsgenauigkeit flächenhafter Taxationen von Bestandesschadstufen aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern sind - als erster Schritt - in den 1:4.000er Luftbildern 50 Probekreise mit jeweils 20 Probebäumen ausgewählt, einzelbaumweise interpretiert und daraus für jeden Probekreis der Anteil deutlicher Schäden sowie die entsprechende Bestandesschadstufe berechnet worden. In einem zweiten Schritt sind zusätzlich 39 Kontroll-Probekreise zur terrestrischen Nachprüfung über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, terrestrisch bonitiert und ihre "wahre" Bestandesschadstufe berechnet worden. Die Kontrollprobekreise sind sowohl für die aerielle als auch zur terrestrischen Nachprüfung jeweils etwa ins Zentrum einer auf dem mittelmaßstäbigen Luftbild homogen geschädigt erscheinenden Teilfläche gelegt worden. Diese homogenen Teilflächen unterschiedlicher Größe sind die Befundeinheiten zur Abschätzung der Klassifizierungsgenauigkeit. Damit sind in die Verifizierung insgesamt 89 Kontrollflächen eingegangen, für die sowohl eine aus mittelmaßstäbigen Luftbildern flächenhaft taxierte als auch eine unabhängige, aus einzelbaumweisen Luftbildinterpretationen oder terrestrischen Bonitierungen berechnete Bestandesschadstufe vorliegt. Diese Anzahl liegt im Rahmen der Werte, die SCHARDT (1990) zur Verifizierung seiner Klassifizierungen von Satellitendaten zur Verfügung hatte (z.B. Rheinebene: 73 Bestände, Baar-Wutach: 104 Bestände). Obwohl hier, im Gegensatz zu anderen Arbeiten, nur ein Parameter (Bestandesschadstufe) mit zudem relativ wenigen Klassen (0-3) zu prüfen ist, wäre eine höhere Anzahl an Kontrollbeständen wünschenswert gewesen; denn einzelne Klassen sind, zumindest bei getrennter Betrachtung von Luftbild-Stichproben und terrestrischer Verifizierung (Tab. 3.7), nur sehr schwach besetzt. Da die Bestandesschadstufe 3 darüberhinaus im gesamten Untersuchungsgebiet - soviel sei hier vorweggenommen - nicht festgestellt worden ist, kann sie auch in der Verifizierung nicht vertreten sein.

### 3.4.2 Genauigkeitsanalyse mit Fehler-Matrizen

Zur Veranschaulichung der Klassifizierungsgenauigkeit werden die Verifizierungsergebnisse in Fehler-Matrizen ausgewiesen (Tab. 3.7 und 3.8), die die Anzahl richtig und falsch klassifizierter Beobachtungen aufzeigen. Eine Fehler-Matrix (auch Kontingenz-Tafel genannt) ergibt sich durch paarweisen Vergleich der durch flächenintegrierende Taxation erzielten Ergebnisse mit den als "wahr" definierten Vergleichswerten (hier: aus terrestrischen oder großmaßstäbigen Luftbild-Stichproben berechnete Bestandesschadstufen). Dabei geben die Werte in der hervorgehobenen Diagonalen die Anzahl der übereinstimmenden Klassifizierungsergebnisse an. Die Gesamtgenauigkeit der vorliegenden Klassifizierung wird dann berechnet, indem die Summe der korrekten Klassifizierungsergebnisse durch die Gesamtzahl der Stichproben dividiert wird (STORY and CONGALTON 1986). Bei den oberhalb der Diagonalen liegenden Werten handelt es sich um Fälle, in denen die flächenhafte Taxation die "wahren" Werte überschätzt, und unterhalb der Diagonalen um unterschätzte Klassifizierungsergebnisse.

Mit den ebenso aufgebauten Klassifizierungs-Verteilungs-Matrizen (engl. "confusion matrices"), die häufig zur Verifizierung von Computerklassifizierungen digitaler Flugzeugscanner- oder Satellitendaten verwendet werden (z.B. SCHARDT 1990), sollten diese Fehler-Matrizen nicht verwechselt werden. Konfusionsmatrizen zeigen nämlich nur das Konkurrenzverhalten der Klassen (Trainingsgebiete) einer Computerklassifizierung untereinander auf, ohne Vergleiche mit der wirklichen Situation in Kontrollgebieten anzustellen (KUNTZ 1988).

In traditionellen Genauigkeitsberechnungen mit korrekten Referenz-Stichproben ist als Fehlergröße bisher meist der Anteil nicht richtig zugewiesener Proben, also ein "Unterlassungsfehler" (engl. "error of omission") berechnet worden. Dabei wird aber oft übersehen, daß eine Fehlklassifikation nicht nur mit einem Weglassen aus der richtigen Kategorie, sondern auch mit einer Übertragung in eine andere Kategorie ("error of commission") verbunden ist. STORY und CONGALTON (1986) haben deshalb vorgeschlagen, die Zuverlässigkeit der zugrundeliegenden Absolutwerte sowohl aus der Sicht des Kartenherstellers (hier: des Luftbildinterpreten) als auch aus der Sicht des Kartenbenutzers zu beurteilen. Diese Art der Darstellung hat SCHARDT (1990) bereits erfolgreich demonstriert. Sie soll auch hier verwendet werden. Es werden jedoch nicht, wie bisher üblich, getrennte Matrizen für diese beiden Betrachtungsweisen erstellt, sondern zusätzlich zur absoluten Verteilung der Bestandesschadstufen zwei zeilen- oder spaltenweise zu lesende, relative Verteilungen (Prozentwerte) in die Fehler-Matrix eingefügt (Tab. 3.7 u. 3.8).

Aus der Sicht des *Kartenherstellers* (Interpreten) steht die Frage im Vordergrund, zu wieviel Prozent die definierten Klassen (Bestandesschadstufen) richtig zugewiesen wurden und wie hoch der Anteil der Fälle ist, in denen er die zu treffende Klasse über- oder unterschätzt hat. Das Ergebnis dieser (naheliegenderen) Frage beantwortet jedoch nicht automatisch auch die aus der Sicht des *Kartenbenutzers* interessierende Frage, zu wieviel Prozent die in der fertigen Karte in einer bestimmten Klasse (Bestandesschadstufe) ausgewiesene Flächen tatsächlich dieser Klasse oder einer höheren oder niedrigeren Klasse angehören. Aus diesen Gründen wird auch die Klassifizierungsgenauigkeit der flächenintegrierenden Taxation von Bestandesschadstufen unter Berücksichtigung beider Betrachtungsweisen beurteilt.

### 3.4.3 Resultate der Bestandesschadstufen-Verifizierung

*Aus der Sicht des Interpreten* (Tab. 3.7 u. 3.8; zeilenweise Prozentwerte in runden Klammern) werden Bestände der "wahren" Bestandesschadstufe 0 in etwa drei Viertel der Fälle (70-75 %, im Mittel 73 %) richtig erkannt. Die Fehlklassifizierungen (25-30 %) reichen maximal bis Bestandesschadstufe 1. Beim Vergleich mit terrestrisch oder aus großmaßstäbigen CIR-Luftbildern erstellten Musterlösungen besteht zwischen den Trefferquoten kein wesentlicher Unterschied (Tab. 3.7).

Die "wahre" Bestandesschadstufe 1 wird insgesamt (Tab. 3.8) zu 83 % richtig taxiert, in 12 % der Fälle eine Stufe unterschätzt und in 5 % der Kontrollen eine Stufe überschätzt. Hier ist die Trefferquote bei den Verifizierungsbeständen, für die terrestrische Musterlösungen erstellt worden sind, mit 94 % noch höher und ohne jegliche Überschätzung.

Die "wahre" Bestandesschadstufe 2 ist insgesamt in zwei Drittel der Kontrollen getroffen und in einem Drittel der Fälle unterschätzt worden. Überschätzt werden Bestände der Bestandesschadstufe 2 offensichtlich nicht. Auch hier ist die Trefferquote bei den terrestrisch vergleichsbonitierten Beständen mit 77 % höher als bei den (allerdings absolut sehr wenigen) Probekreisen, für die die Musterlösung aus den 1:4.000er Luftbildern interpretiert worden ist.

*Aus der Sicht des Kartenbenutzers* (Tab. 3.7 u. 3.8; spaltenweise Prozentwerte in eckigen Klammern) darf angenommen werden, daß 79 % (75-88 %) der als Bestandesschadstufe 0 ausgewiesenen Flächen tatsächlich dieser Klasse angehören. Etwa 21 % (12-25 %) hätten damit eine Stufe höher klassifiziert werden können. Die mit 88 %

**Tab. 3.7: Klassifizierungsgenauigkeit der flächenhaften Taxation von Bestandesschadstufen (BSSt) im Bildmaßstab (mb) 1:11.000 im Vergleich zur einzelbaumweisen Interpretation von Stichproben im Bildmaßstab (mb)1:4.000 (oben) und zur Ansprache terrestrischer Stichproben (unten)**

"wahre" BSSt. nach Luftbildin- terpretation mb=1:4.000		Bestandesschadstufen (BSSt.) nach flächenhafter Taxation im Luftbild mb = 1:11.000				
		n <sup>0</sup> (%)	n <sup>1</sup> (%)	n <sup>2</sup> (%)	n <sup>3</sup> (%)	n <sup>Σ</sup> (%)
0	n [%]	12 (75) [75]	4 (25) [14]	-	-	16 (100)
1	n [%]	4 (15) [25]	20 (77) [72]	2 (8) [33]	-	26 (100)
2	n [%]	-	4 (50) [14]	4 (50) [67]	-	8 (100)
3	n [%]	-	-	-	-	-
Σ	n [%]	16 [100]	28 [100]	6 [100]	-	50
"wahre" BSSt. terrestrisch		n <sup>0</sup> (%)	n <sup>1</sup> (%)	n <sup>2</sup> (%)	n <sup>3</sup> (%)	n <sup>Σ</sup> (%)
		n [%]	n [%]	n [%]	n [%]	n [%]
0	n [%]	7 (70) [88]	3 (30) [14]	-	-	10 (100)
1	n [%]	1 (6) [12]	15 (94) [72]	-	-	16 (100)
2	n [%]	-	3 (23) [14]	10 (77) [100]	-	13 (100)
3	n [%]	-	-	-	-	-
Σ	n [%]	8 [100]	21 [100]	10 [100]	-	39

**Tab. 3.8: Klassifizierungsgenauigkeit der flächenhaften Taxation von Bestandesschadstufen (BSSt) im Bildmaßstab (mb) 1:11.000 im Vergleich zu den aus Probekreisen großmaßstäbiger Luftbilder oder terrestrischen Stichproben berechneten "wahren" Bestandesschadstufen aller Kontrollbestände**

"wahre" BSSt. nach Luftbild mb= 1:4.000 oder terrestrisch	Bestandesschadstufen (BSSt.) nach flächenhafter Taxation im Luftbild mb = 1:11.000				
	n <sup>0</sup> (%)	n <sup>1</sup> (%)	n <sup>2</sup> (%)	n <sup>3</sup> (%)	n <sup>Σ</sup> (%)
0 n [%]	19 (73) [79]	7 (27) [14]	-	-	26 (100)
1 n [%]	5 (12) [21]	35 (83) [72]	2 (5) [12]	-	42 (100)
2 n [%]	-	7 (33) [14]	14 (67) [88]	-	21 (100)
3 n [%]	-	-	-	-	-
Σ n [%]	24 [100]	49 [100]	16 [100]	-	89

über dem Durchschnitt liegende Trefferquote in den terrestrisch bonitierten Vergleichsbeständen deutet jedoch auf eine sehr gute Klassifizierungsgenauigkeit dieser Bestandesschadstufe hin.

Die als Bestandesschadstufe 1 taxierten Flächen gehören zu 72 % tatsächlich in diese Klasse und zu jeweils 14 % eine Klasse höher oder tiefer. Diese jeweils relativ niedrigen Anteile von positiven und negativen Fehlklassifizierungen gleichen sich damit aus. Sie weisen außerdem keinen Unterschied zwischen terrestrisch oder aus Luftbildstichproben erstellten Musterlösungen auf.

Die in Bestandesschadstufe 2 klassifizierten Flächen dürfen sogar zu 88 % als richtig taxiert gelten. Im Gegensatz zur Betrachtung aus der Sicht des Interpreten, die zu dem Ergebnis kommt, Bestände der Bestandesschadstufe 2 würden offensichtlich nicht überschätzt, muß hier angenommen werden, daß 12 % der in Bestandesschadstufe 2 klassifizierte Probenflächen eigentlich der niedrigeren Bestandesschadstufe 1 angehören. Diese (relativ geringen) Zweifel werden jedoch weitgehend zerstreut durch die Tatsache, daß im Teilkollektiv der terrestrisch bonitierten Vergleichsbestände alle (100 % der) in Bestandesschadstufe 2 taxierten Flächen tatsächlich dieser Klasse angehören.

Die Gesamtgenauigkeit beträgt sowohl aus der Sicht des Interpreten als auch aus der Sicht des Kartenbenutzers 77 %; denn 68 der insgesamt 89 Probeflächen sind in die jeweils richtige Bestandesschadstufe klassifiziert worden. Dieses Ergebnis weist mit 13 % eine Bestandesschadstufe unterschätzten und 10 % eine Bestandesschadstufe zu hoch taxierten Probeflächen auf eine tendenziell vorsichtige Klassifizierung hin. Bemerkenswert ist das Gesamtergebnis im Teilkollektiv der terrestrisch bonitierten Vergleichsbestände, für das eine Gesamtgenauigkeit von 82 % bei 10 % Unter- und nur 8 % Überschätzungen erzielt wurde. Insgesamt ist ein solches Ergebnis für den Interpreten eine wertvolle Bestätigung seiner individuellen Beurteilungsmaßstäbe und für den Kartenbenutzer ein Beleg ausreichender Zuverlässigkeit und Glaubwürdigkeit der vorgelegten Kartierungsergebnisse.

### **3.5      V e r a r b e i t u n g   u n d   D a r s t e l l u n g   d e r   K a r t i e - r u n g s e r g e b n i s s e**

Thematische Karten besitzen in der Forstwirtschaft in Form von Baumarten- und Altersklassenkarten, Betriebs- oder Produktionszielkarten, Astungs- oder Kalkungskarten sowie für andere spezielle Themen eine lange Tradition. In diesen Karten wird das jeweilige Thema im allgemeinen in flächiger oder linienförmiger Colorierung über der in schwarzen Linien unterlegten Waldeinteilung dargestellt. Dabei sind sowohl Karten mit Bezug zur Waldeinteilung (z.B. Baumarten- und Altersklassenkarten) als auch Karten gebräuchlich, deren thematische Grenzlinien von Bestandes- oder Abteilungsgrenzen unabhängig sind (z.B. Standortskarten). Solche Karten sind in der Vergangenheit konventionell von Hand gezeichnet und auf photo- oder drucktechnischem Wege vervielfältigt worden. Bei einer Aktualisierung oder "Laufendhaltung" (VOSS 1970) müssen sie dann erneut manuell erstellt werden.

Heute bieten moderne EDV-Programme für computerunterstütztes Zeichnen (computer aided design = CAD) oder geographische Informationssysteme (GIS) die Möglichkeit, Zeichnungsvorlagen und Karten digital zu erfassen und später rationeller fortzuführen und zu aktualisieren. Diese Techniken haben, nach ersten Versuchen Ende der sechziger (VOSS 1970) und Anfang der siebziger Jahre (KERSTING 1975), in der jüngeren Vergangenheit auch Einzug in die Forstkarterstellung gehalten (AKÇA 1980, EHRENTREICH 1991, FORSTBACH u. WAMBSGANSS 1990, GÄBLER 1992, KREIBIG 1991, PEYKE 1992, ROTTMANN u. SCHREYER 1991, SPELLMANN 1985). Der Bestand digitaler Forstkarten ist zur Zeit jedoch noch sehr gering.

### 3.5.1 Erstellung digitaler Forstamtsübersichtskarten

Da aus dem Untersuchungsgebiet im westlichen Hunsrück noch keine digitalisierten Forstkarten vorliegen und auch von externen Dienststellen (z.B. Landesvermessungsamt) keine digitalen geometrischen Daten übernommen werden können, sind die zur Ergebnispräsentation vorgesehenen Forstamtsübersichtskarten im Maßstab 1:25.000 der neun beteiligten Forstämter parallel zur Interpretations- und Kartierungsphase (vgl. Kap. 3.3.3 und 3.3.4) digital erfaßt worden. Zur graphischen Datenerfassung wird in der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, ebenso wie in dem für das Untersuchungsgebiet regional zuständigen Forsteinrichtungsreferat, die umfangreiche und relativ bedienerfreundliche CAD-Software "AutoCAD", bisher Version 11.0 (AUTODESK 1991) eingesetzt. Damit sind die Kartengrundlagen relativ zügig und einfach zu digitalisieren (BOPP 1992). Wegen des enormen Umfangs von über 50.000 ha zu erfassender Waldfläche, ist jedoch nur ein Teil der Kartengrundlagen (zwei Forstämter) intern erfaßt und mit der Digitalisierung der übrigen Forstamtsübersichtskarten ein mit gleicher Ausstattung arbeitendes Planungsbüro beauftragt worden.

Als analoge Vorlage für die digitale Forstamtsübersichtskarte haben in erster Linie die jeweiligen Forstamtsübersichtskarten der betroffenen neun Forstämter im Maßstab 1:25.000 gedient. Darüberhinaus sind gelegentlich aus Gründen mangelnder Aktualität der Forstamtsübersichtskarten oder zur Ermittlung der Waldeinteilung außerhalb des Staatswaldes Forstbetriebskarten im Maßstab 1:10.000 zur Digitalisierung herangezogen worden. Weitere Kartenelemente mit Übersichtscharakter wie z.B. übergeordnete Straßen, Gewässer und politische Grenzen sind den entsprechenden Blättern der topographischen Karte (TK 25) zu entnehmen. Für jede ausscheidbare Informationseinheit wird eine eigene Ebene (in der CAD-Nomenklatur "Layer") angelegt. Auf diese Weise sind das Wegenetz (1 Layer) und die forstliche Waldeinteilung von den Forstamtsgrenzen bis zur Abteilungsgrenze, inclusive der Besitzverhältnisse (15 Layer) topologisch

erfaßt und um forstliche Zusatzinformationen gemäß der Symbolik der Planzeichenanweisung der Forsteinrichtungsanweisung (LFV R-P 1974; 3 Layer) und textliche Bezeichnungen und Informationen (3 Layer) ergänzt worden. Dieser Kartengrundlage sind später thematische Layer mit den Polygonen der Bestandesschadstufen, Höhenlinien, Wuchsbezirksgrenzen sowie diverse Berechnungs- und Schraffurlayer hinzugefügt worden. Damit die Einzelkarten später blattschnittfrei zusammengefügt werden können, ist als geodätisches Bezugssystem das Gauß-Krüger-Koordinatensystem gewählt worden. Das angewendete Kalibrierungsverfahren garantiert eine Positionsgenauigkeit von etwa einem Meter.

Der Zeitaufwand für die Digitalisierung der Forstamtsübersichtskarten ist primär von der zur Verfügung stehenden Hard- und Software sowie von den Fähigkeiten, der Erfahrung und der Motivation des eingesetzten Personals abhängig. Unter optimalen Bedingungen nach Ablauf einer Testphase kann ein routinierter Bearbeiter ein Forstamt von ca. 8000 ha Waldfläche mit der hier eingesetzten Technik in etwa 15 Arbeitstagen digitalisieren. Die Datei dieses Forstamts hat schließlich eine Größe von ungefähr einem Megabyte (1 MB).

### **3.5.2 Kartenergänzung und automatische Flächenberechnung**

Wenn die Forstamtsübersichtskarten als digitale Kartengrundlage vorliegen, können sie am CAD-Arbeitsplatz um zusätzliche Layer jeder beliebigen Thematik, so auch der deutlich geschädigten Waldbestände, in Form eines farbigen Overlays ergänzt werden. Dazu werden die bei der Umzeichnung der geschädigten Bestände am ZOOM-TRANSFER SCOPE als Deckfolien zur TK25 entstandenen Manuskriptkarten ebenfalls mit Gauß-Krüger-Koordinaten kalibriert, somit in ihrer Topologie eindeutig festgelegt und die delinierten Schadensflächen digitalisiert. Aus Gründen einer rationellen Plausibilitätskontrolle und Flächenermittlung werden die Polygone der zu erfassenden Schadensflächen nach Baumart (Fichte oder Buche/Eiche) und Bestandesschadstufe differenziert und in getrennten Layern abgelegt.

Mit der Digitalisierung der geschädigten Waldbestände sind die Geometriedaten vollständig erfaßt. Aufbau, Bearbeitung und Verwaltung der Sachdaten geschieht hier von den Geometriedaten getrennt in der bei der Kartierung angelegten Schadflächendatei (vgl. Kap. 3.3.3). Durch die Verwendung einer unabhängigen Datenbank (hier: dBase IV, ASHTON-TATE 1990) steht einerseits der volle Leistungsumfang einer modernen

Datenbank zur Verfügung, andererseits ist die Schadflächendatei Lieferant der raumbezogenen beschreibenden Daten bei der späteren Verknüpfung mit den Geometriedaten (vgl. Kap. 3.5.3).

Wichtigste Zielsetzung des Einsatzes digitaler Karten ist die Verwendbarkeit des digitalen Datensatzes für eine schnelle und einfache Berechnung aller forstlich relevanten Flächeneinheiten. Mit dem hier eingesetzten CAD-Programm ist für eine rationelle Flächenberechnung die Digitalisierung der Grenzlinien in geschlossenen Polygonen notwendig. Teilflächen (Schnittmengen) aus Flächeneinheiten unterschiedlicher Layer können durch Überlagerung der Grenzlinien nicht automatisch erzeugt werden. Folglich findet die Bildung der Teilfläche durch digitale Nacheditierung der Schnittmenge aus Abteilungsgrenze und deutlich geschädigtem Bestand statt. Die abteilungsbezogenen Teilflächen (hier: Schadflächen) werden automatisch berechnet und ihre Flächengröße mit der zugehörigen Flächennummer über eine parallel zu dieser Arbeit entwickelten Routine (BOPP u. VIETEN 1992) erst in eine ASCII-Datei geschrieben und anschließend der Schadflächendatei über identische Flächennummern programmgesteuert zugeführt (BOPP 1992). Alle weiteren Flächenermittlungen und -bilanzierungen können dann fragestellungsbezogen in der Sachdatenbank (Schadflächendatei) durchgeführt werden.

Im Vergleich zur herkömmlichen Planimetrierung ist die Technik der digitalen Flächenermittlung genauer, ermöglicht eine direkte digitale Verrechnung der Flächengrößen und kann zur Überprüfung der Plausibilität jederzeit schnell wiederholt werden.

### **3.5.3 Ergebnispräsentation mittels thematischer Kartographie**

Mit der Schadflächendatei, der digitalen Grundlagenkarten und der digitalisierten Deckfolien mit den deutlich geschädigten Beständen sind sowohl die Lage der deutlich geschädigten Bestände als auch die sie beschreibenden Merkmale bekannt. Somit existieren die Grundbausteine zur Verknüpfung der Geometrie- und Sachdaten. Zur Visualisierung der räumlichen Verteilung der erhobenen Merkmale (Bestandesschadstufen), werden die unterschiedlichen Datentypen in thematischen Karten zusammengeführt. Zu diesem Zweck sind parallel zu dieser Arbeit spezielle Programmmodule entwickelt und in das verwendete CAD-Programm eingebaut worden (BOPP u. VIETEN 1992). Sie bilden den eigentlichen Kern des hier eingesetzten Kartographiesystems.

