

INVENTUR UND BEOBACHTUNG DER GEGENWÄRTIGEN WALDSCHÄDEN DURCH FERNERKUNDUNG

G. Hildebrandt, Freiburg

Neuartige Waldschäden in Mitteleuropa

Im letzten Jahrzehnt sind in Mitteleuropa in einem von Jahr zu Jahr zunehmenden Ausmaß Waldschäden aufgetreten, die auf keine der bekannten biotischen oder abiotischen Schadursachen allein zurückzuführen sind. Sie haben pandemischen Charakter und überziehen in unterschiedlicher regionaler Verteilung und Stärke den ganzen Gürtel der hochindustrialisierten Staaten Mitteleuropas.

Die Schadbilder weisen auf eine Komplexkrankheit hin, die nur durch ein Zusammenwirken disponierender, auslösender und gegebenenfalls die Erkrankung verstärkender Faktoren zu erklären sind. Es ist dabei aber davon auszugehen, daß Schadstoffimmissionen in Form von Luftschadstoffen und feuchten Depositionen auf Blattorganen und in dem Boden eine zentrale Bedeutung zukommt.

Als Beispiel für die derzeitige Schadenssituation wird die Lage in der Bundesrepublik Deutschland herangezogen.

Die Situation der Waldschäden und der Waldschadensinventur in der Bundesrepublik Deutschland

Die gegenwärtige Schadenssituation in der Bundesrepublik Deutschland ist in Bezug auf die "neuartigen" Waldschäden dadurch gekennzeichnet, daß diese fast überall - wenn auch regional in unterschiedlicher Stärke - auftreten und daß leichte bis mittelstarke Einzelbaumschäden überwiegen. Der Anteil stark geschädigter Bäume nimmt jedoch ebenso zu wie die Anzahl stark beschädigter, in ihrer Existenz gefährdeter bzw. auch schon absterbender Bestände. Letzteres insbesondere in den Alpen und den Hochlagen der Mittelgebirge. Zu einem großflächigen Absterben der Wälder, wie es durch unmittelbare Einwirkung von Schadimmissionen z.B. im Erzgebirge stattfindet, ist es in der Bundesrepublik noch nicht gekommen.

Für die Bundesrepublik Deutschland zeigen Tab. 1 die Schadflächenentwicklung von 1983 bis 1986, Abb. 1 die Schadsituation bei den Hauptbaumarten, Abb. 2 am Beispiel des Schwarzwaldes die Abhängigkeit des Schadensausmaßes von der Höhenlage und Abb. 3 - ebenfalls für den Schwarzwald - daß ältere Bestände größere Schäden zeigen als junge und mittelalte.

Die in Tab. 1 und den Abb. 1 - 3 genannten Schadstufen sind - wie Tab. 2 zeigt - durch den Verlust (sowie Verkümmern) und die Vergilbung von Nadeln bzw. Blättern definiert.

Schadstufe	1983*	1984	1985	1986	Veränderungen		
					83-84	84-85	85-86
in % der Waldfläche							
1 schwach geschädigt	24,7	32,9	32,7	34,8	+8,2	-0,2	+2,1
2 mittelstark geschädigt	8,7	15,8	17,0	17,3	+7,1	+1,2	+0,3
3+4 stark geschädigt und abgestorben	1,0	1,0	2,2	1,6	+0,5	+0,7	-0,6
2 + 3 + 4	9,7	17,3	19,2	18,9	+7,6	+1,9	-0,3
1 + 2 + 3 + 4	34,4	50,2	51,9	53,7	+15,8	+1,7	-1,8

* Erhebungen 1983 nur bedingt vergleichbar mit den späteren Erhebungen

Tabelle 1: Waldschadenssituation in der Bundesrepublik Deutschland von 1983 bis 1986 (BML 1986). Definition der Schadstufen siehe Tab. 2

Schadstufen 0 - 4

Nadelverluste	Vergilbung		
	0 - 25 %	26 - 60 %	61 - 100 %
bis 10 %	0	1	2
11 - 25 %	1	2