Die fertigen Karten werden in Form farbig schraffierter Ergebnisplots präsentiert. Zur Ausgabe auf Papierformate von DIN A4 bis DIN A0 steht hier ein komfortabler Stift-Trommelplotter zur Verfügung. Damit können die Karten mehrfarbig, in beliebigen Ausschnitten sowie in frei wählbaren Maßstäben ausgeplottet werden. Da Stiftplotter zum Zwecke linienhafter Darstellungen entwickelt wurden und im Prinzip nicht in der Lage sind, Flächen farbig zu füllen, eignen sie sich eigentlich nur bedingt als Ausgabegerät für die Darstellung flächiger Objekte. Der dann übliche Behelf mit möglichst flächenhaft wirkenden Schraffuren führt jedoch zu ausreichender Farbdifferenzierung und optisch ansprechenden Ergebnissen. Auch für reine Schwarz-weiß-schraffuren, die eine preiswerte Reproduktion der Kartierungsergebnisse erlauben, liegen aus der Vergangenheit sehr anschauliche Muster vor (z.B. KENNEWEG 1975). AutoCAD bietet dazu eine Auswahl von über 40 Schraffuren, die nach Belieben in einer dem Ausgabemaßstab angemessenen Schraffurdichte ausgewählt werden können. Zur Kartierung der deutlichen Waldschäden sind für die Darstellung der Baumarten unterschiedliche Schraffurmuster und für die Bestandesschadstufen eine Kombination aus unterschiedlichem Größenmaßstab und verschiedenen Farben eines Schraffurmusters gewählt worden (vgl. Karte 3.2).

Eine hochwertige Qualität der Kartenplots setzt eine wohldurchdachte Einstellung des Plotters und der Layerfolge voraus. Layer, die für den Kartenplot unnötige Daten enthalten, werden ausgeschaltet. Da während eines Plotvorgangs nur mit maximal acht verschiedenen Farben oder Stiftstärken gearbeitet werden kann, ist es häufig erforderlich, mehrere Plotvorgänge hintereinander zu schalten. Aus praktischen Erwägungen ist aber auf eine sinnvolle Reihenfolge der Layerauswahl je Plotvorgang zu achten. Beispielsweise müssen die farbigen Flächenschraffuren vor den Linien der Waldeinteilung geplottet werden. Andernfalls wird die schon vorhandene schwarze Farbe der Linien beim Schraffieren der Flächen angelöst und verwischt.

Als Ergebnis entstehen colorierte Forstamtsübersichtskarten im Maßstab 1:25.000, die Einblick in die räumliche Verteilung deutlich geschädigter Waldbestände geben und örtliche oder regionale Schadensschwerpunkte, insgesamt oder bei einzelnen Baumarten, aufzeigen (Karte 3.2). Neben diesem Standardmaßstab können die Karten auch als handlichere, unveränderte Verkleinerung im Maßstab 1:50.000 (Karte 3.3) ausgegeben werden.

Da die als Einzelkarten vorliegenden digitalen Forstamtsübersichtskarten in Landeskoordinaten kalibriert sind, lassen sie sich auch blattschnittfrei zu einer kleinmaßstäbigen Karte des gesamten Untersuchungsgebietes zusammenfügen. In der resultierenden Übersichtskarte müssen die Schnittstellen der ehemaligen Kartenränder allerdings auf

Ungenauigkeiten überprüft und gegebenenfalls am Bildschirm interaktiv korrigiert werden. Da bei der Maßstabsverkleinerung keine automatische Generalisierung stattfindet, geschieht die Anpassung des Karteninhalts an die Anforderung des kleineren Maßstabs über die Layerauswahl. Dadurch reduziert sich das Datenvolumen der Karten des gesamten Untersuchungsgebietes erheblich. Symbole und Beschriftungen müssen schließlich interaktiv mit einem bestimmten Vergrößerungsfaktor an die neue Karte angepaßt werden. Die so entstandene Übersichtskarte enthält im wesentlichen nur die Waldflächen, Fernstraßen und wenige Ortschaften zur geographischen Orientierung, thematisch erforderliche Grenzen wie Forstamtsgrenzen (Karte 3.4) oder Wuchsbezirksgrenzen (Karte 3.5) und die Schraffurlayer der geschädigten Waldflächen.

### **3.6 Erprobung des Verfahrens in der Praxis**

#### **3.6.1 Kartierungsergebnisse und deren Nutzung**

Die Leistungsfähigkeit und Praxisrelevanz dieses Verfahrens zur Interpretation, Kartierung und thematischen Aufbereitung flächenhafter Waldschäden soll beispielhaft anhand von Ergebnissen der Kartierung im Untersuchungsgebiet und der dazugehörigen Flächenermittlung demonstriert werden.

Die Ergebnisse der bestandesweisen Kartierung flächenhafter Waldschäden werden aus Gründen der Zweckmäßigkeit auf der Basis der Forstamtsübersichtskarte 1:25.000 dargestellt (Karte 3.2). Ihr Maßstab bietet einen idealen Kompromiß zwischen den erforderlichen Detailinformationen der Waldeinteilung und der angestrebten räumlichen Übersicht. Um die daraus resultierenden Grenzen der Darstellbarkeit bereits bei der Umzeichnung auf die Manuskriptkarte (Kap. 3.3.2) berücksichtigen zu können, ist es naheliegend, auch dort schon der Maßstab 1:25.000 zu wählen. Das hilft Pseudogenauigkeiten durch zu kleinflächige Kartierungen zu vermeiden und unterstützt die Orientierung an der praktischen Umsetzbarkeit der Kartierungsergebnisse. Die Diskrepanz zwischen der Interpretation und Delinierung von Beständen oder homogenen Teilbeständen als Befundeinheiten und der kartographischen Darstellung auf der Forstamtsübersichtskarte, die keine Bestandesgrenzen, sondern nur Abteilungslinien enthält, verursacht keine Probleme. Auch wenn nur ein Teil einer Abteilung in der Signatur und Farbe einer Bestandesschadstufe schraffiert ist, kann der Praktiker vor Ort eindeutig erkennen, um welchen Bestand es sich dabei handelt.

Auf der Ebene der örtlichen Forstverwaltung dient die Karte im Maßstab 1:25.000 beispielsweise als Grundlage zur Planung der Bodenschutzkalkung und waldbaulicher Maßnahmen. Damit ist diese Karte in den Forstbetrieben dank ihres bekannten und praxisnahen Maßstabs als Hilfsmittel der praktischen Arbeit aufgenommen und anerkannt worden. Die kleinmaßstäbige Karte im Maßstab 1:50.000 (Karte 3.3; im Original farbig wie Karte 3.2) wird im Kontext mehrerer Forstämter und zur Öffentlichkeitsarbeit verwendet.

Die kleinstmaßstäbigen Übersichtskarten des gesamten Untersuchungsgebietes (Karte 3.4 und 3.5) dienen in Verbindung mit den entsprechenden Flächenübersichten (Tab. 3.9 u. 3.10) vor allem forstpolitischen Zwecken. Sie veranschaulichen die räumliche Verteilung der Waldschäden.

Auf der Basis dieser Karten können daher bei Bedarf auch jederzeit größere "Schadzonen" ausgewiesen werden, wie es z.B. in den Rauchschadensgebieten der ehemaligen DDR nach der Methode der "Tharandter Großraumdiagnose" (LUX u. PELZ 1968, PELZ 1966, PELZ u. DRECHSLER 1989, WOLFF 1970 a,b) üblich war. Die Forsteinrichtung sollte damit dem "Standortfaktor Rauch" bei ihrer Inventur- und Planungsarbeit Rechnung tragen (PELZ 1966) und einen gezielten Umbau mit rauchhärteren Baumarten ermöglichen (LIEBOLD u. DRECHSLER 1991). Dieser Ansatz gilt heute sowohl waldbaulich als auch ökologisch als überholt. Auch das in den meisten Mittelgebirgsregionen heute wesentlich geringere Schadensniveau läßt eine Ausweisung von Schadzonen derzeit entbehrlich erscheinen.

Als Steuerungsinstrumente zur Lenkung knapper Finanzmittel in die am stärksten betroffenen Forstämter können die Übersichtskarten aber auch direkt, ohne Ausweisung von Schadzonen benutzt werden. Die Übersichtskarte mit eingezeichneten Forstamtsgrenzen und Höhenlinien (Karte 3.4) zeigt beispielsweise, daß im Hunsrück stark geschädigte Waldbestände hauptsächlich in Höhenlagen über 600 m ü. NN vorkommen. Damit liefert diese Karte eine wichtige Informationsgrundlage für die Entscheidung, in welchen Forstämtern und Forstrevieren waldbauliche Sanierungsmaßnahmen vorrangig einzuleiten sind.

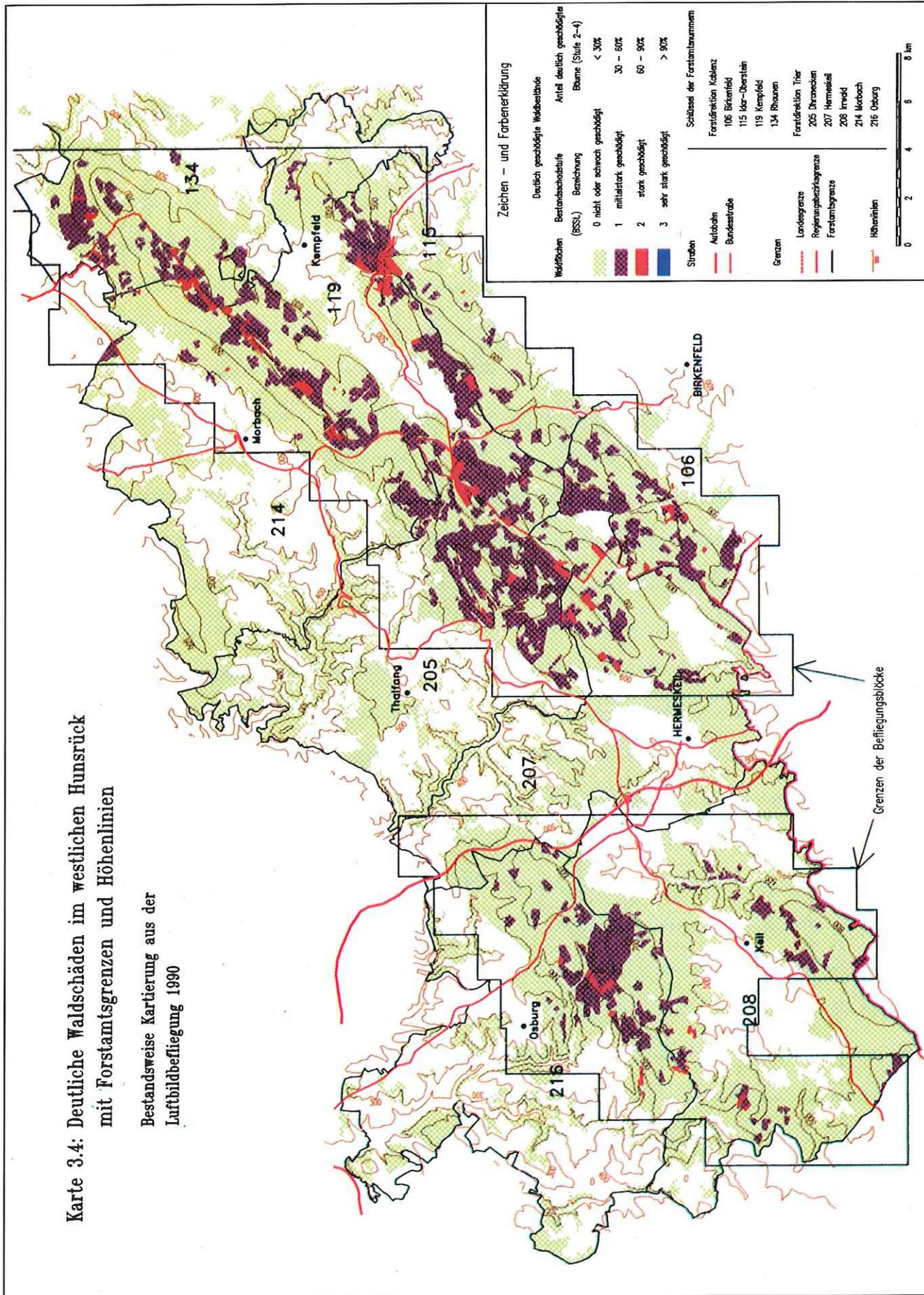
Die gleiche Karte, jedoch anstelle der Verwaltungsgrenzen und Höhenlinien mit den Grenzen der forstlichen Wuchsbezirke (LFV R-P 1978) verschnitten (Karte 3.5), verdeutlicht neben der Höhenabhängigkeit der Waldschäden auch den Bezug zur Höhe der Niederschläge.





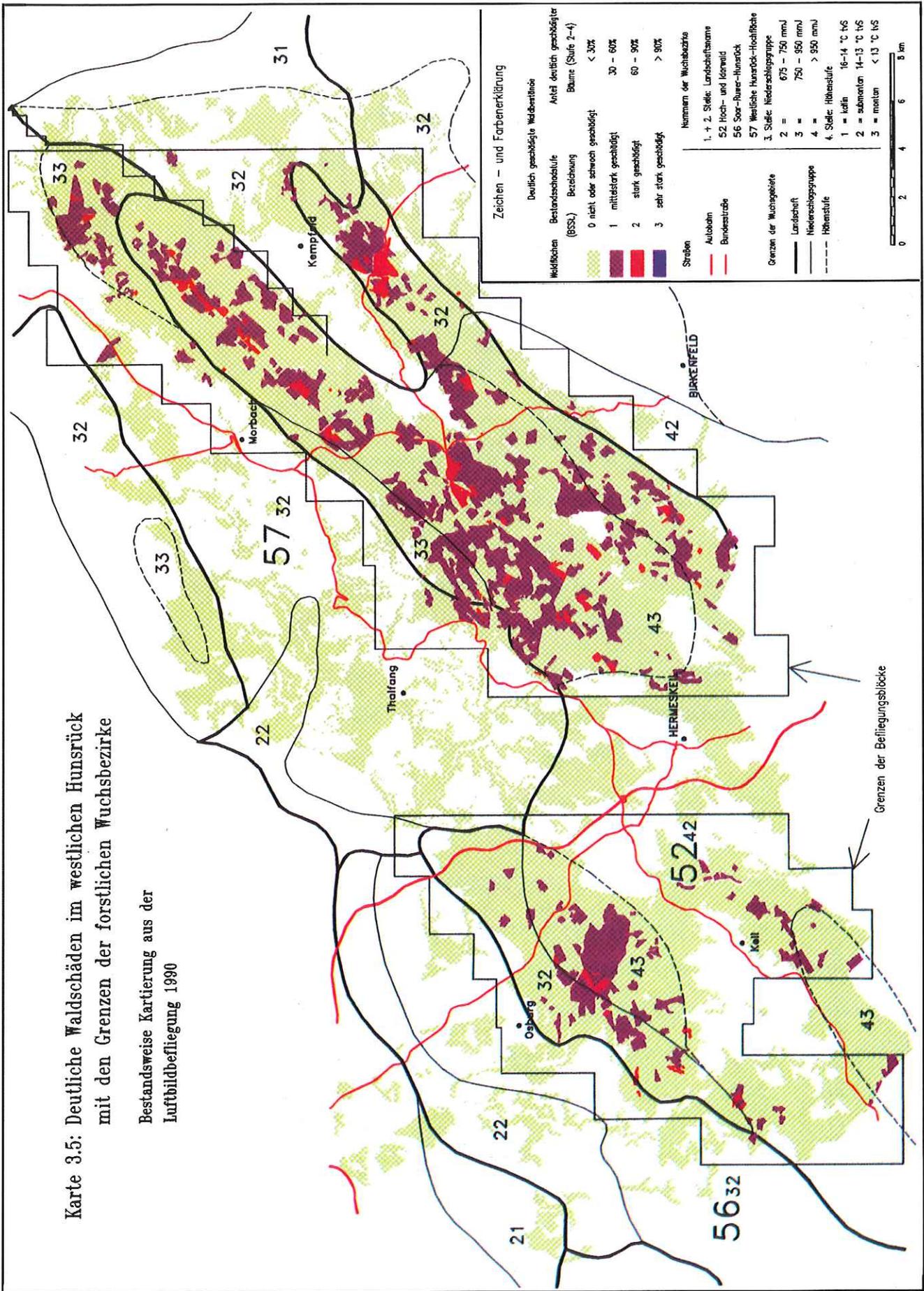
### Karte 3.4: Deutliche Waldschäden im westlichen Hunsrück mit Forstamtsgrenzen und Höhenlinien

Bestandsweise Kartierung aus der  
Luftbildbefliegung 1990



Karte 3.5: Deutliche Waldschäden im westlichen Hunsrück  
mit den Grenzen der forstlichen Wuchsbezirke

Bestandsweise Kartierung aus der  
Luftbildbefliegung 1990



Ein Wuchsbezirk ist ein Landschaftsbereich mit einem möglichst einheitlichen physiographischen Charakter, hauptsächlich abgegrenzt anhand des Großklimas, aber auch anhand der Ausgangssubstrate, Topographie oder der Vegetation (AK St-O-K 1980). In der kartographischen Darstellung kennzeichnen drei Begriffe und eine vierstellige Zahl den forstlichen Wuchsbezirk (LFV R-P 1978): Der Landschaftsname (1.+2. Stelle der Wuchsbezirksnummer; hier z.B. 52 "Hoch- und Idarwald"), die Niederschlagsgruppe (3. Stelle der gesamten Wuchsbezirksnummer [oder 1. Stelle der jeweils zweistelligen, kleiner gedruckten Nummer]) und die Höhenstufe (4. Stelle der gesamten Wuchsbezirksnummer). Die Grenzen der Niederschlagsgruppen sind ausgewählte Isohyethen der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe (mmJ; langjähriges Mittel aus der Periode 1891 bis 1930). Die Höhenstufen stellen "ökologische Wärmestufen" dar, die sich an ausgewählten Grenzen der mittleren Tagestemperatur in der Vegetationszeit bei gegebener Seehöhe (tvS-Werte; vgl. Legende Karte 3.5) orientieren (LFV R-P 1978).

Die Darstellung der räumlichen Verteilung deutlich geschädigter Waldbestände im Kontext der Wuchsbezirksgrenzen deckt die Beziehungen zwischen den klimatischen Rahmenbedingungen innerhalb eines Gebietes und dem Ausmaß der Waldschäden auf (Karte 3.5). Mittelstark oder stark geschädigte Bestände (BSSSt 1 und 2) liegen fast ausnahmslos im Bereich der Niederschlagsgruppen 3 und 4, stark geschädigte Bestände (BSSSt 2) überwiegend in der Niederschlagsgruppe 4. In diesen Gebieten kommt zum tragen, daß die örtliche Niederschlagshöhe auch die Höhe der Säure- und Schadstoffdepositionen in die betroffenen Waldgebiete maßgeblich beeinflusst (ULRICH et al. 1979, BLOCK 1990). Erhöhte Depositionsraten und Schadstofffrachten sind dann - bei gegebener Höhenlage, geringeren Nährstoffvorräten im Boden (BLOCK et al. 1991) und entsprechend höherer Sensibilität der Waldökosysteme (IUFRO 1981, WENTZEL 1981) - von wesentlicher Bedeutung für die Entstehung von Waldschäden.

Die aus diversen Stichprobeninventuren (z.B. AMMER et al. 1988, HILDEBRANDT et al. 1986, MÖSSMER 1986), luftchemischen Untersuchungen (z.B. PRINZ et al. 1982) sowie boden- und nadelanalytischen Forschungen (z.B. REHFUESS et al. 1986) bekannten, bisher aber nur deskriptiv-statistisch nachgewiesenen Zusammenhänge zwischen Schädigungsgrad und Meereshöhe können mit diesen Übersichtskarten erstmalig kartographisch belegt und visualisiert werden.

Eine Karte der Bestände mit waldschadensbedingter Bestandesverlichtung kann aus diesem Untersuchungsgebiet nicht vorgelegt werden; denn es ist insgesamt nur ein solcher Bestand festgestellt worden. Lediglich im Forstamt Dhronacken, Staatswald, Abt. 73, existiert in einem größeren mittelalten Fichtenbestand eine etwa 0,5 ha umfassende Teilfläche, die aufgrund vorzeitiger Sammelhiebe ohne waldbaulich oder forst-

schutztechnisch erklärbare Gründe, und damit definitionsgemäß "waldschadensbedingt" verlichtet ist. Diese Teilfläche wäre in Bestandesverlichtungsstufe 2 (Kronenschlußgrad 40-70 %), der gesamte Bestand jedoch noch in Bestandesverlichtungsstufe 0 (Kronenschlußgrad > 90 %) zu klassifizieren. Da alle übrigen Verlichtungserscheinungen eindeutig auf die Stürme zu Beginn des Jahres 1990 oder auf waldbauliche Verjüngungsmaßnahmen zurückzuführen sind, erübrigt sich eine entsprechende Karte.

### 3.6.2 Beispiele thematischer Flächenbilanzen

Die Flächenbilanz zeigt, daß im Untersuchungsgebiet insgesamt knapp 7.500 ha mittelstark geschädigte Bestände (Bestandesschadstufe 1) und etwa 800 ha stark geschädigte Bestände (Bestandesschadstufe 2) vorkommen (Tab. 3.9). Diese in der CAD-Anlage mit zwei Dezimalstellen genau berechneten und hier auf ganzzahlige Hektarwerte gerundeten Flächenangaben stellen zwar das exakte Ergebnis der hier durchgeführten Kartierung dar, sollten in Anbetracht der gegebenen Klassifizierungsgenauigkeit (vgl. Kap. 3.4.3) jedoch nur als *Größenordnungen* verstanden werden. Sehr stark geschädigte Bestände (d.h. über 90 % Bäume in den Stufen 2 - 4) sind im Untersuchungsgebiet nicht festgestellt worden. Die Summen der Bestandesschadstufen 1 und 2 haben Größenordnungen, die knapp 1 % bzw. 0,1 % der Landeswaldfläche von Rheinland-Pfalz ausmachen, oder zusammengefaßt etwa den Flächen eines Forstamtsbezirks bzw. eines Forstreviers entsprechen. Insgesamt entspricht dies auch etwa der absoluten Waldfläche, die im Erzgebirge in den vergangenen 20 Jahren abgestorben, geräumt und wieder neu aufgeforstet worden ist (LIEBOLD u. DRECHSLER 1991). Vor diesem Schicksal gilt es die vorgeschädigten Bestände in den Kammlagen des Hunsrücks und anderer Mittelgebirge - außer durch eine entsprechende Luftreinhaltepolitik - auch mittels Kompensations- und Sanierungsmaßnahmen zu bewahren.

Die Ergebnisse der forstamtsweisen Flächenberechnungen sind für alle Forstämter des Untersuchungsgebietes zusammengestellt worden (Tab. 3.9). Dabei ist zu beachten, daß in den Forstämtern Birkenfeld, Idar-Oberstein und Rhaunen aus Kostengründen nur die zum Hochwald gehörenden Teile bearbeitet wurden, da außerhalb der Hunsrück-Kammlagen kaum mit stärker geschädigten Beständen zu rechnen ist. In den Forstämtern Hermeskeil und Irrwald ist dagegen flugtechnisch bedingt auch ein Teil des Hochwaldes nicht erfaßt, so daß die Schadensflächen dort tatsächlich etwas größer sein dürften als hier ausgewiesen.

**Tab. 3.9: Flächenzusammenstellung deutlich geschädigter Waldbestände im westlichen Hunsrück; bestandesweise Kartierung aus der CIR-Luftbildbefliegung 1990**

Nr.	Forstamt Name	Fichte (ha) Bestandesschadstufen <sup>1)</sup>				Buche (ha) Bestandesschadstufen <sup>1)</sup>				Gesamt (ha) Bestandesschadstufen <sup>1)</sup>			
		1	2	3	Summe	1	2	3	Summe	1	2	3	Summe
106	Birkenfeld (tlw.)	262	6	---	268	529	33	---	562	791	39	---	830
115	Idar-Oberstein (tlw.)	79	---	---	79	176	56	---	232	255	56	---	311
119	Kempfeld	696	84	---	780	474	100	---	574	1170	184	---	1354
134	Rhaunen (tlw.)	300	10	---	310	319	18	---	337	619	28	---	647
Forstdirektion Koblenz		1337	100	---	1437	1498	207	---	1705	2835	307	---	3142
205	Dhronecken	1135	133	---	1268	708	43	---	751	1843	176	---	2019
207	Hermeskeil (tlw.)	360	47	---	407	606	38	---	644	966	85	---	1051
208	Irrwald (tlw.)	291	---	---	291	95	26	---	121	386	26	---	412
214	Morbach	333	104	---	437	194	---	---	194	527	104	---	631
216	Osburg	268	---	---	268	640	110	---	750	908	110	---	1018
Forstdirektion Trier		2387	284	---	2671	2243	217	---	2460	4630	501	---	5131
Hoch- u. Idarwald gesamt		3724	384	---	4108	3741	424	---	4165	7465	808	---	8273

1) Def. der Bestandesschadstufen: 1 = 30 - 60 % Bäume der Stufen 2-4, 2 = 60 - 90 % Bäume der Stufen 2-4, 3 = über 90 % Bäume der Stufen 2-4

Die mit den Übersichtskarten (Karte 3.4 u. 3.5) demonstrierte Höhenabhängigkeit des Schadensgrades läßt sich mit Hilfe entsprechender Flächenbilanzen auch quantifizieren (Tab. 3.10). Unter 400 m über NN kommen fast keine und in 400 bis 600 m Höhe nur sehr wenig deutlich geschädigte Bestände, überwiegend in Bestandesschadstufe 1, vor.

Zwischen 600 und 700 m ü. NN sind bereits ein Viertel der Bestände dieser Höhenlage deutlich, allerdings noch überwiegend Bestandesschadstufe 1, geschädigt. Drastische Ausmaße nehmen die Schäden auf den höchsten Erhebungen des Hunsrücks an. In Lagen über 700 m ü. NN sind bereits über die Hälfte aller Bestände in dieser Höhe deutlich geschädigt, wobei der Anteil der Bestandesschadstufe 2 hier schon 13 % ausmacht. Mit Ausnahme von Kulturen und Jungbeständen sind in diesen höchsten Lage nahezu alle Bestände mindestens mittelstark geschädigt.

Solche Flächenbilanzen können auch die Frage beantworten, wie sich die Schadensgrade (Bestandesschadstufen) auf die einzelnen Höhenlagen verteilen (Tab. 3.10; Prozentwerte in eckigen Klammern). In diesem Untersuchungsgebiet kommen beispielsweise mittelstarkgeschädigte Bestände (Bestandesschadstufe 1) vorwiegend in Höhenlagen von 500 bis 600 m ü. NN vor, während sich der größte Teil der stark geschädigten Bestände (Bestandesschadstufe 2) oberhalb von 700 m ü. NN befindet.

Diese Beispiele demonstrieren, wie thematische Karten und thematische Flächenbilanzen einem gezielten Erkenntnisgewinn dienen können.

**Tab. 3.10: Deutlich geschädigte Waldbestände im westlichen Hunsrück in Abhängigkeit von der Höhenlage; bestandesweise Kartierung aus der CIR-Luftbildbefliegung 1990**

Höhenstufe [m ü. NN]	Waldfläche i. d. Höhenstufe ha (%)	Bestandesschadstufen (BSSt)				Σ 1-3 ha (%)
		0 ha (%)	1 ha (%)	2 ha (%)	3 ha (%)	
< 400 ha [%]	5.294 (100) [9,6]	5.281 (99,8) [11,3]	3 (0) [0]	10 (0,2) [1,2]	- - -	13 (0,2) [0,2]
400-500 ha [%]	11.850 (100) [21,6]	11.215 (94,6) [24,1]	525 (4,4) [7,0]	110 (1,0) [13,6]	- - -	635 (5,4) [7,7]
500-600 ha [%]	21.266 (100) [38,7]	18.647 (87,7) [40,0]	2.457 (11,6) [32,9]	163 (0,7) [20,1]	- - -	2.619 (12,3) [31,6]
600-700 ha [%]	14.051 (100) [25,6]	10.336 (73,6) [22,1]	3.511 (25,0) [47,1]	204 (1,4) [25,3]	- - -	3.715 (26,4) [44,9]
> 700 ha [%]	2.440 (100) [4,5]	1.150 (47,1) [2,5]	969 (39,7) [13,0]	321 (13,2) [39,8]	- - -	1.290 (52,9) [15,6]
alle ha [%]	54.901 (100) [100]	46.629 (84,9) [100]	7.465 (13,6) [100]	808 (1,5) [100]	- - -	8.273 (15,1) [100]

## 3.7 Abschließende Wertung des Verfahrens

### 3.7.1 Praktikabilität und Praxisreife der flächenhaften Schätzung von Bestandesschadstufen

Nachdem das in dieser Arbeit entwickelte Inventurkonzept zur bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung flächenhafter Waldschäden auf Forstbetriebsebene vollständig vorgestellt ist, soll als Abschluß des zweiten Hauptteils dieser Arbeit eine kritische Wertung des Verfahrens erfolgen. Sie dient einer Abschätzung der Praktikabilität einer flächenintegrierenden Taxation von Bestandesschadstufen und der Praxisrelevanz ihrer Ergebnisse. Diese Kriterien sind schließlich ausschlaggebend für die Praxisreife eines neuen Inventurverfahrens.

Eines der Ziele dieser Arbeit ist es gewesen, eine geeignete Kenngröße zur bestandesbezogenen Klassifizierung von Waldschäden zu finden sowie ein Interpretationsverfahren zu entwickeln, mit dem die Ausprägung der Merkmale, die diese Kenngröße bestimmen, möglichst rationell geschätzt werden kann.

Als anschaulichste Kenngröße zur bestandesbezogenen Charakterisierung der Waldschadenssituation eines Bestandes hat sich der Anteil deutlich geschädigter Bäume (Summe der Stufen 2-4) erwiesen. Diese Größe hat sich bei der Berichterstattung zur jährlichen terrestrischen Waldzustandserhebung durchgesetzt. Sie ist damit sehr weit verbreitet und auch in der Öffentlichkeit weitgehend bekannt. Außerdem bietet eine solche Summengröße wesentlich bessere Differenzierungsmöglichkeiten als Mittelwerte, die immer eine nivellierende Wirkung haben.

Als Schätzgröße zur flächenhaften Interpretation der Waldschäden mit Hilfe mittelmaßstäbiger CIR-Luftbilder, die in den Baumkronen meist keine Feinstrukturen mehr erkennen lassen, ist der Anteil deutlich geschädigter Bäume ebenfalls sehr gut geeignet. Ab der Stufe 2 ändern sich die luftbildrelevanten Auswertungskriterien Umriß, Grobstruktur und Farbhelligkeit/-sättigung am Einzelbaum so stark, daß sie in mittelmaßstäbigen Luftbildern leicht zu erkennen sind. Der Anteil solcher Bäume ist dann auch ohne Stichprobe zumindest näherungsweise schätzbar. Die aus diesem Grunde bewußt relativ grob (in 30-%-Klassen) abgestuften Bestandesschadstufen sind mit den hierzu entwickelten Interpretationsschlüsseln daher - nach einiger Übung - ebenfalls ausreichend treffsicher zu taxieren.

Die Verifizierung der flächenintegrierenden Taxation von Bestandesschadstufen aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern mittels einzelbaumweise aus großmaßstäbigen Luftbildern interpretierten oder terrestrisch bonitierten Probekreisen hat gute Klassifizierungsgenauigkeiten gezeigt. Aus der Sicht des Interpreten hat die Verifizierung eine wertvolle Bestätigung seiner individuellen Bewertungsmaßstäbe geliefert und aus der Sicht des Kartenbenutzers die Zuverlässigkeit und Glaubwürdigkeit der vorgelegten Kartierungsergebnisse belegt. Damit hat sich die flächenhafte Schätzung von Bestandesschadstufen als praktikabel und praxisreif erwiesen.

Waldschadensbedingte Bestandesverlichtung kann anhand des ausreichend sicher zu schätzenden Kronenschlußgrades als eigenständiger Parameter für Bestandesschäden berücksichtigt werden.

Die Methoden der Flächendelinierung auf dem Luftbild und der optisch-zeichnerischen Übertragung auf maßstabsgerechten Karten stellen den Interpreten nicht vor größere Schwierigkeiten, erfordern aber sehr große Sorgfalt. Potentielle Kartierungsfehler durch radiale Punktversetzung können ausreichend reduziert oder vermieden werden, wenn beim Bildflug ein 300 mm-Objektiv eingesetzt, mit über 70 % Längsüberdeckung und 30 % Querüberdeckung geflogen und wenn nur aus zentralen Bildbereichen umgezeichnet wird.

Zur elektronischen Verarbeitung und Darstellung der Kartierungsergebnisse ist eine ausgesprochen bedienungsfreundliche und wirtschaftliche CAD-Technik gefunden worden, mit der digitale Forstamtsübersichtskarten erstellt, Flächen automatisch berechnet und die Ergebnisse mittels thematischer Kartographie präsentiert werden können. Anders als bei einem komplexen und komplizierten geographischen Informationssystem (GIS) werden hier die Vorzüge eines leistungsstarken, aber einfachen und kostengünstigen CAD-Systems (AutoCAD) mit den Vorteilen einer modernen, weit verbreiteten und daher bekannten relationalen Datenbanksoftware (dBASE IV) verknüpft.

### **3.7.2 Praxisrelevanz und Kosten des Verfahrens**

Die hier erstellten Bestandesschadstufen-Kartierungen und Flächenbilanzen haben in den örtlichen Forstbetrieben breite Akzeptanz gefunden. Das zeigt, daß sie dem Informationsbedarf der forstlichen Praxis nachkommen. Die Kartierungsergebnisse sind als praktikable, glaubwürdige Dokumente aufgenommen worden und werden als Planungsgrundlage für waldbauliche Maßnahmen und zur Öffentlichkeitsarbeit genutzt. Dies ist

ein erster Hinweis auf die Praxisrelevanz des vorgestellten Inventurverfahrens. Ob sich eine neue Methode aber dauerhaft in der Inventurpraxis eines Landes etablieren kann, hängt schließlich von dem Ergebnis einer ökonomischen Bewertung des Verfahrens ab.

Die Gesamtkosten einer bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung flächenhafter Waldschäden auf Forstbetriebsebene setzen sich zusammen aus den Bildflugkosten zur Herstellung der Luftbilder, den Kosten der Luftbildinterpretation und denjenigen zur Kartierung, Flächenbilanzierung und Kartenausgabe sowie den hier - analog zur großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung (Kap. 2.8.2) - nicht näher betrachteten Kosten für Projektleitung, Organisation, Verwaltung und Berichterstattung.

Die Kosten eines Flächenbildfluges im für künftige Projekte empfohlenen Bildmaßstab 1:12.500 liegen bei einem Auftragsvolumen von etwa 500 CIR-Aufnahmen in einer Größenordnung von etwa 50.000 DM (Tab. 3.11). Zur Anpassung der Interpretationsschlüssel an den Farbton der aktuellen Luftbilder sowie zur abschließenden Verifizierung der Interpretationsergebnisse sollten im Untersuchungsgebiet zusätzlich mindestens 5 bis 6 Kurzstreifen großmaßstäbig (ca. 1:5.000) befliegen werden. Das verursacht weitere 5.000 DM Bildflugkosten.

Die Interpretation erfordert hauptsächlich Personalkosten. Bei einem Zeitbedarf von etwa einer Woche zur Anpassung der Interpretationsschlüssel, ungefähr sechs Wochen für die eigentliche Interpretation und Flächendelinierung sowie einer weiteren Woche für Kontrolle und Verifizierung fallen hier, bei kalkulatorischen Arbeitskosten von 50 DM/Stunde oder 400 DM/Tag, insgesamt etwa 16.000 DM Personalkosten an.

Zu den Produktionskosten der als Kartierungsgrundlage erforderlichen digitalen Forstamtsübersichtskarten liegen bisher keine Vergleichswerte vor. In dem konkreten Fall der Kartierung im westlichen Hunsrück hat die digitale Erfassung dieser Karten 0,70 DM/ha Waldfläche, insgesamt also etwa 35.000 DM gekostet. Diese Kosten haben sich in der Nachkalkulation des Vertragspartners sowie anhand hausinterner Zeitstudien als sehr knapp kalkuliert erwiesen. Sie dürften künftig vermutlich höher ausfallen, wenn sie nicht ganz entbehrlich werden, wie im Falle einer Folgeinventur oder bei einer Inventur in einem Gebiet, für das bereits digitale Kartengrundlagen vorliegen.

Die Flächenumzeichnung, Erstellung der Schadflächendatei, Digitalisierung der Manuskriptkarten sowie Kontrolle und Nacheditierung der Schadflächenlayer erfordern zusammen ungefähr sieben Wochen Arbeitszeit oder etwa 14.000 DM Personalkosten.

**Tab. 3.11: Kosten einer bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden mittels flächenintegrierender Interpretation aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern [DM]**

Position	Kalkulatorische Kosten [DM] für ein Gebiet mit etwa 50.000 ha Waldfläche	
	einer Erstinventur	einer Folgeinventur
<b>1. Luftbilder</b>		
1.1 ca. 500 Aufnahmen im Maßstab 1:12.500	50.000	50.000
1.2 Schlüssel- und Veri- fizierungsbilder (ca. 1:5.000)	5.000	5.000
<b>2. Interpretation</b>		
2.1 Anpassung IP-Schlüs- sel (1 Woche)	2.000	2.000
2.2 Interpretation + Flächendelinierung (6 Wochen)	12.000	12.000
2.3 Kontrolle, Verifi- zierung (1 Woche)	2.000	2.000
<b>3. Kartierung</b>		
3.1 Digitale Forstamts- übersichtskarten (0,70 DM/ha)	35.000	-
3.2 Flächenumzeichnung, Schadflächendatei (4 Wochen)	8.000	8.000
3.3 Digitalisierung, Kontrolle, Nachedi- tierung (3 Wochen)	6.000	6.000
<b>4. Flächenbilanzierung (1 Woche)</b>	2.000	2.000
<b>5. Kartenausgabe (50 Karten) incl. Verbrauchsmaterial</b>	8.000	8.000
<b>Summa</b>	<b>130.000</b>	<b>95.000</b>

Zur Erstellung der vorgestellten Flächenbilanzen benötigt ein erfahrener CAD-Operateur etwa eine Woche Arbeitszeit. Dies verursacht weitere 2.000 DM Personalkosten.

Die Kartenausgabe mit einem Stift-Plotter ist, selbst bei Einsatz eines komfortablen Gerätes, sehr zeitaufwendig. Pro Tag sind damit kaum mehr als durchschnittlich zwei Plots produzierbar. Bei Verwendung von Tuschestiften muß man den Plotvorgang permanent überwachen, damit er sofort unterbrochen werden kann, falls der Tuschefluß einmal abreißt. Andernfalls würde die Ausschußproduktion erheblich steigen und die Leistung sinken. Unter diesen Rahmenbedingungen kostet die Ausgabe von etwa 50 Kartenblättern unterschiedlicher Maßstäbe, einschließlich Verbrauchsmaterial (Papier, Stifte, Tusche), etwa 8.000 DM.

Insgesamt liegen die kalkulatorischen Kosten einer bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden mittels flächenintegrierender Interpretation aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern für ein Gebiet mit etwa 50.000 ha Waldfläche bei einer Erstinventur in einer Größenordnung von etwa 130.000 DM. Im Falle einer Folgeinventur oder wenn die digitalen Forstamtsübersichtskarten aus sonstigen Gründen bereits vorliegen, erreichen die Gesamtkosten für dasselbe Gebiet knapp 100.000 DM. Das entspricht 2,-- DM oder 2,60 DM je Hektar bearbeiteter Waldfläche oder etwa 16.000 bis 20.000 DM pro Forstamt (einer Größe von rund 8.000 ha Waldfläche).

Im Vergleich dazu erfordert eine herkömmliche Schadenskartierung mit großmaßstäbigen CIR-Luftbildern und einem für den Bestandesbezug erforderlichen intensiven Stichprobenraster, wie es beispielsweise in Niedersachsen (HARTMANN 1984) oder in daran angelehnten Nachfolgeprojekten angewendet wurde (z.B. BEUTEL 1986), bei vollflächiger Befliegung allein etwa dreimal so hohe Bildflugkosten (etwa 1000 Flugkilometer á 150,-- DM). Die einzelbaumweise Interpretation von je 16 systematisch verteilten Probestäumen pro Hektar erlaubt eine Flächenleistung von maximal 13 Beständen pro Interpret und Tag (UEBEL 1986). Unter der Annahme, daß 13 Bestände etwa 50 Hektar Waldfläche entsprechen, summieren sich die Kosten einer Auswertung von 50.000 ha Waldfläche dann - bei kalkulatorischen Arbeitszeitkosten von 400,-- DM/Tag - auf insgesamt 400.000 DM und würden damit etwa 25 mal so hoch liegen wie bei der hier vorgestellten flächenintegrierenden Interpretation aus mittelmaßstäbigen Luftbildern. Der Arbeitsaufwand und die Kosten der Kartierung, Flächenbilanzierung und Kartenausgabe sind dagegen vom Inventurverfahren unabhängig und dürften daher den hier angefallenen Kosten entsprechen.

Insgesamt würde eine herkömmliche, aber vollflächige Schadenskartierung mit großmaßstäbigen Luftbildern und bestandesbezogenen Luftbildstichproben für dieses Vergleichsgebiet rund 600.000 DM oder etwa 12,-- DM/Hektar kosten. Mit seinen Kosten von etwa einem Sechstel dieser Beträge ist das hier entwickelte Verfahren deutlich rationeller.

Eine rein terrestrische Inventur könnte, unter der Voraussetzung, daß je Bestand (von durchschnittlich 4 ha Größe) mindestens ein Probekreis von 20 Bäumen bonitiert und eine tägliche Leistung von 8 bis maximal 10 Probekreisen erbracht wird, eine Flächenleistung von etwa 40 Hektar pro Bonitierer und Tag erreichen. Damit würden die Gesamtkosten dieser Inventur, einschließlich Reisekosten und den unveränderten Kartierungskosten, etwa in der gleichen Größenordnung wie bei der Stichprobeninventur mit großmaßstäbigen Luftbildern liegen. Der Informationsgehalt einer terrestrischen Inventur wäre jedoch wesentlich geringer.

Beide Vergleichsverfahren könnten ihren Aufwand eventuell um ein Viertel bis ein Drittel reduzieren, wenn Jungbestände bis zum Dickungs- oder Stangenholzaltes a priori aus der Bewertung herausgenommen werden, weil in ihnen kaum mit deutlichen Waldschäden zu rechnen ist. Aber auch dann bleibt das hier entwickelte Verfahren noch deutlich rationeller.

Im Vergleich mit den Kosten von Kompensations- oder Sanierungsmaßnahmen, die sich z.B. allein für eine Bodenschutzkalkung auf etwa 400 DM/ha belaufen und für ein Forstamt vorgenannter Größe auf über 3 Millionen DM aufsummieren, erscheinen die Kosten der flächenhaften Waldschadenskartierung aus mittelmaßstäbigen Luftbildern relativ niedrig. Da die Finanzmittel für die kostenintensive Bodenschutzkalkung und waldbauliche Sanierung mit einer solchen Kartierung aber zielgerichtet in die am stärksten betroffenen Waldgebiete gelenkt und der Mitteleinsatz somit optimiert werden kann, dürften sich die Kosten dieser Kartierung sehr schnell amortisieren. Auch das ist ein entscheidender Beweis der Praxisrelevanz dieses neuen Verfahrens.

## 4 DISKUSSION UND AUSBLICK

### 4.1 Validität der beiden Inventurkonzepte

#### 4.1.1 Großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung mit permanenten Stichproben

Die erste Zielsetzung der vorliegenden Arbeit lautete, ein operationelles und vor allem rationelles Verfahren zur großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung mit permanenten Stichproben zu entwickeln und in die Inventurpraxis eines Bundeslandes einzuführen. Dazu ist der bisher aktuellste Stand der Inventurtechnik (HILDEBRANDT et al. 1986, 1989a) in drei Schritten rationalisiert worden: hinsichtlich der Übersichtlichkeit des Stichprobendesigns und damit der Anzahl zu übertragender Punkte, durch technische Vereinfachung der Restitution von Stichprobenmittelpunkten und durch eine organisatorisch und kostengünstigere funktionale und zeitliche Trennung von Punktübertragung und Luftbildinterpretation.

Das neue Inventurkonzept hält jedoch aus verschiedenen Gründen an der seit Jahrzehnten in der Waldinventur bewährten *systematischen Stichprobe* fest, obwohl in jüngster Zeit gelegentlich auf Probleme der Varianzschätzung im Fall systematischer Stichproben hingewiesen wird (z.B. SABOROWSKI 1992). Der bekannte statistische Vorteil der systematischen Stichprobe, daß sie durch ihre gleichmäßige Verteilung in der Fläche einen kleineren Stichprobenfehler (Varianz) hat als einfache Zufallsstichproben, ist mit dem häufig übersehenen Nachteil verknüpft, daß der auf systematischer Auswahl basierende Stichprobenfehler nicht erwartungstreu (d.h. ohne systematische Fehler) geschätzt werden kann. Dies wäre nur bei Zufallsstichproben der Fall. Nach Modellrechnungen von SABOROWSKI (1992, S. 110) wird "eine durch die systematische Auswahl erzielte höhere Genauigkeit dadurch wieder entwertet, daß das Inventurergebnis anhand eines zu hoch eingeschätzten Stichprobenfehlers beurteilt werden muß. Als Alternative werden stratifizierte Stichproben vorgeschlagen, die eine unverzerrte Varianzschätzung erlauben und in vielen Fällen vergleichbare oder sogar niedrigere Stichprobenfehler haben." Mit stratifizierten Stichproben sei jedoch ein zusätzlicher Planungsaufwand verbunden, der nur mit Hilfe forstlicher Informationssysteme wesentlich verringert werden könne. Da mit operationellen forstlichen Informationssystemen in absehbarer Zeit aber allenfalls auf Betriebsebene (z.B. BITTER 1991), jedoch kaum auf großräumiger Ebene zu rechnen ist, wird hier den technisch-praktischen Vorteilen der systematischen Stichprobe weiterhin der Vorzug eingeräumt. Dies sind im wesentlichen der geringere Planungsaufwand, die Möglichkeit des Einsatzes ausschließlich permanenter Stichproben und ihrer Eignung zur kartographischen Präsentation der Inventurer-

gebnisse mit Hilfe von Punktrasterkarten. Auch die IUFRO-Fachgruppe S.4.02.00 räumt im Entwurf ihrer kurz vor der Vollendung stehenden internationalen Richtlinie zur Überwachung von Wäldern ein, daß "systematic sampling is more practical and efficient than random sampling and can be recommended although there are not statistically sound reliability estimators for the results obtained by systematic sample (IUFRO 1992, S. 14)". Aus diesen Gründen wird auch kein mehrphasiges Stichprobenverfahren gewählt, wie sie häufig bei Großrauminventuren in Regionen mit bisher weitgehend fehlenden Vorinformationen (z.B. FORSTREUTER u. KÖHL 1987, SCHADE 1980), bei nationalen Forstinventuren (z.B. KÖHL 1987, KÖHL u. SUTTER 1991, PELZ 1991, POSO 1991), bei Kontrollstichproben für Betriebsinventuren (z.B. AKÇA et al. 1992, KÄTSCH 1991, SCHMID-HAAS 1989) oder auch zu Waldschadensinventuren (z.B. KENNEWEG u. NAGEL 1983, HILDEBRANDT et al. 1986, 1989a) eingesetzt werden.

Durch die in einer Luftbildinventur erstmalige Einrichtung *ausschließlich permanenter Stichproben* entspricht das neue Inventurkonzept vom Stichprobenplan her, wie die terrestrische Waldzustandserhebung, einer Folgeinventur mit vollständiger Wiederaufnahme der Probeflächen. Statistisch gesehen handelt es sich bei der Feststellung der Veränderung des Kronenzustands um den Vergleich zweier verbundener Stichprobenreihen. Ein Vorteil der Verwendung von abhängigen anstelle von unabhängigen Stichproben ist, daß die störenden Streuungen innerhalb der Reihen entfallen (SCHÖPFER 1985b). Diesen Standard zu erreichen, war Aufgabe der vorliegenden Arbeit. Weiterführende Fehlerrechnungen sollen dagegen künftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Mit dem Stichprobenplan dieses Inventurkonzepts ist erstmalig in einer großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung das gleiche Inventurdesign wie bei der terrestrischen Waldzustandserhebung verwirklicht worden. Die zu Beginn dieser Arbeit (Kap. 1.2.1) noch konstatierten Vorteile der terrestrischen Erhebung (ausschließlich lagedefinierte Stichprobenorte, dank angesprühter Baumnummern eindeutig dokumentiertes, permanentes Stichprobenkollektiv und einzelbaumweise Ergebniserfassung) sind damit aufgeholt und in einem Punkt sogar überflügelt worden: Die angesprühten Baumnummern der terrestrischen Waldzustandserhebung sind nämlich zwar ein probates Mittel zur sicheren Wiederauffindbarkeit der Stichprobenbäume in einer terrestrischen Folgeinventur, ihre offene Markierung kann jedoch dazu führen, daß der Stichprobenpunkt anders behandelt wird als seine Umgebung. Die Lage der Luftbild-Stichprobenpunkte ist den örtlichen Wirtschaftlern dagegen nicht bekannt. Sie erfüllen daher vorbildlich die internationalen Anforderungen an *verdeckte* permanente Stichprobenorte: "Permanent sample locations ... must be marked hidden, so that they will be not treated in a different

way from the environment. However, the markings should be clear enough, that the location can be found and measurements can be repeated after several years." (IUFRO 1992, S. 9).

Die *Technik zur Restitution der permanenten Stichproben* in den Luftbildern einer Folgebefliegung mit Methoden der analytischen Photogrammetrie ist durch den zweiten Rationalisierungsschritt dieser Arbeit in Teilbereichen erheblich vereinfacht worden. Vor allem die Verwendung von topographischen Dauerpaßpunkten der Landesvermessung, deren Dichte für eine Aerotriangulation in Luftbildern eines großmaßstäbigen Streifenbildfluges zwar erwartungsgemäß noch nicht überall ausreicht, aber kontinuierlich verbessert wird, hat sich als sehr rationell und unkompliziert erwiesen. Obwohl die aufwendige Paßpunktbeschaffung durch geodätische Einmessung und terrestrische Signalisierung luftbildsichtbarer Punkte damit vollständig eingespart werden konnte, ist die Methode aber nach wie vor mit beträchtlichem photogrammetrischem Aufwand verbunden. Daran würde auch das potentielle Alternativkonzept, die Paßpunkte photogrammetrisch aus einer kleinmaßstäbigen Zusatzbefliegung zu beschaffen (HILDEBRANDT 1984, MAXIN 1991), nichts ändern.

Als dritter Schritt zur Rationalisierung der Arbeit mit permanenten Luftbildstichproben ist eine funktionale und zeitliche *Trennung von Punktübertragung und Luftbildinterpretation* angestrebt und verwirklicht worden. Damit wird der von MAUSER (1990) geforderten Arbeitsteilung zwischen Photogrammetern und forstlichen Luftbildinterpreten Rechnung getragen.

Neben diesen Bemühungen zur Modifizierung des sonst aber bekannten photogrammetrischen Verfahrens wird in dieser Arbeit *außerdem ein* technisch relativ altes, in diesem Kontext aber *vollkommen neues Verfahren* zur Restitution der Stichprobenorte mit optisch-mechanischen Methoden vorgestellt. Dieses Verfahren beruht auf einer Wiederentdeckung der in der allgemeinen Photogrammetrie fast in Vergessenheit geratenen und im forstlichen Luftbildwesen vermutlich noch nie eingesetzten Punktübertragungsgeräte (z.B. WILD PUG4, ZEISS PM1, ZEISS TRANSMARK B).

An einem Punktübertragungsgerät kann aus zwei gebietsgleichen Luftbild-Diapositiven unterschiedlicher Flugtermine, auch bei Maßstabsunterschieden, ein Stereomodell erzeugt werden. Punkte, die in einem der beiden Bilder markiert sind (hier Nadelstiche der Stichprobenmittelpunkte), werden bei stereoskopischer Betrachtung mit einer Meßmarke angesteuert. Exakt an der Position dieser Meßmarke wird schließlich - je nach

Gerätetyp - mittels einer elektromotorisch betriebenen Fräse, einer Heiznadel oder eines Laserstahls die Filmemulsion punktförmig entfernt und so eine dauerhafte Markierung geschaffen.

Da bei dieser optisch-mechanischen Punktübertragung nur ein Arbeitsgang erforderlich ist, liegen die übertragenen Punkte sehr schnell vor. Das wirkt sich sehr günstig auf die Kosten dieses Verfahrens aus, die hier etwa bei einem Fünftel der Kosten einer erstmaligen photogrammetrischen Punktübertragung liegen. Die Lagegenauigkeit der übertragenen Punkte ist bei optisch-mechanischer Punktübertragung außerdem relativ besser als diejenige vereinfacht photogrammetrisch übertragener Punkte. Ferner erzielt dieses Verfahren eine geradezu bestechende optische Visualisierung der Punkte, die die spätere Luftbildinterpretation erheblich erleichtert.

In der Kombination aus dem hier vorgestellten Stichprobenplan, der preiswerten, aber absolut eindeutigen Dokumentation der Stichprobenbäume mittels einfacher Papierfotos von Ausschnittsvergrößerungen der Stichprobenpunkte und der optisch-mechanischen Übertragung dieser Stichprobenmittelpunkte steht damit erstmalig eine technisch leicht realisierbare und wirtschaftlich vertretbare Methode zur Restitution permanenter Stichproben in großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebungen zur Verfügung.

In Ergänzung der bisherigen Inventurkonzepte für großräumige Luftbild-Waldzustandserhebungen (HILDEBRANDT et al. 1986, 1989a) ist hier, dank der ausschließlich permanenten Stichproben und der obligatorisch einzelbaumweisen Ergebniserfassung künftig auch eine einzelbaumweise Taxationskontrolle (KÖHL 1991, MAUSER 1991, SCHNEIDER 1987), eine Erfassung von Veränderungen im Stichprobenkollektiv sowie eine Quantifizierung des Einflusses von Kollektivverschiebungen möglich. Damit ist die großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung dem terrestrischen Verfahren sowohl methodisch als auch ökonomisch vergleichbar geworden.

Im Zusammenhang mit der *weiteren Verarbeitung und Aufbereitung* der mit dieser Inventur gewonnenen *Daten* gibt es - analog zur terrestrischen Waldzustandserhebung - jedoch noch zahlreiche offene Fragen.

Beispielsweise stellt die erstmalig möglich gewordene Erfassung von Veränderungen im Stichprobenkollektiv zwar einen inventurtechnischen Fortschritt und Informationsgewinn dar, ihre adäquate statistische Behandlung bei der Berechnung von Veränderungen scheint dagegen noch ungelöst. Nach längeren Inventurzyklen können Bewirtschaftungsmaßnahmen oder Katastrophen wie die Orkane zu Beginn des Jahres 1990 erhebliche Kollektivverschiebungen verursacht haben (HEIDINGSFELD et al. 1990), die eine

angemessene Bewertung erschweren. Selbst bei unverändertem Gesamtkollektiv, aber Aufgliederung des Gesamtkollektivs in zwei oder mehr Teilkollektive (z.B. Altersklassen), können schon interne Verschiebungen zwischen den Teilkollektiven (z.B. Wanderungsbewegungen in höhere Altersklassen) zu unplausiblen Teilergebnissen führen. Eine erste Hoffnung, diese Probleme seien eventuell mit den Methoden für Inventuren mit teilweisem Ersatz von Stichproben ("Sampling with Partial Replacement = SPR" [WARE a. CUNIA 1962]) zu lösen, konnte sich jedoch nicht bestätigen, da SPR eine Zufallsauswahl voraussetzt und damit nicht auf systematische Stichproben anwendbar ist. Hier besteht folglich weiterhin Forschungsbedarf.

Auch zur räumlichen Darstellung der Waldschadensverteilung mittels einfacher Punktrasterkarten, wie hier (Kap. 2.7.2) demonstriert, existieren ernsthafte statistische Vorbehalte. Da nicht unterschieden werden kann, ob die an einem Punkt erfaßte Waldschadenssituation einen regionalen Trend oder eine zufällige Beobachtung innerhalb der kleinräumigen Variation darstellt, können solche Punktrasterkarten zwangsläufig zu Fehlinterpretationen führen (KÖHL u. GERTNER 1992). Außerdem gelten die an einem Stichprobenpunkt erhobenen Waldschadensdaten maximal bis zur nächsten Bestandesgrenze und sind nicht etwa repräsentativ für ein den Punkt umgebendes Quadrat mit der Kantenlänge des Abstands der Rasterpunkte. Daher wären sowohl eine vollflächige Darstellung mit großen, sich berührenden Quadraten als auch eine abgestufte, zwischen den Rasterpunkten interpolierende Kartendarstellung höchst irreführend. Die hier, wie auch andernorts (UN-ECE 1992, KÖHL u. GERTNER 1992, KRISTÖFEL u. NEUMANN 1993) gewählte Darstellung mittels kleiner, einen Punkt und nicht eine Fläche suggerierender Signaturen wird dagegen als vorläufiger Behelf zur Visualisierung möglicher Anhäufungen von Punkten bestimmter Merkmalsausprägung verwendet. Künftig werden geostatistische Methoden (KÖHL u. GERTNER 1992, JOST 1992) möglicherweise geeignetere Instrumente zur Darstellung räumlicher Verteilungen und zur Aufdeckung auffälliger Veränderungen anbieten.

Darüberhinaus bleibt die in den vergangenen Jahren begonnene Entwicklung adäquater statistischer Analyseverfahren zur Auswertung von Waldschadensdaten (z.B. BURK 1989, 1992b; HUNZIKER et al. 1988, KUBLIN 1987, QUEDNAU 1989, SCHÖPFER 1985b) ein Arbeitsfeld, dem weiterhin hohe wissenschaftliche Aufmerksamkeit gebührt. Die Inventurpraxis offenbart den Anwendern jedenfalls regelmäßig neue Fragestellungen, deren Beantwortung nur mit konzentriertem biometrischem Sachverstand in Angriff genommen werden kann.

#### 4.1.2 Bestandesbezogene Luftbild-Kartierung von Waldschäden

Die zweite Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war darauf ausgerichtet, eine rationelle Methode zur flächenintegrierenden, bestandesbezogenen Interpretation und Kartierung von Waldschäden aus mittelmaßstäbigen Color-Infrarot-Luftbildern zu entwickeln und in der Praxis zu erproben. Dazu ist zunächst eine *geeignete Kenngröße* zur flächenhaften Schätzung und anschaulichen Charakterisierung der komplexen Informationen über die Waldschadenssituation eines Bestandes gesucht worden. Beide Bedingungen werden vom *"Anteil deutlich geschädigter Bäume"* (Summe der Schadstufen 2 bis 4) am besten erfüllt. Im Gegensatz zu Mittelwerten oder gutachtlichen Indices besitzt dieser Summenwert alle von einer Waldschadenskennziffer geforderten Eigenschaften (BURK 1992 a): erhöhte Aussageprägnanz, kartographische Eignung, erhöhte Öffentlichkeitswirksamkeit durch Erweiterung des potentiellen Zielgruppenspektrums auf ansonsten ungeübte Interessenten sowie vollkommene Transparenz ihrer Konstruktion.

Die besondere Eignung des *"Anteils deutlich geschädigter Bäume"* als Schätzgröße zur flächenintegrierenden Interpretation aus mittelmaßstäbigen Luftbildern resultiert aus der ab der Einzelbaum-Schadstufe 2 besonders auffälligen Veränderung der im mittelmaßstäbigen CIR-Luftbild wiederum leicht zu erkennenden Auswertungskriterien Umriß, Grobstruktur und Farbhelligkeit/-sättigung. Der Anteil solcher Bäume ist mit den hier entwickelten Interpretationsschlüsseln für relativ grob abgestufte *"Bestandesschadstufen"* auch ohne Einzelbaumstichproben ausreichend treffsicher zu taxieren. Damit liegen *erstmalig Schlüssel zur flächenintegrierenden Taxation der Waldschadenssituation ganzer Bestände* vor.

Diese Interpretationsschlüssel sind speziell auf die Auswertung von CIR-Luftbildern der Maßstabbereiche von ca. 1:10.000 bis etwa 1:15.000 ausgerichtet. Dabei gilt die Devise, den Maßstab aus Gründen der Rationalität so klein wie möglich zu wählen, jedoch so groß wie nötig, um noch alle Farb- und Texturmerkmale erkennen zu können. Der Grenzmaßstab ergibt sich hier vor allem aus der Erkennbarkeit der Textur.

Die *Verifizierung* der flächenhaften Taxation von Bestandesschadstufen aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern mittels einzelbaumweise aus großmaßstäbigen Luftbildern interpretierter oder terrestrisch bonitierter Probekreise hat Klassifizierungsgenauigkeiten von insgesamt etwa 80 % und ausgeglichene Unter- und Überschätzungen gezeigt. Dieses Ergebnis entspricht den beim Vergleich von einzelbaumweiser Luftbildinterpretation und terrestrischen Bonitierungen erzielten Ergebnissen (HEIDINGSFELD 1986, SCHNEIDER 1987, SCHÖPFER u. HRADEZTKY 1984 a) oder liefert sogar höhere Gesamtgenauigkeiten (HILDEBRANDT et al. 1986, TEPASSÉ 1988). Auch

Einzelbaum-Kontrollbonituren von verschiedenen Taxatoren nach gleicher Methode (terrestrisch oder aerial) zeigen keine höheren Trefferquoten (KÖHL 1991, MAUSER 1991). Dies liegt vermutlich daran, daß die Vergleichskollektive nicht nur typische Vertreter aus dem mittleren Bereich der jeweiligen Klasse, sondern auch immer einen gewissen Anteil an Klassifizierungsergebnissen aus dem Grenzbereich benachbarter Klassen enthalten.

Die inventurtechnische Alternative, bestandesbezogener Aussagen mittels Einzelbaumstichproben herzuleiten, dürfte damit zwar quantitativ mehr Informationen, aber nicht qualitativ bessere, d.h. "genauere" Inventurergebnisse liefern. Durch eine fragestellungsbezogene Optimierung des Inventurdesigns und des Stichprobenumfangs (SCHLAEPFER et al. 1985), eventuell auch durch Abkehr von systematischen Stichproben und Einsatz von Verfahren, die im Zusammenhang mit Forstbetriebsinventuren diskutiert werden (PELZ 1987), wären sie aber möglicherweise in ein gesamtbetriebliches Monitoring zu integrieren. Solange Waldschadenskartierungen auf der Ebene der Forstbetriebe noch als eigenständige Inventuraufgabe zu bewältigen sind und die Zusterfassung der Forsteinrichtung weiter bestandesbezogen durchgeführt wird, stellt die hier entwickelte flächenintegrierende Taxation aber die wohl rationellste Methode zur Aquisition flächenbezogener Informationen über das Ausmaß deutlicher Waldschäden dar.

Die Berücksichtigung waldschadensbedingter Bestandesverlichtung als Symptom fortschrittlicher Waldschäden stellt an sich zwar noch keine wesentliche Neuerung dar, da es dafür bereits anschauliche Vorbilder gibt (z.B. LUX u. PELZ 1968, PELZ 1966, WOLFF 1970 a, b), die erstmalige Verwendung der *Bestandesverlichtung als eigenständiger Parameter* eröffnet jedoch vielfältige Möglichkeiten. Beispielsweise können damit kleinflächige Absterbeherde (UEBEL u. DÖRR 1989) oder großflächig letale Waldschäden (WAGNER 1989) sehr rationell kartiert werden.

Als vorteilhaft hat es sich auch erwiesen, die Flächen einheitlicher Bestandesschadstufen ohne Kenntnis der derzeit gültigen Waldeinteilung abzugrenzen. Flächen homogener Schadenssituation als Befundeinheiten zu wählen, führt gegenüber der Alternative, an vorgegebenen Bestandesgrenzen festzuhalten, zu einem deutlich höheren Informationsgewinn. Beim Festhalten an vorgegebenen Grenzen werden deutliche Unterschiede innerhalb eines Bestandes auf Bestandesebene nivelliert. Eine *Kartierung frei interpretierter Linien* liefert dagegen durch Teilung oder Zusammenfassung von Beständen homogener Schadenssituation eine wesentlich prägnantere Aussage und kann bei der anschließenden Verschneidung mit der Karte der Waldeinteilung auch zu überraschenden, neuen Erkenntnissen führen.

Die hier gewählte *Kartiertechnik* der Flächendelinierung auf dem Luftbild und optisch-zeichnerischen Übertragung auf maßstabsgerechte Karten liefert, bei Beachtung der Mindestanforderungen zur Reduzierung potentieller Kartierungsfehler durch radiale Punktversetzung (HILDEBRANDT 1961), auch geometrisch verlässliche Ergebnisse. Waldschäden treten nicht parzellenscharf auf, sondern zeigen in größeren Bestandeskomplexen fließende Übergänge zwischen unterschiedlichen Schädigungsgraden. Damit beinhaltet die Abgrenzung unterschiedlicher Bestandesschadstufen zwangsläufig einen Toleranzbereich, der größer ist als die Lagefehler durch radiale Punktversetzung. Möglicherweise können sich abzeichnende, ebenfalls sehr einfache Kartiermethoden, wie das in Österreich entwickelte "Monoplotting" (FLECK u. FISCHER 1992, STOLITZKA 1991) oder der Einsatz neuer Interpretationsstereoskope mit Digitalisierereinrichtung (z.B. Visopret 10 DIG von ZEISS Jena), hier künftig eine weitere Optimierung des Verfahrens ermöglichen. Insbesondere das "Monoplotting" scheint sich zur geometrisch exakten Kartierung der Interpretationsergebnisse anzubieten, da die erreichbaren Genauigkeiten jenen von Orthophotos entsprechen und damit für die meisten forstlichen Anwendungen ausreichend seien (STOLITZKA 1991). Mit dem dabei obligatorischen Einsatz digitaler Geländemodelle wird die gesteigerte geometrische Genauigkeit jedoch durch einen ebenfalls gestiegenen Aufwand erkauft.

Die Anwendung der Karten in der Praxis muß schließlich zeigen, ob die hier gewählte räumliche Auflösung dem örtlichen Informationsbedarf gerecht wird, ob eine wesentlich großräumigere Delinierung, wie sie STOCK (1988) im Harz durchgeführt hat, auch ausreichend wäre oder ob die Abgrenzung der Bestandesschadstufen noch detaillierter zu erfolgen hätte. Ein entsprechendes Beispiel hat NIEHAUS (1986) zur Verbreitung der Kiefern-Chlorose im niedersächsischen Tiefland vorexerziert. Eine solche Delinierung entlang von Einzelkronen würde den Arbeitsaufwand aber erheblich steigern.

Mit dem hier entwickelten Verfahren liegen die *Kosten* einer bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden mittels flächenintegrierender Interpretation aus mittelmaßstäbigen Luftbildern (ohne Erstellung der Kartengrundlage, Organisation und Berichterstattung) in einer Größenordnung von etwa 2,-- DM /ha bearbeiteter Waldfläche und damit etwa bei einem Sechstel der Kosten einer herkömmlichen, ebenfalls vollflächigen Schadenskartierung mit großmaßstäbigen Luftbildern und bestandesbezogenen Luftbildstichproben oder einer rein terrestrischen Inventur.

Für die flächendeckende Schadenserfassung, die von HILDEBRANDT u. GROSS (1992) als sich tendenziell abzeichnende Entwicklung erkannt wurde, weil dies immer wieder auch von der Praxis gewünscht werde, liegt hiermit der Entwurf eines operatio-

nellen Verfahrens vor. Die am Stand der Wissenschaft festgestellte Lücke zwischen den Verfahren zur Berechnung bestandesweiser Aussagen mittels einzelbaumweiser Stichproben aus großmaßstäbigen Luftbildern hohen Informationsgehalts einerseits und der flächenhaften Klassifizierung von flugzeug- oder satellitengestützten Scannerdaten eingeschränkten Informationsgehalts andererseits ist mit diesem Verfahren weitgehend geschlossen worden. An dem für künftige Inventuren empfohlenen Maßstab um 1:12.500 bleibt aber ersichtlich, daß die hier vollzogene Entwicklung ihren Ausgang vom großmaßstäbigen Luftbild genommen hat und weiterhin auf die Erkennbarkeit der aus dem Kronenmuster der Einzelbäume resultierenden Texturmerkmale angewiesen ist. Erste Ergebnisse paralleler Entwicklungen (GROSS 1992) lassen vermuten, daß zur vollständigen Schließung der hier konstatierten Lücke im Verfahrensspektrum in absehbarer Zeit auch eine Methode für den Maßstabsbereich um 1:20.000 bis 1:25.000 und flächenhafte Interpretation ausschließlich spektraler Farbsignale zu erwarten ist.

#### 4.2 Integration in ein Gesamtkonzept

Die beiden hier vorgestellten Inventurkonzepte sind, da ein Inventurverfahren in der Regel nicht *allen* Anforderungen gerecht werden kann, bewußt als voneinander getrennte Methoden entwickelt worden. Sie zielen darauf ab, der jeweiligen Entscheidungsebene die für ihre planerische Belange adäquaten Informationen bereitzustellen. Einschließlich der landes- und bundesweit sowie international agierenden terrestrischen Waldzustandserhebung existieren damit insgesamt drei, bisher voneinander isoliert arbeitende Waldzustandinventuren. Bei weiterhin getrennter Durchführung, Auswertung und Berichterstattung besteht jedoch die Gefahr, mit einer Vielfalt sich ergänzender oder konkurrierender, eventuell zu unterschiedlichen Terminen präsentierter Zahlen die interessierte Öffentlichkeit eher zu verwirren als gründlich zu informieren.

Aufgrund der zwangsläufig gegebenen inhaltlichen Verknüpfungspunkte zwischen diesen drei Monitoringebenen bietet es sich daher an, sie in ein gemeinsames Inventurkonzept zur Waldschadensüberwachung zu integrieren (Abb. 4.1). Diese Integration sollte jedoch nicht auf inventurtechnischem Wege über ein mathematisch anspruchvolles Stichprobenkonzept, sondern inhaltlich und organisatorisch gelöst werden.

Im Rahmen dieses inhaltlich integrierten Waldschadens-Monitorings ist es auf der *ersten (obersten) Informationsebene* Aufgabe der terrestrischen Waldzustandserhebung, anhand ihres relativ groben Stichprobenrasters regelmäßig kurzfristig verfügbare Aussagen über den aktuellen Waldzustand zu liefern. Die kleinsten Befundeinheiten, für die

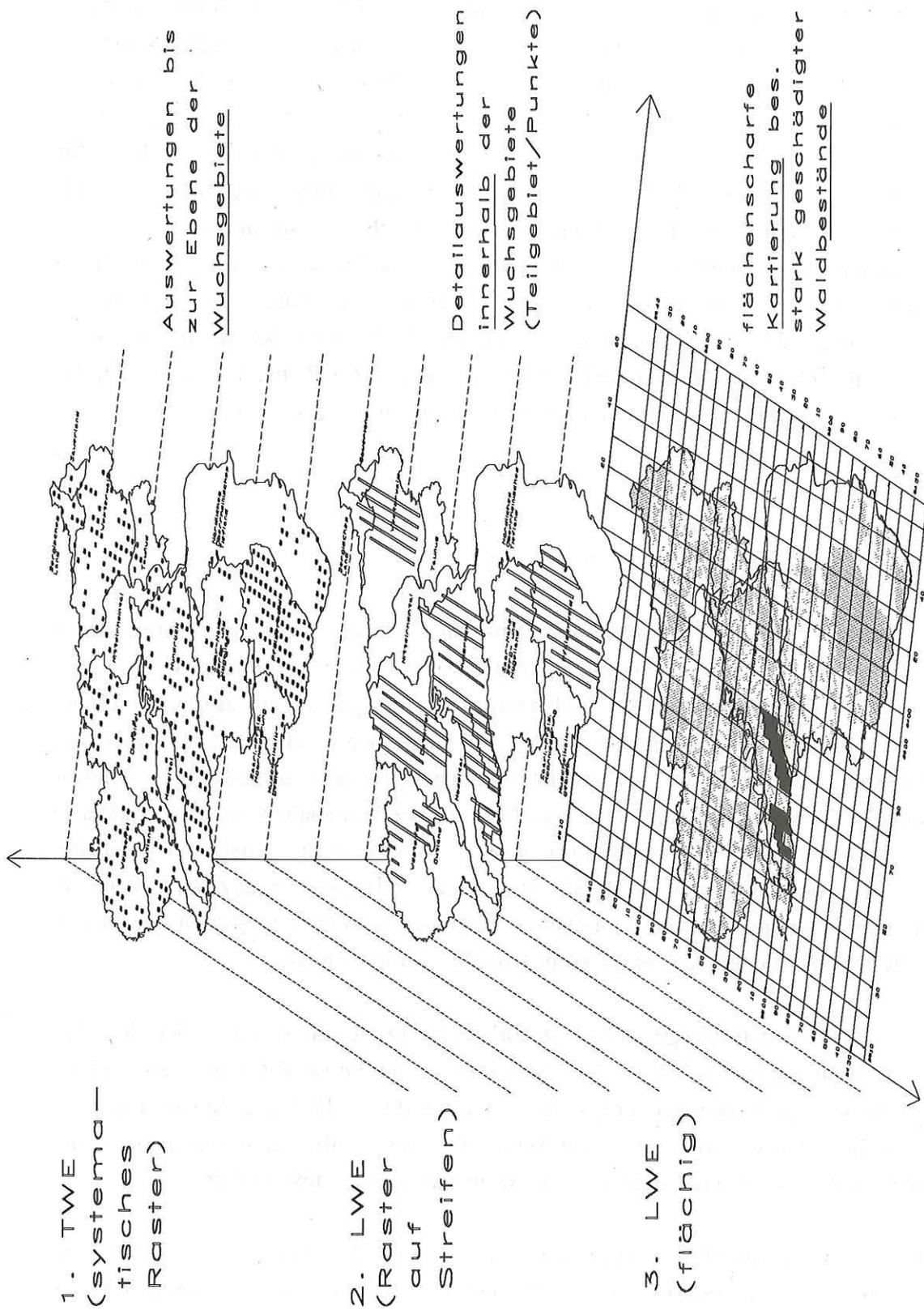


Abb. 4.1: Informationsebenen eines Gesamtkonzepts zur integrierten Waldzustandsüberwachung; dargestellt am Beispiel des Landes Rheinland-Pfalz

auf der Basis dieser Datengrundlage Auswertungen vorgelegt werden können, sind die forstlichen Wuchsgebiete. Damit können - zumindest anhand der im Abstand von drei Jahren vorgesehenen Vollstichproben (DAMMANN et al. 1992) - colorierte Karten über die regionale Verteilung der Waldschäden angefertigt werden (z.B. BML 1991). Ob es von der Aussage her sinnvoll und inventurtechnisch überhaupt angemessen ist (KÖHL u. GERTNER 1991), diese Ergebnisse auch auf der Ebene der Einzelpunkte darzustellen, wie es seit Jahren in den europäischen Waldzustandsberichten geschieht (z.B. UN-ECE 1992), wird, zumindest für weitmaschige Stichprobennetze, in Frage gestellt.

Auf der *zweiten (mittleren) Informationsebene* wird die periodische, großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung mit ihren Bildflugstreifen und dem wesentlich dichteren Stichprobenraster in die Wuchsgebietsergebnisse der terrestrischen Erhebung eingehängt. Ihre Aufgabe ist es, Detailinformationen innerhalb der Wuchsgebiete bereitzustellen und kleinräumliche Schadensverteilungsmuster aufzudecken. Die angestrebte inhaltliche Integration dieser ersten beiden Informationsebenen erfolgt an ihrer gemeinsamen Schnittstelle, den Wuchsgebieten. Nur wenn das Wuchsgebietsergebnis, d.h. das Gesamtergebnis einer regionalen Luftbild-Waldzustandserhebung, mit dem Ergebnis der terrestrischen Erhebung in demselben Wuchsgebiet in seiner Größenordnung übereinstimmt, so wie es im Untersuchungsgebiet Westerwald in der vorliegenden Arbeit der Fall war, können die mit der Luftbild-Waldzustandserhebung ermittelten Detailinformationen im Lichte der landesweiten oder überregionalen Waldschadenssituation bewertet werden. Die weitgehende Übereinstimmung der Ergebnisse an der Schnittstelle beider Methoden ist somit eine entscheidende Voraussetzung für die Glaubwürdigkeit der Detailergebnisse. Mehr als eine Übereinstimmung in der Größenordnung sollte aufgrund der unvermeidbaren Unterschiede in der terrestrischen und aeralen Kroneneinsicht sowie der bekannten Schätzgenauigkeiten aber nicht gefordert werden.

Vollflächige CIR-Luftbildflüge zur flächenintegrierenden Taxation und bestandesbezogenen Kartierung von Waldschäden für forstbetriebliche Zwecke sollten auf der *dritten (unteren) Informationsebene* nur in solchen Gebieten durchgeführt werden, die sich auf den ersten beiden Informationsebenen bereits als Hauptschadensgebiete herauskristallisiert haben. Nur dort ist ein flächendeckender Überblick über die lokale Schadensverteilung in einer sehr detaillierten räumlichen Auflösung gefordert. Auf dem überwiegenden Teil der Landeswaldfläche wäre es nicht sinnvoll, den hohen Aufwand einer flächendeckenden Kartierung zu betreiben. Daher wird hier auch keine inventurtechnische, sondern eine inhaltliche Integration in ein Gesamtkonzept zur Waldzustandsüberwachung vorgeschlagen.

Das schließt jedoch nicht aus, daß die als Datenbank und als thematische Karten vorliegenden bestandesbezogenen Informationen auf forstbetrieblicher Ebene in ein forstliches geographisches Informationssystem (GIS) eingespeist und einer weiteren Verwendung nutzbar gemacht werden (BARTELME 1990, HINRICHS et al. 1992). Die so möglich gewordene Erstellung ständig neuer thematischer Karten hat längst dazu geführt, daß Karten nicht nur als Darstellungsmittel, sondern auch als "heuristisches Medium" (HAKE 1977) verwendet werden können, indem aus der Verschneidung mit anderen Flächeninformationen (z.B. Standortskarten) Schlußfolgerungen für praktische Bewirtschaftungsmaßnahmen gezogen werden. Auch hier gilt jedoch der mahrende Hinweis von WIRTH (1990), sich nicht vom ersten Eindruck solcher Systeme blenden und nicht zu nutzlosen Spielereien verführen zu lassen.

Die rationelle Datenbereitstellung für Planung und Entscheidung im Forstbetrieb ist jedoch eine Daueraufgabe, bei der auch die Methoden und das Instrumentarium der Inventuren laufend kritisch auf ihre Zweckmäßigkeit und Rationalität geprüft werden sollten (HILDEBRANDT 1970 b).

Abschließend ist festzuhalten, daß alle drei Informationsebenen dieses Gesamtkonzepts zur integrierten Waldzustandüberwachung ausschließlich auf eine Kronenzustandserhebung ausgerichtet sind und damit nur einen Teilaspekt des vielfältigen Waldschadensgeschehens beleuchten. Gleichrangig neben diesen okularen Kronenzustandserhebungen müssen daher auch repräsentative Belastungserhebungen mit Hilfe chemischer Nadelanalysen (HEIDINGSFELD 1991 b) sowie eine intensive Bodenzustandserhebung (BLOCK et al. 1991) erfolgen.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Starke Waldschäden in den Höhenlagen der Mittelgebirge erfordern kurzfristig einzuleitende waldbauliche Sanierungsmaßnahmen. Eine gezielte Steuerung solcher Maßnahmen zur Erhaltung oder Wiederherstellung gesunder und leistungsfähiger Waldökosysteme ist aber nur möglich, wenn der jeweiligen Entscheidungsebene die für ihre planerischen Belange adäquaten Informationen vorliegen.

Für landesweite oder überregionale Planungen können derartige Informationen vor allem mittels großräumig repräsentativer Stichproben erhoben werden. Im Rahmen dieser Arbeit ist daher ein *operationelles und vor allem kostengünstiges Verfahren zur großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebung mit permanenten Stichproben* entwickelt und in der Praxis erprobt worden.

Zur praktischen Umsetzung waldbaulicher Sanierungsmaßnahmen auf der Ebene der Forstbetriebe sind konkrete Informationen über die Lage, Verteilung und Flächenausdehnung besonders stark geschädigter Waldbestände erforderlich. Daher ist hier außerdem eine *rationelle Methode zur flächenhaften Taxation von Waldschäden aus mittelmaßstäbigen Luftbildern und zur bestandesbezogenen Kartierung auf Forstbetriebsebene* entwickelt und ebenfalls in der Praxis erprobt worden.

### **Großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung mit vereinfachten permanenten Stichproben**

Für großräumige Auswertungsebenen wird ein Inventurkonzept vorgeschlagen, das terrestrische und luftbildgestützte Waldzustandserhebungen sowohl stichprobentechnisch als auch inhaltlich in ein gemeinsames Inventursystem integriert. Dabei ist es Aufgabe der terrestrischen Waldzustandserhebung, aktuelle landesweite Überblicke bis zur Ebene der Wuchsgebiete anzubieten, während die Luftbild-Waldzustandserhebung tiefergehende Detailauswertungen innerhalb der Wuchsgebiete liefern soll.

Der Stichprobenplan der Luftbild-Waldzustandserhebung arbeitet mit einem in das terrestrische 4x4-km-Raster eingehängten systematischen 0,3 x 1,0-km-Raster und Kreuztrakten aus viermal sechs Stichprobenbäumen an jedem Rasterpunkt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und zur Rationalisierung werden im Luftbild jedoch nur der Stichprobenmittelpunkt und die 4 Satellitenmittelpunkte markiert. Eindeutig definiert werden die 24 Probebäume dagegen mittels fest vorgegebener Interpretationsregeln und einfachen Kronenskizzen mit einer Nummerndokumentation auf einem Papierbild. Zur Wiedererkennung derselben Stichprobenbäume in den Luftbildern einer Folgebefliegung müssen dann nur die fünf Mittelpunkte des Stichprobenpunktes lagegetreu in die Luftbilder des Folgebildfluges übertragen werden.

Zur Restitution der Stichproben sind sowohl Methoden der analytischen Photogrammetrie als auch bisher noch nicht angewendete optisch-mechanischen Methoden geeignet.

Bei der Restitution der permanenten Stichproben in den Luftbildern einer Folgebefliegung mit Methoden der analytischen Photogrammetrie hat sich die Verwendung von topographischen Dauerpaßpunkten der Landesvermessung als sehr rationell und unkompliziert erwiesen. Die aufwendige Paßpunktbeschaffung durch geodätische Einmessung und terrestrische Signalisierung luftbildsichtbarer Punkte konnte damit vollständig eingespart werden; die Methode ist aber nach wie vor mit beträchtlichem photogrammetrischem Aufwand verbunden und kann vorerst nur in Gebieten mit einer ausreichenden Dichte von Dauerpaßpunkten eingesetzt werden.

Außerdem wird ein technisch relativ altes, in diesem Kontext aber vollkommen neues Verfahren zur Restitution der Stichprobenorte mit optisch-mechanischen Methoden vorgestellt. Dieses Verfahren beruht auf einer Wiederentdeckung der in der allgemeinen Photogrammetrie fast in Vergessenheit geratenen und im forstlichen Luftbildwesen vermutlich noch nie eingesetzten Punktübertragungsgeräte. Bei dieser optisch-mechanischen Punktübertragung, die auf der Erzeugung eines Stereoeffektes aus zwei Bildern unterschiedlicher Bildflüge basiert, ist nur ein Arbeitsgang erforderlich. Daher liegen die übertragenen Punkte bei Einsatz dieser Methode sehr schnell vor.

Die Übertragungsgenauigkeit ist bei beiden Methoden überwiegend gut bis sehr gut, wobei auf optisch-mechanischem Wege in der Regel tendenziell bessere Ergebnisse erzielt worden sind als mit der aufwendigeren Aerotriangulation.

Die unter ökonomischen und arbeitsorganisatorischen Gesichtspunkten zu fordernde Trennung von Punktübertragung und Interpretation ist am Punktübertragungsgerät technisch vorgegeben. Die photogrammetrische Punktübertragung kann diese Forderung ebenfalls erfüllen, wenn die hier vorgeschlagene Ausgabe der Lagekoordinaten in Bildkoordinaten gewählt und eine Deckfolie zu dem zu interpretierenden Luftbild angefertigt wird. Die optische Visualisierung der Stichprobenmittelpunkte mit schwarzen Punkten stößt über dunklen Beständen dann allerdings gelegentlich auf Grenzen. Dagegen ist die Qualität der optischen Visualisierung bei der Übertragung an einem Punktübertragungsgerät geradezu bestechend. Auch die ökonomische Bewertung der beiden Alternativen zur Punktübertragung fällt eindeutig zu Gunsten der optisch-mechanischen Übertragung aus.

In der Kombination aus dem hier vorgestellten Stichprobenplan, der preiswerten, aber absolut eindeutigen Dokumentation der Stichprobenbäume mittels einfacher Papierfotos von Ausschnittsvergrößerungen der Stichprobenpunkte und der optisch-mechanischen

Übertragung dieser Stichprobenmittelpunkte steht damit erstmalig eine technisch leicht realisierbare und wirtschaftlich vertretbare Methode zur Restitution permanenter Stichproben in großräumigen Luftbild-Waldzustandserhebungen zur Verfügung.

In Jungbeständen ist eine einzelbaumweise Luftbildinterpretation maßstabsbedingt oft nicht möglich. Deshalb wird als Behelfslösung für die Luftbild-Waldzustandserhebung eine Substitution fehlender Daten aus Jungbeständen durch gebietsspezifische, "normale" Schadstufenverteilungen der betreffenden Baumart und Altersklasse vorgeschlagen. Der Praxistest zeigt, daß dieser Behelf zu einer hohen Übereinstimmung der Gesamtergebnisse von Luftbild- und terrestrischer Waldzustandserhebung beiträgt.

In Ergänzung der bisherigen Inventurkonzepte für großräumige Luftbild-Waldzustandserhebungen ist hier, dank der ausschließlich permanenten Stichproben und der obligatorisch einzelbaumweisen Ergebniserfassung künftig auch eine einzelbaumweise Taxationskontrolle, eine Erfassung von Veränderungen im Stichprobenkollektiv sowie eine Quantifizierung des Einflusses von Kollektivverschiebungen möglich. Damit ist die großräumige Luftbild-Waldzustandserhebung dem terrestrischen Verfahren sowohl methodisch als auch ökonomisch vergleichbar geworden.

### **Bestandesbezogene Luftbild-Kartierung von Waldschäden auf der Ebene der Forstbetriebe**

Dem Bedarf der forstlichen Praxis nach einer flächendeckenden Kartierung starker Waldschäden in den Hauptschadensgebieten folgend wird ein Inventuransatz zur bestandesbezogenen Waldschadenskartierung aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern vorgeschlagen. Damit wird die derzeit noch vorhandene Lücke zwischen aufwendigen Luftbildstichproben mit bestandesbezogenem Informationsgehalt und rationellen flächigen Klassifizierungen von flugzeug- oder satellitengestützten Scannerdaten eingeschränkten Informationsgehalts zumindest teilweise geschlossen.

Als geeignete Kenngröße zur flächenhaften Schätzung und anschaulichen Charakterisierung der komplexen Informationen über die Waldschadenssituation eines Bestandes wird der "Anteil deutlich geschädigter Bäume" (Summe der Schadstufen 2 bis 4) vorgeschlagen. Diese Kennziffer besitzt hohe Aussageprägnanz, kartographische Eignung, hohe Öffentlichkeitswirksamkeit sowie vollkommene Transparenz ihrer Konstruktion.

Als Schätzgröße zur flächenhaften Interpretation von Waldschäden mit Hilfe mittelmaßstäbiger CIR-Luftbilder ist der Anteil deutlich geschädigter Bäume sehr gut geeignet. Mit dem Beginn der deutlichen Schädigung ändern sich die luftbildrelevanten Auswertungskriterien am Einzelbaum so stark, daß sie in mittelmaßstäbigen Luftbildern leicht zu erkennen sind. Mit den hier entwickelten Interpretationsschlüsseln für "Bestandesschadstufen" ist der Anteil solcher Bäume auch ohne Stichprobe zumindest näherungsweise schätzbar. Damit liegen erstmalig Schlüssel zur flächenhaften Taxation der Waldschadenssituation ganzer Bestände vor.

Die Verifizierung der flächenintegrierenden Taxation von Bestandesschadstufen aus mittelmaßstäbigen CIR-Luftbildern mittels einzelbaumweise aus großmaßstäbigen Luftbildern interpretierter oder terrestrisch bonitierter Probekreise hat Klassifizierungsgenauigkeiten von insgesamt etwa 80 % und ausgeglichene Unter- und Überschätzungen gezeigt. Dieses Ergebnis entspricht den beim Vergleich von einzelbaumweiser Luftbildinterpretation und terrestrischen Bonitierungen erzielten Ergebnissen oder liefert sogar höhere Gesamtgenauigkeiten. Auch Einzelbaum-Kontrollbonituren von verschiedenen Taxatoren nach gleicher Methode (terrestrisch oder aerial) zeigen keine höheren Trefferquoten.

Waldschadensbedingte Bestandesverlichtung als Symptom fortgeschrittener Waldschäden wird hier erstmalig als eigenständiger Parameter erhoben. Dies eröffnet vielfältige Möglichkeiten. Dadurch können beispielsweise kleinflächige Absterbeherde oder großflächig letale Waldschäden sehr rationell kartiert werden.

Die hier gewählte Kartiertechnik der Flächendelinierung auf dem Luftbild und optisch-zeichnerischen Übertragung auf maßstabsgerechte Karten liefert, bei Beachtung der Mindestanforderungen zur Reduzierung potentieller Kartierungsfehler durch radiale Punktversetzung, geometrisch verlässliche Ergebnisse. Waldschäden treten nicht parzellscharf auf, sondern zeigen in größeren Bestandeskomplexen fließende Übergänge zwischen unterschiedlichen Schädigungsgraden. Damit beinhaltet die Abgrenzung unterschiedlicher Bestandesschadstufen zwangsläufig einen Toleranzbereich, der größer ist als die Lagefehler durch radiale Punktversetzung. Eventuell können sich abzeichnende, ebenfalls sehr einfache Kartiermethoden, wie das in Österreich entwickelte "Monoplotting" oder neue Interpretationsstereoskope mit Digitalisierereinrichtung, künftig eine weitere Optimierung des Verfahrens ermöglichen.

Mit dem hier entwickelten Verfahren liegen die Kosten einer bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden mittels flächenintegrierender Interpretation aus mittelmaßstäbigen Luftbildern (ohne Erstellung der Kartengrundlage, Organisation und

Berichterstattung) in einer Größenordnung von etwa 2,-- DM /ha bearbeiteter Waldfläche und damit etwa bei einem Sechstel der Kosten einer herkömmlichen, ebenfalls vollflächigen Schadenskartierung mit großmaßstäbigen Luftbildern und bestandesbezogenen Luftbildstichproben oder einer rein terrestrischen Inventur. Damit liegt ein operationelles Verfahren zur flächendeckenden Schadenserfassung vor.

### **Integration in ein Gesamtkonzept**

In der abschließenden Diskussion wird vorgeschlagen, diese beiden getrennten Inventurkonzepte gemeinsam mit der bestehenden terrestrischen Waldzustandserhebung in ein aus drei Informationsebenen bestehendes Gesamtkonzept zu Waldzustandsüberwachung zu integrieren.

Im Rahmen dieses inhaltlich integrierten Waldschadens-Monitorings ist es auf der obersten Informationsebene Aufgabe der terrestrischen Waldzustandserhebung, aktuelle Waldzustandsinformationen bis zu Befundeinheit der Wuchsgebiete zu liefern.

Die Wuchsgebiete sind die Schnittstelle zur mittleren Informationsebene, auf der die periodische Luftbild-Waldzustandserhebung mit Hilfe ihres deutlich dichteren Stichprobenrasters tiefergehende Detailauswertungen bereitstellen und kleinräumliche Schadensverteilungsmuster aufdecken soll.

Auf der untersten Informationsebene werden vollflächige CIR-Luftbildbefliegungen zur flächenintegrierenden Taxation und bestandesbezogenen Kartierung deutlicher Waldschäden durchgeführt. Dies erfolgt jedoch nur in solchen Regionen, die sich aus den Inventuren der beiden ersten Informationsebenen als Hauptschadensgebiete herauskristallisiert haben.

- AKÇA, A. 1980:** Digitale Waldkartierung und Einsatzmöglichkeiten in der Forsteinrichtung. *Allgem. Forst Zeitschrift* 35: S. 725 - 728
- AKÇA, A. 1981:** Erfassung des Rohstoffes Holz mit Hilfe moderner Luftbildtechniken. *Schriften aus der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, Band 69, Frankfurt/M: J.D. Sauerländer's Verlag.* S. 93 - 106
- AKÇA, A. 1989:** Permanente Luftbildstichprobe. *Allgem. Forst- und Jagdzeitung* 160: S. 65 - 69
- AKÇA, A. u. P. H. DONG 1989:** Der Einsatz des analytischen Luftbildauswertungsgerätes DSR 11/18 in der Forstwirtschaft. *KERN-Bulletin, Aarau/Schweiz* o. S.
- AKÇA, A., T. PRÖBSTING, M. RHEIN u. J. SCHNURR, 1989:** Mehrphasiges System zur Überwachung und Kartierung von Waldschäden unter Einbeziehung aller verfügbaren Fernerkundungs-Daten-Quellen. In: *Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLR-Abschlußdokumentation, Teil A, Oberpfaffenhofen, S. 51 - 72*
- AKÇA, A., A. PAHL u. U. SETJE-EILERS 1991:** Analytische Auswertung von Luftbildzeitreihen zum Nachweis von Veränderungen in Waldbeständen. In: *OESTEN, G., S. KUNTZ u. C. P. GROSS (Hrsg.): Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Karlsruhe: Verlag H. Wichmann. S. 32 - 42*
- AKÇA, A., B. WOLFF u. H. FUCHS 1992:** Die Verbesserung der Effizienz der betriebsweisen Kontrollstichprobe mit Methoden der digitalen Luftbildauswertung. *Unveröffentlichter Abschlußbericht zum DFG-Projekt Nr. AK 9/2-1, 2 Teile in einem Band, Göttingen, Teil 1: 139 S., Teil 2: 61 S. u. Anhang*
- ALBERTZ, J., W. HARTERMANN u. F. SCHOLTEN 1989:** Digitale geometrische Aufbereitung multisensoraler und multitemporaler Fernerkundungsdaten für die Waldschadensforschung. In: *Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLR-Abschlußdokumentation, Teil A, Oberpfaffenhofen, S. 73 - 91*
- AMMER, U., R. MÖSSMER u. U. BRÖKER 1983:** Der Beitrag der Fernerkundung zu Erfassung der Waldschäden. *Forstwiss. Centralblatt* 102., S. 149 - 157
- AMMER, U., M. BURGIS, B. KOCH u. K. MARTIN 1988:** Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Schädigungsgrad und Meereshöhe im Rahmen des Schwerpunktprogramms zur Erforschung der Wechselwirkungen von Klima und Waldschäden. *Forstwiss. Centralblatt* 107: S. 145 - 151
- AMMER, U., W. FRANKEN, K. HERRMANN, J. MOGGART u. P. REINARTZ 1989:** Interpretation von Flugzeugscannerdaten zur Beurteilung der Vitalität von Kiefern. In: *Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLR-Abschlußdokumentation, Teil A, Oberpfaffenhofen, S. 92 - 105*
- ANTHONY, D.A. 1986:** Die Grenzen und Möglichkeiten der visuellen Photo-Interpretation und computergestützten Luftbildauswertung zur Ansprache der mitteleuropäischen Baumarten. *Diss. Universität Freiburg, 164 S.*

- ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (AK ST-O-K) 1980:** Forstliche Standortaufnahme. 4. Auflage, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag. 188 S.
- 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 1990:** dBase IV, Handbuch: Befehle und Funktionen. Frankfurt/M.: Ashton-Tate GmbH. S. 1.1 - 7.17 u. Anhänge A.1 - I.33
- AUTODESK 1991:** AutoCAD Release 11.0, Benutzerhandbuch. Publication AC11RM.G2 der Autodesk AG, Schweiz, 669 S.
- BACK, R. 1952:** Erfahrungen bei der forstlichen Auswertung von Luftbildern. Forstarchiv 23: S. 180 - 183
- BAUMANN, H. 1954:** Das Luftbild als praktisches Hilfsmittel für die Forsteinrichtung. Allgem. Forstzeitschrift 9: S. 297 - 300
- BAUMANN, H. 1957:** Forstliche Luftbildinterpretation. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Band 2, Tübingen-Bebenhausen, 109 S.
- BAUSH & LOMB 1983:** Stereo Zoom Transfer Scope. Publication 53-5010/0383 der Fa. BAUSH & LOMB, Rochester, USA, 6 S.
- BARTELME, N. 1990:** Bewertung von Geoinformationssystemen. Österreichische Forstzeitung 101 (4): S. 83 - 84
- BEUTEL, E. 1986:** Infrarot-Color-Luftbildbefliegung 1984 im Rhein-Hunsrück-Kreis. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 422 - 444
- BEUTEL, E. u. N. HEIDINGSFELD 1991:** Waldschäden im Donnersberg-Gebiet - Auswertung der Color-Infrarot-Luftbilder 1989. Selbstverlag Bezirksverband Pfalz: Neustadt/Weinstr., 57 S.
- BITTER, A. W. 1991:** Auswirkungen eines Orkanschadens in einem Privatforstbetrieb: Analyse mit Hilfe eines flächenbezogenen Betriebsformationssystems. Forst und Holz 46: S. 481 - 486
- BLOCK, J. 1990:** Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen Waldgebieten 1984 - 1989. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 14, Trippstadt, 43 S. u. Anhang
- BLOCK, J., O. BOPP, M. GATTI, N. HEIDINGSFELD u. R. ZOTH 1991:** Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 17, Trippstadt, 235 S.
- BOPP, O. 1992:** Thematisch-kartographische Datenverarbeitung als Baustein eines künftigen Informationssystems. In: Forst- GIS, Eckpfeiler aller forstlichen Informationssysteme. Tagungsband des Arbeitskreis Forstliches Luftbild- und Kartenwesen in Recklinghausen, Selbstverlag Forstdirektion Rheinhessen-Pfalz: Neustadt/Weinstr., S. 51 - 57

- BOPP, O. u. N. VIETEN 1992:** Thematisch-kartographische Datenverarbeitung: Nutzung von AutoCAD als Informationssystem. Unveröffentlichte Systembeschreibung und Benutzerhandbuch, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Trippstadt, 36 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BML) 1991:** Bericht über den Zustand des Waldes 1991. BML-Schriftenreihe A, Heft 405, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag. 61 S. u. Anhang
- BURK, R. 1989:** Statistik. In: HILDEBRANDT, G., R. BURK, C.P. GROSS und J. MAXIN: Beitrag von Fernerkundungstechniken zur Erfassung des Gesundheitszustandes der europäischen Wälder. Unveröffentlichter Abschlußbericht EG-Forschungsvorhaben APPF 86/1/2, Teil 3, Freiburg, 106 S.
- BURK, R. 1992 a:** Waldschadenskennziffer zur flächen-, kleinflächen- und bestandesweisen Beschreibung der neuartigen Waldschäden. Allg. Forst- und Jagdzeitung 163: S. 41 - 44
- BURK, R. 1992 b:** Verbesserte statistische Analyseverfahren zur Auswertung von Waldschadensdaten für den europäischen Raum, Teil 1: Methodische Grundlagen, Teil 2: Datenanalyse. Allg. Forst- und Jagdzeitung 163: S. 121 - 128 u. 157 - 164
- CAGIRICI, M. 1978:** Untersuchungen zur Frage der Erkennung, Klassifizierung und Inventarisierung von kranken und abgestorbenen Kiefern in Infrarot-Farbluftbildern. Diss. Universität Freiburg, 187 S.
- CLARK, W. 1946:** Photography by infrared. Second Edition, New York: John Wiley and Sons Inc., 472 p.
- COLWELL, R.N. 1950:** New techniques for interpreting aerial color photography. J. Forest. 48: pp. 204 - 205
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (EEC) 1991:** Remote Sensing Applications for Forest Health Status Assessment. Manual printed in Belgium by Walphot S.A., pp. 1.1 - 6.24
- DAMMANN, I., N. HEIDINGSFELD, G. HOFFMANN, R. KALLWEIT, K.-G. NASSAUER u. W. WESSELS 1992:** Terrestrische Waldschadenserhebung (WSE) - Aufgaben, Methoden und Stellenwert. Forst und Holz 47: S. 699 - 701
- DELB, H. 1989:** Einzelbaumweise CIR-Luftbildinterpretation zur Kartierung kleinräumlicher Schadensverteilungsmuster in geschädigten Douglasienbeständen. Diplomarbeit Forstwiss. Fak. d. Universität Freiburg, 92 S.
- DENSTORF, O. 1981:** Ermittlung des Bestockungsgrades aus aerophotogrammetrischen Bestandesparametern am Beispiel von Kiefern- und Laubholzbeständen. Diplomarbeit Forstwiss. Fak. d. Universität Göttingen, 102 S. u. Anhang
- DEXHEIMER, W. 1970:** Luftbild zur Forstkartenherstellung in Rheinland-Pfalz. Allgem. Forst Zeitschrift 25: S. 750 - 751
- DEXHEIMER, W. 1975:** Erfahrungen bei der Einführung forstlicher Orthophotokarten in Rheinhessen-Pfalz. Allgem. Forst Zeitschrift 30: S. 11 - 13
- DOWNARD, A. 1976:** How to deal with a geographic base system without a computer. BAUSH & LOMB-Publication S-643/0379, Rochester, New York, 3 p.

- DUDEN 1982:** Der Duden in zehn Bänden, Band 5 "Fremdwörterbuch", 4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Mannheim, Wien, Zürich: Dudenverlag. o. S.
- DUHR, M. 1989:** Ein Verfahren zur dauerhaften Markierung von Einzelbäumen und Stichprobenkollektiven zur Wiedererkennung in CIR-Luftbildern. Diplomarbeit Forstwiss. Fak. d. Universität Freiburg, 131 S.
- DUHR, M. 1990:** Ein Verfahren zur luftbildsichtbaren Markierung von Einzelbäumen. Arbeitspapier 1 - 90, Reihe Fernerkundung. Freiburg: Selbstverlag des Instituts für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaftslehre. 14 S.
- EHRENTREICH, H.-P. 1991:** Entwicklung, Stand und erste Erfahrungen bei der Einführung der digitalen Kartenerstellung in der Praxis am Beispiel Baden-Württemberg. In: Computergestützte Herstellung von Forstkarten. Tagungsband des Arbeitskreis Forstliches Luftbild- und Kartenwesen in Treis-Karden/Mosel, Selbstverlag Forstdirektion Rheinhessen-Pfalz: Neustadt/Weinstr., S. 48 - 57
- FLECK, W. u. F. FISCHER 1992:** Luftbildüberleger zum Festlegen und Aufsuchen von Stichprobenpunkten. Österreichische Forstzeitung 103(1): S. 8
- FLEMING, J.F. 1980:** Standardization Techniques for Aerial Color Infrared Film. (engl., franc.), The Interdepartmental Committee on Air Surveys and The Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 28 p.
- FORSCHUNGSBEIRAT WALDSCHÄDEN/LUFTVERUNREINIGUNGEN (FBW) 1989:** Dritter Bericht. Kernforschungszentrum Karlsruhe, 611 S.
- FORSTBACH, R. u. W. WAMBSGANSS 1990:** Computergestützte Herstellung von Forstkarten in Rheinland-Pfalz. Allgem. Forst Zeitschrift 45: S. 1082 - 1085
- FÖRSTER, B. 1989:** Untersuchung der Verwendbarkeit von Satellitenbilddaten (Thematic Mapper) zur Kartierung von Waldschäden. Diss. Technische Universität Berlin, DFVLR-Forschungsbericht 89-06, Oberpfaffenhofen, 197 S.
- FORSTREUTER, W. u. M. KÖHL 1987:** Ein 4-phasiges Stichprobendesign zur Stratifikation unter Verwendung von Landsat-Daten, Luftbildern und terrestrischen Aufnahmen. Allg. Forst- und Jagdzeitung 158: S. 26 - 30
- FRAUDE, H.-J. 1987:** Zur Anzahl der Nadeljahrgänge der Waldkiefer - Untersuchungen im Rahmen von Waldschadenserhebungen in Rheinland-Pfalz. Der Forst- und Holzwirt 42: S. 415 - 417
- GÄBLER, C. 1992:** Die Forstkarte. Österreichische Forstzeitung 103(1): S. 40 - 41
- GÄRTNER, M. 1990:** Die Luftbildinventur im österreichischen Waldschaden-Beobachtungssystem (WBS). Schriftenreihe der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Band 14, Düsseldorf, S. 163 - 167
- GÄRTNER, M. 1993:** Die Luftbildinventur an der FBVA. Österreichische Forstzeitung 104 (1): S. 49
- GROSS C. P. 1989:** Optimierung der aeralen Waldschadensinventur. In: HILDEBRANDT, G., R. BURK, C.P. GROSS und J. MAXIN: Beitrag von Fernerkundungstechniken zur Erfassung des Gesundheitszustandes der europäischen Wälder. Unveröffentlichter Abschlußbericht EG-Forschungsvorhaben APPF 86/1/2, Teil 1, Freiburg, 44 S.

- GROSS C. P. 1992:** Raumbezogene Erfassung qualitativer Waldzustände in kleinmaßstäbigen CIR-Luftbildern. Vortrag bei der Forstlichen Hochschulwoche Freiburg 1992, Kurzfassung der Referate. Freiburg: Selbstverlag Forstwiss. Fakultät. S. 17
- GRUBER, F. 1987:** Das Verzweigungssystem und der Nadelfall der Fichte (*Picea abies* (L.) KARST) als Grundlage zur Beurteilung von Waldschäden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe A, Band 26, Göttingen, 214 S.
- HAKE, G. 1977:** Die Karte zwischen Anspruch und Gebrauch. Kartographische Nachrichten 27: S. 121 - 131
- HÄUSLER T. 1991:** Waldschadenskartierung in Fichtenrevieren durch Auswertung von Satellitenaufnahmen und raumbezogenen Zusatzdaten. Diss. Universität Freiburg, 198 S.
- HARTMANN, G. 1984:** Waldschadenserfassung durch Infrarot-Farbluftbild in Niedersachsen. Der Forst- und Holzwirt 39: S. 131 - 142
- HARTMANN, G. u. R. UEBEL 1986:** CIR-Luftbildinterpretationsschlüssel zur Schadansprache an Fichte im Harz. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 438 - 441
- HEIDINGSFELD, N. 1986:** Nutzung von Color-Infrarot-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
- HEIDINGSFELD, N. 1989:** Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 10, Trippstadt, 93 S.
- HEIDINGSFELD, N. 1990 a:** Optimierung der Interpretationsqualität bei CIR-Luftbildinventuren. In: Messen von Vegetationsschäden mit Color-Infrarot-Luftbildern. Schriftenreihe der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Band 14, Düsseldorf, S. 111 - 119
- HEIDINGSFELD, N. 1990 b:** Ein Verfahren zur kontrollierten Luftbild-Waldschadenserhebung mit permanenten Stichprobenorten. In: Messen von Vegetationsschäden mit Color-Infrarot-Luftbildern. Schriftenreihe der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Band 14, Düsseldorf, S. 121 - 140
- HEIDINGSFELD, N. 1991a:** Zustand des Waldes in Rheinland-Pfalz 1991 leicht verschlechtert. Forst und Holz 46: S. 630 - 632
- HEIDINGSFELD, N. 1991b:** Nähr- und Schadstoffgehalte in Fichten- und Kiefernadeln als Bioindikator im Rahmen großräumiger Waldzustandserhebungen. In: Bioindikation - Ein wirksames Instrument der Umweltkontrolle. VDI-Berichte, Band 901, Düsseldorf: VDI-Verlag. S. 235 - 257
- HEIDINGSFELD, N., J. BLOCK u. R. ZOTH 1990:** Zur Waldzustandssituation 1990 in Rheinland-Pfalz. Forst und Holz 45: S. 659 - 662
- HILDEBRANDT, G. 1957:** Zur Frage des Bildmaßstabes und der Filmwahl bei Luftbildaufnahmen für forstliche Zwecke. Archiv für Forstwesen 6: S. 285 - 306

- HILDEBRANDT, G. 1961: Zur Frage der radialen Punktversetzungen auf Luftbildern. Allg. Forst- und Jagdzeitung 132: S. 143 - 148
- HILDEBRANDT, G. 1966 a: Differentialenzerrung und Orthophoto. Allg. Forst- und Jagdzeitung 137: S. 152 - 158
- HILDEBRANDT, G. 1966 b: Vom ersten Luftbild bis zur Satellitenphotogrammetrie. Jahresbericht des Deutschen Forstvereins, Münster, S. 121 - 141
- HILDEBRANDT, G. 1969 a: Bibliographie des Schrifttums aus dem Gebiet der forstlichen Luftbildauswertung 1887 - 1968. Freiburg: Selbstverlag des Instituts für Forsteinrichtung und forstliche Betriebswirtschaftslehre. 307 S.
- HILDEBRANDT, G. 1969 b: Ermittlung von Stammdurchmesserverteilungen in Buchenbeständen durch Luftbildinterpretation. Bildmessung und Luftbildwesen 37: S. 48 - 54
- HILDEBRANDT, G. 1970 a: Luftbilder für Zustandserfassung und Planung in der Forstwirtschaft. Allgem. Forst Zeitschrift 25: S. 726 - 727
- HILDEBRANDT, G. 1970 b: Rationelle Datenbereitstellung für Planung und Entscheidung im Forstbetrieb. Forstarchiv 41: S. 1 - 4
- HILDEBRANDT, G. 1980: Voraussetzungen und Praxis der Inventur von Vegetationsschäden durch Fernerkundung. Allgem. Forst Zeitschrift 35: S. 720 - 725
- HILDEBRANDT, G. 1983: Studie zur Durchführung einer landesweiten Inventur zur Erfassung und Beobachtung der Waldschäden in Baden-Württemberg. Unveröffentlichte Studie, als Manuskript vervielfältigt, Freiburg, 24 S.
- HILDEBRANDT, G. 1984: Zur Festlegung und Lagedefinition der Stichprobenorte im Luftbild bei der Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 und möglichen Folgeinventuren. In: Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 mit Infrarot-Farbluftbildern. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 111, Freiburg, S. 119 - 129
- HILDEBRANDT, G. 1987 a: Toy or Tool - Fernerkundung aus dem Weltraum. Spiel- oder Werkzeug für die Forstwirtschaft. Forstwiss. Centralblatt 106: S. 141 - 168
- HILDEBRANDT, G. 1987 b: 100 Jahre forstliche Luftbildaufnahme - Zwei Dokumente aus den Anfängen der forstlichen Luftbildinterpretation. Bildmessung und Luftbildwesen 55: S. 221 - 224
- HILDEBRANDT, G. u. H. KENNEWEG 1968: Einige Anwendungsmöglichkeiten der Falschfarbenphotographie im forstlichen Luftbildwesen. Allg. Forst- und Jagdzeitung 139: S. 205 - 213
- HILDEBRANDT, G. u. H. KENNEWEG 1970: Vegetationsschädigungen und ihre Erkennung im Luftbild. Allgem. Forst Zeitschrift 25: S. 741 - 744
- HILDEBRANDT, G., O. GRUNDMANN, H. SCHMIDTKE u. P. TEPASSÉ 1986: Entwicklung und Durchführung einer Pilotinventur für eine permanente europäische Waldschadensinventur. Projekt europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF). Kernforschungszentrum, Forschungsbericht KfK-PEF 11, Karlsruhe, 84 S.

- HILDEBRANDT, G., R. BURK, C.P. GROSS und J. MAXIN 1989 a:** Beitrag von Fernerkundungstechniken zur Erfassung des Gesundheitszustandes der Europäischen Wälder. Unveröffentlichter Abschlußbericht, EG-Forschungsvorhaben APPF 86/1/2, 3 Teile, Freiburg, Teil 1: 44 S., Teil 2: 48 S., Teil 3: 106 S.
- HILDEBRANDT, G., R. BAUMGARTEN, A. KADRO, P. KIENZLE, S. KUNTZ u. H. SCHNEIDER 1989 b:** Untersuchung zur Methodik großräumiger Waldschadensinventur und der Beobachtung der Schadensentwicklung durch Fernerkundung und kombinierter Feldfernerkundungsverfahren. In: Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLR-Abschlußdokumentation, Teil A, Oberpfaffenhofen, S. 121 - 141
- HILDEBRANDT, G. u. C.P. GROSS 1992:** Erfassung von Waldschäden in Luftbildern - Praxis und künftige Entwicklung. Der Wald 42: S. 76 - 79
- HILF, H.H. 1923:** Die Bedeutung des Luftbildes für die Forstwirtschaft. Forstliche Wochenschrift Silva 11: S. 393 - 395
- HINRICHS, A., E. SCHWUNN u. M. ZINTEL 1992:** Geographische Informationssysteme in der Forstwirtschaft - Eine Einführung in die Arbeitsweise mit einem Anwendungsbeispiel zur Sturmschadensanalyse. Arbeitspapier 7 - 92, Freiburg: Selbstverlag Institut für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft. 30 S.
- HÖGER, T. 1987:** Rekonstruktion des Schadensverlaufs in vier Beständen des Freiburger Stadtwaldes. Eine Untersuchung mittels Infrarot-Farbluftbildern der Jahre 1971, 1980, 1985. Diplomarbeit Forstwiss. Fak. d. Universität Freiburg, 109 S.
- HRADEETZKY, J. 1984:** Zur Optimierung des Stichprobenplans der Luftbild-Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983. Allgem. Forst Zeitschrift 39: S. 1096 -1097
- HUGERSHOFF, R. 1911:** Die Photogrammetrie und ihre Bedeutung für das Forstwesen. Tharandter Forstliches Jahrbuch 62: S. 123 - 132
- HUGERSHOFF, R. 1923:** Ueber die Durchführung forstlicher Vermessungen mit Hilfe des Luftbildes. Forstliche Wochenschrift Silva 11: S. 395 - 396
- HUNZIKER, P., D. MANDALLAZ u. R. SCHLAEPFER 1988:** Zeitliche Entwicklung der Waldschäden - Möglichkeiten und Grenzen der statistischen Auswertung. Forstarchiv 59: S. 43 - 47
- HUSS, J. (Hrsg.) 1984:** Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Karlsruhe: Verlag H. Wichmann, 406 S.
- HÜTTL, R. F. 1991:** Die Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. Habil.-Schrift Universität Freiburg, Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Heft 28, Freiburg: Selbstverlag des Instituts für Bodenkunde und Waldernährungslehre. 440 S.
- INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANISATIONS (IUFRO, FACHGRUPPE S 2.09.00) 1981:** Bekräftigung der Resolution über maximale Immissionswerte zum Schutze der Wälder. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 137. Heft (II), Wien, S. 327 - 328

- INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANISATIONS (IUFRO, FACHGRUPPE S.4.02.00) 1992:** IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring. Draft, 15 Nov. 1992; Joensuu, Finnland/Washington, USA. 32 p.
- JOST, A. 1992:** Anwendung geostatistischer Methoden in der Forstinventur. Vortrag bei der Forstlichen Hochschulwoche Freiburg 1992, Kurzfassung der Referate. Freiburg: Selbstverlag Forstwiss. Fakultät. S. 16
- KADRO, A. 1973:** Die Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern für eine Inventur des Vitalitätszustandes der städtischen Straßenbäume in Freiburg. Diplomarbeit Universität Freiburg, 43 S.
- KADRO, A. 1990:** Forest Damage Inventory using Landsat Imagery by Means of Computer-Aided Classification. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 28, Part 7 - 1, Victoria, Canada, S. 425 - 432
- KÄTSCH, C. 1991:** Zweiphasige Stichprobenverfahren für Zwecke der Betriebsinventur auf der Basis einfacher Luftbildauswertung. Diss. Universität Göttingen, 202 S.
- KEIL, M., M. SCHARDT, A. SCHUREK u. R. WINTER 1989:** Waldkartierung mittels Satellitenbilddaten in Bayern. In: Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLRAbschlußdokumentation, Teil A, Oberpfaffenhofen, S. 194 - 212
- KENNEL, E. 1983:** Waldschadensinventur Bayern 1983 - Verfahren und Ergebnisse. Forstliche Forschungsberichte München, Heft Nr. 57, 183 S.
- KENNEWEG, H. 1972:** Die Verwendung von Farb- und Infrarot-Farbluftbildern für Zwecke der forstlichen Photo-Interpretation unter besonderer Berücksichtigung der Erkennung und Abgrenzung von Kronenschäden in Fichtenbeständen. Diss. Universität Freiburg, 253 S.
- KENNEWEG, H. 1975 a:** Luftbilder für die Gewinnung von Informationen über Vegetationsbestände in Ballungsräumen. Allgem. Forst Zeitschrift 30: S. 23 - 27
- KENNEWEG, H. 1975 b:** Objektive Kennziffern für die Grünplanung in Stadtgebieten aus Infrarot-Farbluftbildern. Landschaft und Stadt 7: S. 35 - 45
- KENNEWEG, H. 1980:** Luftbildinterpretation und die Bestimmung von Belastung und Schäden in vitalitätsgeminderten Wald- und Baumbeständen. Schriften aus d. Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, Band 62, Frankfurt/M.: J. D. Sauerländer's Verlag. 223 S.
- KENNEWEG, H. 1989:** Satellitenfernerkundung und die Skepsis der Forstpraktiker. Forst und Holz 44: S. 459 - 461
- KENNEWEG, H. 1992:** Waldschadenserhebung - Vom Waldsterben zum Waldzustand. Grünstift 1/92, Berlin, S. 10 - 12
- KENNEWEG, H. u. J. NAGEL 1983:** Vorschläge für ein mehrphasiges Inventurmodell zur großräumigen Erfassung des Zuwachsganges in geschädigten Fichtenwäldern. Allgem. Forst Zeitschrift 38: S. 763 - 766
- KENNEWEG, H. u. M. LIESEBACH 1984:** Luftbildauswertung und Analyse großräumiger Inventurdaten zur Walderkrankung. Der Forst- und Holzwirt 39: S. 142 - 149

- KENNEWEG, H., B. FÖRSTER, M. RUNKEL u. R. WINTER 1989 a:** Satellitenbilder zur Waldschadenserfassung - wo liegen die Probleme? Allg. Forst- und Jagdzeitung 160: S. 73 - 76
- KENNEWEG, H., B. FÖRSTER u. M. RUNKEL 1989 b:** Diagnose und Erfassung von Waldschäden auf der Basis von Spektralsignaturen. In: Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLR-Abschlußdokumentation, Teil A, Oberpfaffenhofen, S. 142 - 161
- KERSTING, R. 1975:** Maschinelles Zeichnen von Forstbetriebskarten. Allgem. Forst Zeitschrift 30: S. 20 - 21
- KLEIN, H. 1991:** So wird unser Wald gesundgelogen. BUND-Argumente, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., Bonn, 8 S.
- KLEINN, CH. 1991:** Zum Waldbegriff in forstlichen Großrauminventuren. Allg. Forst- und Jagdzeitung 162: S. 201 - 210
- KLIER, G. 1969:** Zur Bestimmung des Kronenschlußgrades im Luftbild. Archiv für Forstwesen 18: S. 871 - 876
- KOCH, W. u. U. MAIER-MAERKER 1992:** Die Bedeutung des Wasserhaushalts für die Beurteilung von Waldschäden: Vom "Waldsterben" über "neuartige Waldschäden" zum "Waldzustandsbericht". Allg. Forst Zeitschrift 47: S. 394 - 400
- KODAK 1981 a:** Applied Infrared Photography. Kodak Publication No. M-28, Rochester, USA, 84 p.
- KODAK 1981 b:** KODAK Infrared Films. Kodak Publication No. N-17, Rochester, USA, 20 p.
- KONECNY, G. u. G. LEHMANN 1984:** Photogrammetrie. 4., vollständig neu bearb. Auflage. Berlin/New York: Verlag W. de Gruyter. 392 S.
- KÖHL, M. 1987:** Forstliche Nationalinventuren in Europa. Allgem. Forst Zeitschrift 42: S. 19 - 24
- KÖHL, M. 1991:** Waldschadensinventuren: mögliche Ursachen der Variation der Nadel-/Blattverlustschätzung zwischen Beobachtern und Folgerungen für Kontrollaufnahmen. Allg. Forst- und Jagdzeitung 162: S. 210 - 221
- KÖHL, M. u. R. SUTTER 1991:** Verwendung von Luftbildern zur Holzvorratsschätzung im Schweizer Landesforstinventar (LFI). Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung 59: S. 165 - 176
- KÖHL, M. u. G. GERTNER 1992:** Geostatistische Auswertungsmöglichkeiten für Waldschadensinventuren: Methodische Überlegungen zur Beschreibung räumlicher Verteilungen. Forstwiss. Centralblatt 111: S. 320 - 331
- KÖLBL, O. 1982:** Stichprobenweise Luftbildauswertung zur Erneuerung der Arealstatistik. Geometrische Aspekte und Genauigkeitsanalyse. Zeitschrift f. Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik 10/82: S. 317 - 322
- KRAUS, K. 1982:** Photogrammetrie, Band 1: Grundlagen und Standardverfahren. Bonn: Ferd. Dümmler's Verlag. 328 S.

- KREIBIG, H. 1991:** Stand der digitalen Kartenherstellung in der ehemaligen DDR und geplante Entwicklungen der Forstkartenherstellung. In: Computergestützte Herstellung von Forstkarten. Tagungsband Arbeitskreis Forstliches Luftbild- und Kartenwesen in Treis-Karden/Mosel, Selbstverlag Forstdirektion Rheinhessen-Pfalz, Neustadt/Weinstr., S. 138 - 155
- KRISTÖFEL, F. u. M. NEUMANN 1993:** Ergebnisse der terrestrischen Kronenzustandserhebung für 1992. Österreichische Forstzeitung 104 (2): S. 28 - 30
- KRUTZSCH, H. 1925:** Das Luftbild im Dienste der Forsteinrichtung. Tharandter Forstliches Jahrbuch 76: S. 97 - 150
- KRUTZSCH, H. 1926:** Das Flugzeug im Dienste der Forstwirtschaft. (Entgegnung auf REBEL 1926 a), Allg. Forst- und Jagdzeitung 102: S. 179 -181
- KUBLIN, E. 1987:** Statistische Auswertungsmodelle für Waldschadensinventuren - Methodische Überlegungen. Forstwiss. Centralblatt 106: S. 57 - 68
- 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; Birmensdorf, Switzerland: Eidgen. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. pp. 167 - 169
- KUHL, W.E. 1987:** Waldschadenssituation in der Nordeifel; Ergebnisse einer Colour-Infrarot-Luftbildauswertung. Forstarchiv 58: S. 13 - 18
- KUNTZ, S. 1988:** Untersuchungen zur Analyse computergestützter Waldschadensklassifikationen. Diss. Universität Freiburg, 138 S.
- LAER, W.v. 1939:** Das Luftbild auf der großdeutschen Reichstagung der Forstwirtschaft. Jahresbericht des Deutschen Forstvereins, Berlin, S. 467 - 470
- LAER, W.v. 1940:** Verwertung des Luftbildes für forstliche Zwecke. Mitt. d. Dtsch. Ges. f. Photogrammetrie e. V., Heft 4, S. 155 - 158
- LAER, W.v. 1943:** Die forstliche Erkundung in den besetzten Ostgebieten mit besonderer Berücksichtigung der Luftbilderkundung. Deutsch. Forstw. 1943: S. 113 - 115
- LAER, W.v. 1947:** Neue Luftbilder für Forsteinrichtungsarbeiten. Forst und Holz 2: S. 31
- LAER, W.v. 1952 a:** Gegenwärtiger Stand und Entwicklungsmöglichkeiten der forstlichen Photogrammetrie. Forstarchiv 23: S. 178 - 180
- LAER, W.v. 1952 b:** Praktische Luftbildauswertung für Zwecke der Forsteinrichtung. Dargestellt am Beispiel des Forstamtes Neuhäusel. Forstarchiv 23: S. 185 - 187
- LAER, W.v. 1952 c:** Die Genauigkeit der photogrammetrisch hergestellten Forstgrundkarte. Forstarchiv 23: S. 195 - 197
- LAER, W.v. 1966:** Luftbild und Lochkarte als Hilfsmittel zur Dokumentation der Bestandesgeschichte und zur Fortschreibung von Forstbetriebswerken. Jahresbericht des Deutschen Forstvereins, Münster, S. 111 - 117
- LAER, W.v. 1970:** Forstkartenergänzung mit Hilfe des Luftbildes. Allgem. Forst Zeitschrift 25: S. 746 - 747

- LANDAUER, G., V. AMANN, W. KIRCHHOF, G. KRITIKOS, R. MÜLLER, P. REINARTZ u. H.-H. VOSS, 1989:** Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. In: Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. DLR-Abschlußdokumentation, Teil A, Oberpfaffenhofen, S. 162 - 193
- LANDESFORSTVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ (LFV R-P) 1974:** Forsteinrichtungsanweisung für Staats- und Körperschaftswald in Rheinland-Pfalz (FA 72), Mainz, 23 S. mit zahlreichen Anlagen
- LANDESFORSTVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ (LFV R-P) 1978:** Karte der forstlichen Wuchsbezirke in Rheinland-Pfalz. Kartenblatt mit Begleitband, Mainz, 17 S.
- LIEBOLD, E. u. M. DRECHSLER 1991:** Schadenszustand und Entwicklung in den SO<sub>2</sub>-geschädigten Fichtengebieten Sachsens. Allgem. Forst Zeitschrift 46: S. 492 - 494
- LUX, H. 1965:** Die großräumige Abgrenzung von Rauchschadenszonen im Einflußbereich des Industriegebietes um Bitterfeld. Wiss. Zeitschr. d. TU Dresden 14: S. 433 - 442
- LUX, H. u. E. PELZ 1968:** Schadzone und Schadstufe als Klassifizierungsbegriffe in in rauchgeschädigten Waldgebieten. Die sozialistische Forstwirtschaft 18: S. 245 - 247
- MARTIN, K. u. W. ROBL 1990:** Die Verwendung mittelformatiger Senkrechtluftbilder in Forst- und Umweltplanungen. Allg. Forst Zeitschrift 45: S. 703 - 705
- MASUMY, S.A. 1978:** Analyse von Texturparametern in Luftbildern und Scanneraufzeichnungen verschiedener Maßstäbe zur Identifizierung von Waldtypen. Diss. Universität Freiburg, 162 S.
- MASUMY, S.A. 1984:** Interpretationsschlüssel zur Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern für die Waldschadensinventur. Allg. Forst Zeitschrift 39: S. 687 - 689
- MAUSER, H. 1990:** Analytische Stereoauswertegeräte bei der Kronenzustandserhebung. Österreichische Forstzeitung 101(12): S. 39-41
- MAUSER, H. 1991:** Homogenität und Stabilität des Interpretationsverhaltens bei der einzelbaumweisen Kronenbeurteilung aus Farbinfrarotluftbildern. Centralblatt f.d. gesamte Forstwesen 108: S. 315-329
- MAUSER, H. 1993 a:** Bestandesweise Kronenzustandsinventuren und Sondererhebungen. In: Das Farb-Infrarot-Luftbild in der Forstwirtschaft. Tagungsband z. Seminar d. Univ. für Bodenkultur, Wien, 23. u. 24.02.1993. Selbstverlag Univ. für Bodenkultur, Wien, S. 28 - 30
- MAUSER, H. 1993 b:** Luftbildbearbeitung für Schutzwaldinventuren. In: Das Farb-Infrarot-Luftbild in der Forstwirtschaft. Tagungsband z. Seminar d. Univ. für Bodenkultur, Wien, 23. u. 24.02.1993. Selbstverlag Univ. für Bodenkultur, Wien, S. 41 - 43

- MAXIN, J. 1989:** Einsatz der analytischen Photogrammetrie für die Waldzustandserfassung. In: HILDEBRANDT, G., R. BURK, C.P. GROSS und J. MAXIN: Beitrag von Fernerkundungstechniken zur Erfassung des Gesundheitszustandes der europäischen Wälder. Unveröffentlichter Abschlußbericht EG-Forschungsvorhaben APPF 86/1/2, Teil 2, Freiburg, 48 S.
- MAXIN, J. 1991:** Untersuchung zum Anwendungspotential der analytischen Photogrammetrie für die Dauerbeobachtung in Luftbildern. Diss. Universität Freiburg, 110 S.
- MÖSSMER, R. 1986:** Verteilung der neuartigen Waldschäden an der Fichte nach Bestandes- und Standortmerkmalen in den Bayerischen Alpen. Forstliche Forschungsberichte München, Heft Nr. 73, 144 S.
- MURTHA, P.A. 1972:** A Guide to Air Photo Interpretation of Forest Damage in Canada. Canadian Forestry Service, Publication No. 1292, Ottawa, 63 p.
- NAGEL, J. 1984:** Zur Quantifizierung von immissionsbedingten Waldschäden mit einem mehrphasigen Inventurmodell. Der Forst- und Holzwirt 39: S. 150 - 153
- NEUMANN, M. 1989:** Zu Fragen der Waldzustandserfassung durch großräumige Inventuren. Centralblatt f. d. gesamte Forstwesen 106: S. 161-178
- NIEHAUS, G. 1986:** Zur Verbreitung der Kiefern-Chlorosen im niedersächsischen Tiefland: Vorläufige Mitteilungen von Luftbildauswertungsergebnissen. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 435 - 438
- NIEHAUS, G. 1989:** Terrestrische Zustandserfassung von Kiefernkronen (*Pinus sylvestris*) - Ein differenzierter Anspracheschlüssel. Forst und Holz 44: S.200-206
- NIEHAUS, G. 1990:** CIR-Luftbild-gestützte Differentialdiagnose spezifischer Symptome an Kiefernkronen. Forst und Holz 45: S. 83 - 90
- OESTER, B. 1987:** Waldschadenskartierung anhand von Infrarot-Luftbildern 1:9000. Schweiz. Z. Forstwes. 138: S. 787 - 798
- OESTER, B. 1991:** Erfassung der Waldschaden-Entwicklung anhand von großmaßstäblichen Infrarot-Farbluftbildern. Diss. ETH Zürich, Remote Sensing Series Vol. 19, Zürich: Department of Geography University of Zürich. 162 S.
- PEERENBOOM, H.-G. 1975:** Erfahrungen bei der Einführung forstlicher Orthophotokarten aus der Sicht der Forstdirektion Koblenz. Allgem. Forst Zeitschrift 30: S. 14 - 18
- PELZ, D. R. 1987:** Modelle der betriebsweisen Inventur. Forstwiss. Centralblatt 106: S. 168 - 175
- PELZ, D. R. 1991:** National Forest Inventory Systems in Europe. In: KÖHL, M. u. D. R. PELZ (ed.): Proceedings IUFRO Symp. Forest Inventories in Europe with Special Reference to Statistical Methods, May 14 - 16, 1990, Birmensdorf Switzerland. pp. 59 - 65
- PELZ, E. 1966:** Die Bestimmung des Grades der Rauchschädigung in Fichtenbeständen. Die sozialistische Forstwirtschaft 16: S. 239 - 242
- PELZ, E. u. M. DRECHSLER 1989:** Zehn Jahre Erfahrungen mit dem Einsatz der Luftbildtechnik für Inventuren von Waldschäden. Techn. Informationen d. zivilen Luftfahrt (TIZL) 25: S. 177 - 179

- PEYKE, G. 1992: Digitale Planungskarten für Forst und Umwelt: Die Kombination SICAD-FORST und PCMap-FORST. Allgem. Forst Zeitschrift 47: S. 934 - 935
- POLLANSCHÜTZ, J. 1968: Erste Ergebnisse über die Verwendung eines Infrarot-Farbfilms in Österreich für die Zwecke der Rauchschadensfeststellung. Centralblatt f. d. gesamte Forstwesen 85: S. 65 - 79
- POLLANSCHÜTZ, J. 1981: Großräumige Immissionszonenkartierung in Steiermark und Tirol mit Falschfarbenluftbildern. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 135. Heft, Wien, S. 125 - 133
- POLLANSCHÜTZ, J., W. KILIAN, M. NEUMANN u. G. SIEGEL 1985: Instruktion für die Feldarbeit der Waldzustandsinventur nach bundeseinheitlichen Richtlinien 1984 - 1988. Hrsg.: Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, 69 S.
- POSO, S. 1991: A Two-Phase Sampling Approach to Gather Data for GIS. In: KÖHL, M. u. D. R. PELZ (ed.): Proceedings IUFRO Symp. Forest Inventories in Europe with Special Reference to Statistical Methods, May 14 - 16, 1990, Birmensdorf Switzerland. pp. 155 - 163
- PRINZ, B., H.M. KRAUSE u. H. STRATMANN 1982: Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. LIS-Berichte Nr. 28, Essen, 154 S.
- PRODAN, M. 1965: Holzmeßlehre. Frankfurt/M.: J.D. Sauerländer's Verlag. 644 S.
- QUEDNAU, H.D. 1989: Statistische Analyse von Waldschadensdaten aus Luftbildern mit Berücksichtigung von Nachbarschaftseffekten. Forstwiss. Centralblatt 108: S. 96 - 102
- REBEL, K. 1924: Forsteinrichtung mit Hilfe des Luftbildes. Flugaufnahmen und deren Auswertung. Allg. Forst- und Jagdzeitung 100: S. 20 - 28
- REBEL, K. 1926 a: Das Flugzeug im Dienste der Forstwirtschaft. Allg. Forst- und Jagdzeitung 102: S. 41 - 44
- REBEL, K. 1926 b: Das Flugzeug im Dienste der Forstwirtschaft. (Rückerwiderung auf KRUTZSCH 1926), Allg. Forst- und Jagdzeitung 102: S. 261 - 262
- REHFUESS, K.E. u. H. ZIEGLER 1986: Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse experimenteller Untersuchungen über die Auswirkungen von Luftschadstoffen, Bodenzustand und Witterungsstreß auf junge Fichten. Forstwiss. Centralblatt 105: S. 267 - 271
- RHODE, 1977: Untersuchungen zur Erkennung von Vitalitätsunterschieden an Kiefern durch digitale Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern. Diss. Universität Freiburg, 284 S. u. Anhang
- ROLOFF, A. 1985: Schadstufen bei der Buche; Vorschlag für eine bundeseinheitliche Einordnung der Buche in 4 Schadstufen bei terrestrischen Aufnahmen. Der Forst- und Holzwirt 40: S. 131 - 134
- ROLOFF, A. 1989: Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten. Schriften aus d. Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, Band 93, Frankfurt/M.: J.D. Sauerländer's Verlag. 258 S.

- ROTTMANN, M. u. G. SCHREYER 1991:** Ein forstliches Geo-Informationssystem für die Bayerische Staatsforstverwaltung. Allgem. Forst Zeitschrift 46: S. 732 - 736
- RUNKEL, M. 1990:** Möglichkeiten der Datengewinnung über die Waldstruktur eines Bundeslandes aufgrund von Luftbildstichproben im Zusammenhang mit der Waldschadenserfassung. Diss. Technische Universität Berlin, 196 S.
- RUNKEL, M. u. H. KENNEWEG 1986:** Waldschadens- und Waldstrukturanalyse Schleswig-Holstein. Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung. Schriftenreihe des Fachbereiches Landschaftsentwicklung der TU Berlin, Band 36, Berlin, 125 S.
- SABOROWSKI, J. 1992:** Ein Diskussionsbeitrag zum Thema: Systematische Stichproben in der Waldinventur. Allg. Forst- und Jagdzeitung 163: S. 107 - 110
- SCHADE, J. 1980:** Ein mehrphasiges Stichprobensystem für forstliche Großrauminventuren, gestützt auf Landsat MSS Daten, Luftbilder 1:50.000 und ergänzende terrestrische Messungen. Diss. Universität Freiburg, 146 S.
- SCHARDT, M. 1990:** Verwendbarkeit von Thematic Mapper-Daten zur Klassifizierung von Baumarten und natürlichen Altersklassen. Diss. Universität Freiburg, DLR-Forschungsbericht 90-44, Oberpfaffenhofen, 200 S.
- SCHERRER, H.U., H. GAUTSCHI u. P. HAUENSTEIN 1990:** Flächendeckende Waldzustandserfassung mit Infrarot-Luftbilder. Berichte d. Eidgen. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen Nr. 318; Birmensdorf, Schweiz, 101 S.
- SCHLAEPFER, R., D. MANDALLAZ, B. COMMARMOT, R. GÜNTER u. B. SCHMID 1985:** Der Gesundheitszustand des Waldes im Revier Schaffenhäusen. Zur Methodik und Problematik der Erhebung auf Betriebsebene. Schweizer Zeitschrift f. Forstwesen 136(1): S. 1 - 18
- SCHMID-HAAS, P. 1989:** Schweizer Kontrollstichprobenverfahren in der Forsteinrichtung. Schweizer Zeitschrift f. Forstwesen 140(1): S. 43 - 56
- SCHMIDTKE, H. 1987:** Zur Definition von Schadniveaus für bestandes- und betriebsweise Waldschadensinventuren. Allg. Forst Zeitschrift 42: S. 930 - 932
- SCHNEIDER, W. 1987:** Fehleranalytische Untersuchungen zur Kronenzustandserfassung durch Luftbildinterpretation. In: Untersuchungen zur Kronenzustandserfassung durch Fernerkundung. Tagungsband 2. DFVLR-Statusseminar, Oberpfaffenhofen, S. 348 - 358
- SCHÖPFER, W. 1984:** Zur Optimierung künftiger Waldschadenserhebungen in der Bundesrepublik Deutschland. Allgem. Forst Zeitschrift 39: S. 1079
- SCHÖPFER, W. 1985 a:** Das Schulungs- und Kontrollsystem der terrestrischen Waldschadensinventuren. Allgem. Forst Zeitschrift 40: S. 1353 - 1357
- SCHÖPFER, W. 1985 b:** Zur Genauigkeit terrestrischer Waldschadensinventuren. Der Forst- und Holzwirt 40: S. 221 - 224
- SCHÖPFER, W. u. J. HRADETZKY 1983:** Zielsetzungen, Methoden und Probleme der terrestrischen Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983. Mitt. d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 107, Freiburg, 41 S. u. umfangreicher Anhang

- SCHÖPFER, W. u. J. HRADEZKY 1984a:** Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 mit Infrarot-Farbluftbildern: Ergebnisse und Erfahrungen. Mitt. d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 111, Freiburg, 146 S.
- SCHÖPFER, W. u. J. HRADEZKY 1984b:** Der Indizienbeweis: Luftverschmutzung maßgebliche Ursache der Walderkrankung. Forstwiss. Centralblatt 103: S. 231 - 248
- SCHRÖTER, H. u. E. ALDINGER 1985:** Beurteilung des Gesundheitszustandes von Fichte und Tanne nach der Benadelungsdichte. Allgem. Forst Zeitschrift 40: S. 438 - 442
- SCHUH, H. 1991:** Der krank geschriebene Wald. DIE ZEIT Nr. 49, 29. Nov. 1991, S. 86
- SCHWARZENBACH, F.H., B. OESTER, H.U. SCHERRER, H. GAUTSCHI, R. EICHRODT, R. HÜBSCHER, u. M. HÄGELI 1986:** Flächenhafte Waldschadenserfassung mit Infrarot-Luftbildern 1:9.000. Methoden und erste Erfahrungen. Berichte d. Eidg. Anstalt f. d. Forstl. Versuchswesen Nr. 285, Birmensdorf, 76 S.
- SCHWEBEL, R. 1980:** Das Punktübertragungsgerät PM-1, ein neuer Baustein im ZEISS-System für analytische Photogrammetrie. Bildmessung und Luftbildwesen 48: S. 3 - 12
- SCHWIDEFSKY, K. u. F. ACKERMANN 1976:** Photogrammetrie (7., neubearb. und erweiterte Auflage des "Grundriß der Photogrammetrie"). Stuttgart: Verlag B. G. Teubner. 384 S.
- SPEIDEL, G. 1972:** Planung im Forstbetrieb. Hamburg, Berlin: Verlag P. Parey. 267 S.
- SPELLMANN, H. 1984:** Zustandserfassung in Kiefernbeständen mit Hilfe des Luft-Luftbildes. Diss. Universität Göttingen, 219 S.
- SPELLMANN, H. 1985:** Waldeinteilung, digitale Bestandeskartierung und Flächenermittlung mit Hilfe des Luftbildes. Forstarchiv 56: S. 186 - 190
- SPIECKER, M. 1952 a:** Zum Gebrauch des Luftbildes in der forstlichen Praxis. Forstarchiv 23: S. 187 - 188
- SPIECKER, M. 1952 b:** Luftbild und "Weiserstreifen". Forstarchiv 23: S. 192 - 194
- STELLINGWERF, D.A. 1968:** The Usefulness of Kodak Ektachrome Infrared Aero-Film for Forestry Purposes. XI. Kongress d. Int. Ges. f. Photogrammetrie, Lausanne 1968; unveröffentlicht, als Manuskript vervielfältigt, 7 S.
- STOCK, R. 1988:** Aspekte der regionalen Verbreitung "Neuartiger Waldschäden" an Fichte im Harz: Untersuchungen auf der Grundlage von Color-Infrarot (CIR)-Luftbildern. Forst und Holz 43: S. 283 - 286
- STOLITZKA, G. 1991:** Praxis und Entwicklungstendenzen photogrammetrischer Waldkartierungen. In: OESTEN, G., S. KUNTZ u. C. P. GROSS (Hrsg.): Fernerkundung in der Forstwissenschaft. Karlsruhe: Verlag H. Wichmann. S. 1 - 20

- STORY, M. a. R.G. CONGALTON 1986:** Accuracy Assessment: A User's Perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 52: pp. 397 - 399
- STRELETZKI, H.-W. 1986:** Das Stichprobenverfahren der Waldschadenserhebung (WSE) in Niedersachsen. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 394 - 395
- STRELETZKI, H.-W. 1987:** Überprüfung der Waldschadensentwicklung 1987 durch Unterstichproben. Der Forst- und Holzwirt 42: S. 317 - 318
- TEPASSÉ, P. 1986:** Verfahren zur luftbildsichtbaren Markierung von Einzelbäumen. Allgem. Forst Zeitschrift 41: S. 344 - 345
- TEPASSÉ, P. 1988:** Qualitative und quantitative Beziehungen zwischen terrestrischen und arialen Daten des Waldzustandes. Diss. Universität Freiburg, 234 S.
- TRÄNKNER, H. u. A. TROYCKE 1988:** Integrierte Waldzustandserfassung: Der Einsatz von CIR-Luftbild-Programmen in Bayern. Allg. Forst Zeitschrift 43: S. 17 - 20
- TZSCHUPKE, W. 1974:** Untersuchung zur automatischen Identifizierung forstlich bedeutsamer Bildgestalten durch digitale Auswertung von an Infrarot-Farbluftbildern gemessenen Farb- und Texturparametern. Diss. Universität Freiburg, 262 S.
- UEBEL, R. 1986:** Praxis der Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern zur Waldschadenserfassung in Niedersachsen. Der Forst- und Holzwirt 41: S. 462 - 430
- UEBEL, R. u. S. DÖRR 1989:** CIR-Luftbilderfassung kleinflächiger Absterbeherde in Fichtenbeständen des Westharzes: Vorläufige Mitteilung. Forst und Holz 44: S. 206 - 210
- UEBEL, R. u. J. NAGEL 1989:** Flächenhafte Waldschadenserfassung im Harz 1988 mit CIR-Luftbildern - Erste Auswertungsergebnisse. Forst und Holz 44: S. 488 - 493
- ULRICH, B., R. MAYER u. P.K. KHANNA 1979:** Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus d. Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen u. d. Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, Band 58, 291 S.
- UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UN-ECE) 1989:** Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Programme Coordinating Centres UNEP/UN-ECE, Hamburg/Geneva, 90 p.
- UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UN-ECE) 1992:** Forest condition in Europe: 1992 Report. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollutions. UN-ECE + Commission of the European Communities, Brüssel/Geneva, 117 p. + Annexes
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) 1990:** Richtlinie Nr. 3793, Blatt 1: Messen von Vegetationsschäden am natürlichen Standort - Verfahren der Luftbildaufnahme mit Color-Infrarot-Film. (dtsh., engl., franz.), Düsseldorf, 24 S.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) 1993:** Richtlinie Nr. 3793, Blatt 2, Messen von Vegetationsschäden am natürlichen Standort - Interpretationsschlüssel für die Auswertung von CIR-Luftbildern zur Kronenzustandserfassung von Nadel- und Laubgehölzen. (dtsh., engl., franz.), Düsseldorf, 57 S., 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
- VOSS, F. 1970 a:** Ein neuer Typ der Forstbetriebskarte, hergestellt auf der Grundlage maßstäbiger Luftbildkarten. Allgem. Forst Zeitschrift 25: S. 737 - 740
- VOSS, F. 1970 b:** Zur Herstellung von Forstbetriebskarten mit Hilfe maßstäbiger Luftbildkarten und automatischer Rechen- und Kartieranlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Nordrhein-Westfalen. Allg. Forst- und Jagdzeitung 141: S. 153 - 160
- WAGNER, S. 1989:** Letale Waldschäden im Gebiet des "Ackers" (Hochharz) - Zeitliche Entwicklung und kleinräumige Verteilung. Forst und Holz 44: S. 494 - 498
- WANG, F. 1892:** Die Anwendung der Photogrammetrie im Forsthaushalt. Österreichische Forstzeitung 10: Teil I (19) S. 123 - 125, Teil II (20) S. 129 - 130, Schluß (21) S. 135 - 136
- WARE, K.D. a. T. CUNIA 1962:** Continuous Forest Inventory with Partial Replacement of Samples. Forest Science - Monograph 3-1962, 40 p.
- WENTZEL, K.F. 1981:** Maximale Immissionswerte zum Schutz der Wälder: Überlegungen zur Resolution der IUFRO-Fachgruppe 2.09.00. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 137. Heft (II), Wien, S. 175 - 180
- WIECZOREK, J. 1990:** Erfassung von Sturmwurfschäden im östlichen Hunsrück mit Hilfe von Landsat-TM-Daten: Eine landschaftsökologische Analyse für die forstliche Praxis. DLR-Forschungsberichte 90-31, Oberpfaffenhofen, 145 S.
- WILD 1975:** Wild PUG4 Punktübertragungsgerät mit kontinuierlicher variabler Betrachtungsvergrößerung für die Vorbereitung von Aerotriangulationen. Wild-Publikation P1 420d, Wild Heerbrugg, Schweiz, 8 S.
- WIRTH, W. 1990:** Kommunales Informationssystem - Traum oder Alptraum der öffentlichen Verwaltung. Geo-Informationssysteme 3: S. 1 - 2
- WOLFF, G. 1966:** Schwarz-weiße und falschfarbige Luftbilder als diagnostische Hilfsmittel für operative Arbeiten beim Forstschutz (Rauchschaden) und bei der Waldbestandsdüngung. Akten des X. Kongr. d. Int. Ges. f. Photogrammetrie, Paris, S. II-85 - II-95
- WOLFF, G. 1970 a:** Die Interpretation falschfarbiger Luftbilder im Dienste der Rauchschadensdiagnose von Nadelholzbestockungen. Beiträge für die Forstwirtschaft 4: S. 18 - 26
- WOLFF, G. 1970 b:** Taxation der Rauchschädigung von Laubholzbestockungen (Buche und Eiche) mittels falschfarbiger Luftbilder. Beiträge für die Forstwirtschaft 4: S. 30 - 31
- ZEISS 1982:** Punktübertragungsgerät PM1, Technische Information. Druckschrift Nr. Nr. 51-673 der Fa. Carl Zeiss, Oberkochen, 4 S.
- ZEISS 1992:** Laser-Punktübertragungsgerät Transmark B, Produktinformation. Druckschrift Nr. J 14-339e-d der Fa. Carl Zeiss, Jena, 4 S.

**ZINDEL, U. 1989:** Betriebsbezogene Waldschadenserhebung aus Farbinfrarot-Luftbildern am Beispiel des Hessischen Forstamtes Kaufungen. Forschungsberichte der Hess. Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 7, Hann.Münden, 70 S.

**ZIRM, K., F. FIBICH, J. HACKL, H. MALIN, H. MAUSER u. M. WEINWURM 1985:** Erhebung der Vitalität des Waldes in Vorarlberg. 1. Untersuchungsergebnisse. Wien: Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen. 95 S.

**ANHANG 1: Schlüsselverzeichnis zur LWE-Basisdatenbank für großräumige Waldzustandserhebungen (vgl. Tab. 2.6)**

Nr.	Feld-name	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung
1	INT	Namenskürzel des Interpreten	
2	GEB	PW = Pfälzerwald WE = Westeifel OE = Osteifel WW = Westerwald HO = Hunsrück-Ost HW = Hunsrück-West	
3	LJ	Jahreszahl des Fluges	
4	TGB	N, S oder W, 0	Nur erforderlich, wenn es zwei verschiedene Teilgebiete gibt
5	STR	Streifen-Nr.	Endziffer des Gauß-Krüger Rechtswertes
6	BLD	Bild-Nr.	
7	T_K	Nummer der topographischen Karte	1 : 25 000
8	PNR	Nummer des Stichprobenpunktes	
9	PAT	0 = Punkt mit einzelbaumweiser Interpretation  X = Nicht einzelbaumweise interpretierter Punkt	<u>Wenn Blöße</u> , in Feld NAK "0", in Feld BAT "NN" sowie in den Feldern LIB, KRS, BAB, MIF, BNR, VZT, SST, FST, VST, VGS, FRK und SDM "-1" einsetzen.  <u>Wenn bestockt</u> , in Feld NAK und BAT interpretiertes Alter und Baumart/en und in Feld VST Schadstufenverteilung nach Hilfstafel einsetzen; übrige Felder nach Interpretation oder Plausibilität
10	RWT	Rechtswert	in km
11	HWT	Hochwert	in km

Nr.	Feldname	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung
12	FAN	Forstamtsnummer nach Landesliste	
13	HLG	aus top. Karte	in 10 m-Stufen
14	HRT	0 = eben; 1 = Norden, 2 = Nordost restliche Himmelsrichtungen im Uhrzeigersinn weiter	
15	HNG	0 = eben/schwach geneigt 1 = mäßig geneigt 2 = stark geneigt 3 = steil	
16	GLF	0 = Ebene, Plateau, Hochebene  1 = Rücken, Kuppe, Sattel, Kammlage  2 = Oberhang  3 = Mittelhang, Hügelhang  4 = Unterhang  5 = Talebene, Talsohle  6 = Mulde, Rinne, Bach- grund, Taleinschnitt	
17	USN	Ursprüngliche Satelliten- nummer	Feld dient nur der Zuordnung
18	SNR	Satellitennummer  1 = Nord  2 = Ost  3 = Süd  4 = West  5 = Ersatzsatellit am Trakt- Mittelpunkt	

Nr.	Feld-name	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung
19	LIB	<u>1. Stelle</u> 1 = Bestandesinneres 2 = Blössenrand 3 = Bestandesrand, Trauf <u>2. Stelle (bei 2 und 3)</u> Himmelsrichtung	2-stellige Zahl
20	NAK	0 = BlöBe/Kahlfläche 1 = Jungwuchs/Kultur 2 = Dichtung 3 = Stangenholz 4 = schwaches Baumholz 5 = mittleres Baumholz 6 = starkes Baumholz (Altholz)	
21	KRS	0 = keine Angabe (BlöBe) 1 = dicht 2 = locker 3 = kein Schluß 4 = Überhälter	
22	BAB	0 = keine Angabe 1 = einstufig 2 = mehrstufig 3 = plenter-/femelartig	

Nr.	Feld-name	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung
23	MIF	0 = keine Angabe (Blöße) 1 = einzeln 2 = truppweise 3 = flächig 4 = Reinbestand	
24	UBN	ursprüngliche Baumnummer	Feld dient nur der Zuordnung, nur Nummern 1-6
25	BNR	Baumnummer	Bei substituierten Bäumen Nummer > 6 möglich
26	JIA	Jahreszahl des Jahres der 1. Aufnahme	
27	BAT	NN = keine Angabe (Blöße) FI = Fichte TA = Tanne DG = Douglasie KI = Kiefer SN = sonst. Nadelbaum  NB = Nadelbaum (unbestimmt) BU = Buche EI = Eiche SL = sonst. Laubbaum LB = Laubbaum (unbestimmt)	
28	VZT	1 = Kammfichte 2 = Bürstenfichte 3 = Plattenfichte 4 = Struktur-Buche 5 = Diffus-Buche 6 = Dougl. "Ki-Typ" 7 = Dougl. "Fi-Typ" 8 = Eiche grobgegl. 9 = Eiche feingegl. 0 = keine Angabe	<u>Angaben im Feld VZT müssen logisch sein</u> , z.B.: BAT = BU und VZT = 1 wäre nicht logisch
29	SST	1 = vorherrschend 2 = herrschend 3 = mitherrschend	Im Feld SST darf <u>keine Null</u> erscheinen!

Nr.	Feld-name	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung																
30	VLP	5%-Werte von 0 bis 100	fakultative Interpretation																
31	FST	<table border="1"> <thead> <tr> <th>FST</th> <th>Verlustprozent</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0 - 10</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>15 - 25</td> </tr> <tr> <td>2.1</td> <td>30 - 40</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>45 - 60</td> </tr> <tr> <td>3.1</td> <td>65 - 75</td> </tr> <tr> <td>3.2</td> <td>80 - 95</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	FST	Verlustprozent	0	0 - 10	1	15 - 25	2.1	30 - 40	2.2	45 - 60	3.1	65 - 75	3.2	80 - 95	4	100	wenn VLP interpretiert wird, kann FST berechnet werden; sonst obligatorische Interpretation
FST	Verlustprozent																		
0	0 - 10																		
1	15 - 25																		
2.1	30 - 40																		
2.2	45 - 60																		
3.1	65 - 75																		
3.2	80 - 95																		
4	100																		
32	VST	<table border="1"> <thead> <tr> <th>VST</th> <th>Nadel-/Blattverlust</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0 - 10 %</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>11 - 25 %</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>26 - 60 %</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>61 - 99 %</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>100 %</td> </tr> </tbody> </table>	VST	Nadel-/Blattverlust	0	0 - 10 %	1	11 - 25 %	2	26 - 60 %	3	61 - 99 %	4	100 %	ohne Schadensmerkmale schwach geschädigt mittelstark geschädigt stark geschädigt abgestorben				
VST	Nadel-/Blattverlust																		
0	0 - 10 %																		
1	11 - 25 %																		
2	26 - 60 %																		
3	61 - 99 %																		
4	100 %																		
33	VGS	<table border="1"> <thead> <tr> <th>VGS</th> <th>Nadel-/Blattvergilbung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0 - 10 %</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>11 - 25 %</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>26 - 60 %</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>61 - 100 %</td> </tr> </tbody> </table>	VGS	Nadel-/Blattvergilbung	0	0 - 10 %	1	11 - 25 %	2	26 - 60 %	3	61 - 100 %	ohne Vergilbung schwach vergilbt mittelstark vergilbt stark vergilbt						
VGS	Nadel-/Blattvergilbung																		
0	0 - 10 %																		
1	11 - 25 %																		
2	26 - 60 %																		
3	61 - 100 %																		

Nr.	Feld-name	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung																												
34	KST	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="357 344 469 577">Nadel- Blatt- verl.- Stufe</th> <th colspan="3" data-bbox="469 344 775 430">Kombinationsstufe KST</th> </tr> <tr> <th data-bbox="357 430 469 577"></th> <th colspan="3" data-bbox="469 430 775 515">Vergilbungsstufe VGS</th> </tr> <tr> <th data-bbox="357 515 469 577">VST</th> <th data-bbox="469 515 564 577">0,1</th> <th data-bbox="564 515 644 577">2</th> <th data-bbox="644 515 775 577">3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="357 577 469 645">0</td> <td data-bbox="469 577 564 645">0</td> <td data-bbox="564 577 644 645">1</td> <td data-bbox="644 577 775 645">2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="357 645 469 712">2</td> <td data-bbox="469 645 564 712">1</td> <td data-bbox="564 645 644 712">2</td> <td data-bbox="644 645 775 712">2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="357 712 469 779">2</td> <td data-bbox="469 712 564 779">2</td> <td data-bbox="564 712 644 779">3</td> <td data-bbox="644 712 775 779">3</td> </tr> <tr> <td data-bbox="357 779 469 846">3</td> <td data-bbox="469 779 564 846">3</td> <td data-bbox="564 779 644 846">3</td> <td data-bbox="644 779 775 846">3</td> </tr> </tbody> </table>	Nadel- Blatt- verl.- Stufe	Kombinationsstufe KST				Vergilbungsstufe VGS			VST	0,1	2	3	0	0	1	2	2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	
Nadel- Blatt- verl.- Stufe	Kombinationsstufe KST																														
	Vergilbungsstufe VGS																														
VST	0,1	2	3																												
0	0	1	2																												
2	1	2	2																												
2	2	3	3																												
3	3	3	3																												
35	FRK	<p>0 = keine (erkennbar)  1 = leichte Fruktifikation  2 = starke Fruktifikation</p>																													
36	SDM	<p>0 = keine  1 = Wipfelbruch  2 = Wipfeldürre  3 = Oberkrone schlechter  4 = Oberkrone wesentlich schlechter  5 = Teilkrone abgestorben  6 = Käferbaum  7 = starker Belag (Staub o.s.)  9 = mehrkronig (Ki,Ei)</p>																													

**ANHANG 2: Schlüsselverzeichnis der Schadflächendatei zur bestandesbezogenen Luftbild-Kartierung von Waldschäden (vgl. Tab. 3.6)**

Nr.	Feldname	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung
1	SFN	Schadflächennummer 1.-3. Stelle: Forstamts Nr. 4. Stelle: Waldbesitzer, klassifiziert 5.-7. Stelle: Abteilungsnummer 8. Stelle: Teilfläche i. d. Abteilung	abteilungsbezogene Schadflächenkennzeichnung; erforderlich zur Verknüpfung von Geometrie- und Sachdaten
2	WBZ	Wuchsbezirk 1.+2. Stelle: Landschaftname 3. Stelle: Niederschlagsgruppe 4. Stelle: Höhenstufe (alles nach Karte der forstlichen Wuchsbezirke in RLP)	
3	FAN	Forstamtsnummer nach Landesliste	
4	WBA	Waldbesitzart S = Staatswald K = Kommunalwald P = Privatwald	
5	WB	Waldbesitzer ST = Staat (Land) BU = Bund  kommunale u. private WB entspr. Kürzel in FAÜK	
6	ABT	Abteilung Nr. aus FAÜK	
7	TFL	Teilschadfläche i.d. Abteilung	Schnittmenge aus Abteilungs- und Schadensfläche
8	BAG	Baumartengruppe FI = Fichte, Tanne BU = Buche (+ Eiche und sonst. Laubbäume)	

Nr.	Feldname	Schlüsselverzeichnis	Erläuterung												
9	NAK	Natürliche Altersklasse 0 = Blöße/Kahlfläche 1 = Jungwuchs/Kultur 2 = Dichtung 3 = Stangenholz 4 = schwaches Baumholz 5 = mittleres Baumholz 6 = starkes Baumholz (Altholz)													
10	BSSt	Bestandesschadstufe <table border="1"> <thead> <tr> <th>BSSt</th> <th>Anteil Stufen 2-4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>bis 30 %</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>30 bis 60 %</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>60 bis 90 %</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>über 90 %</td> </tr> </tbody> </table>	BSSt	Anteil Stufen 2-4	0	bis 30 %	1	30 bis 60 %	2	60 bis 90 %	3	über 90 %	nicht oder schwach geschädigte Bestände mittelstark geschädigte Bestände stark geschädigte Bestände  sehr stark geschädigte Bestände		
BSSt	Anteil Stufen 2-4														
0	bis 30 %														
1	30 bis 60 %														
2	60 bis 90 %														
3	über 90 %														
11	BVS	Bestandesverlichtungsstufe <table border="1"> <thead> <tr> <th>BVS</th> <th>Kronenschlußgrad [Kronendichte in %]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>&gt; 90 %</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>70 bis 90 %</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>40 bis 60 %</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10 bis 40 %</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>&lt; 10 %</td> </tr> </tbody> </table>	BVS	Kronenschlußgrad [Kronendichte in %]	0	> 90 %	1	70 bis 90 %	2	40 bis 60 %	3	10 bis 40 %	4	< 10 %	ohne Bestandesverlichtung schwache " mittlere " starke " schadensbedingte Freifläche
BVS	Kronenschlußgrad [Kronendichte in %]														
0	> 90 %														
1	70 bis 90 %														
2	40 bis 60 %														
3	10 bis 40 %														
4	< 10 %														
12	FHA	Fläche in ha	mit 2 Dezimalen												
13	HLG	Höhenlage aus top. Karte	in 10 m-Stufen												
14	HRT	Hangrichtung 0 = eben, ohne Richtung 1 = Norden 2 = Nordost restliche Himmelsrichtungen im Uhrzeigersinn weiter													
15	WBK	Waldbesitzer, klassifiziert	forstamtsintern, fortlaufende Nummer												



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

- |         |   |          |
|---------|---|----------|
| 1/1987  | Jahresbericht 1984-1986<br>ISSN 0931 - 9662   |          |
| 2/1987  | BLOCK, STELZER:<br>Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 12,-- |
| 3/1987  | BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, FRAUDE, HEIDINGSFELD:<br>Sondermeßprogramm Wald (SMW)<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 12,-- |
| 4/1987  | BEUTEL, BLOCK:<br>Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986)<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 5/1988  | Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald und<br>Forstwirtschaft - Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt<br>als Dienstsitz am 10.04.1987<br>ISSN 0931 - 9662                        | DM 12,-- |
| 6/1988  | Jahresbericht 1987<br>ISSN 0931 - 9662  |          |
| 7/1988  | BEUTEL, BLOCK:<br>Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987)<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 8/1988  | GERECKE:<br>Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 30,-- |
| 9/1989  | Jahresbericht 1988<br>ISSN 0936 - 6067  |          |
| 10/1989 | HEIDINGSFELD:<br>Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in<br>Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 25,-- |
| 11/1989 | BLOCK, DEINET, HEUPEL, ROEDER, WUNN:<br>Empirische, betriebswirtschaftliche und mathematische Untersuchungen zur<br>Wipfelköpfung der Fichte<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 12/1989 | Jahresbericht 1989<br>ISSN 0931 - 9662<br>ISSN 0936 - 6067  |          |
| 13/1990 | SCHÜLER:<br>Der kombinierte Durchforstungs- und Düngungsversuch Kastellaun<br>- angelegt 1959 - heute noch aktuell?<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 12,-- |
| 14/1990 | BLOCK:<br>Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen<br>Waldgebieten 1984 - 1989<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 12,-- |
| 15/1990 | Jahresbericht 1990<br>ISSN 0931 - 9662<br>ISSN 0936 - 6067  |          |
| 16/1991 | BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, HEIDINGSFELD, SCHRÖCK:<br>Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von<br>Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983 - 1989<br>ISSN 0931 - 9662 | DM 12,-- |

- |         |   |          |
|---------|---|----------|
| 17/1991 | BLOCK, BOPP, GATTI, HEIDINGSFELD, ZOTH:<br>Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in<br>Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 12,-- |
| 18/1991 | SCHÜLER, BUTZ-BRAUN, SCHÖNE:<br>Versuche zum Bodenschutz und zur Düngung von Waldbeständen<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 19/1991 | AUTORENKOLLEKTIV<br>Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und Immissionsschäden<br>im Vorderen Hunsrück - "SIMS" -<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 20/1992 | Jahresbericht 1991<br>ISSN 0931 - 9662<br>ISSN 0936 - 6067  |          |
| 21/1992 | AUTORENKOLLEKTIV<br>Der vergleichende Kompensationsversuch mit verschiedenen Puffersubstanzen<br>zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffeinträgen in Waldöko-<br>systemen - Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren 1988 - 1991 -<br>ISSN 0931 - 9662 | DM 12,-- |
| 22/1992 | Jahresbericht 1992<br>ISSN 0931 - 9662<br>ISSN 0936 - 6067  |          |
| 23/1993 | HEIDINGSFELD:<br>Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumig permanente Waldzustands-<br>erhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 18,-- |
| 24/1993 | BLOCK:<br>Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in<br>Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |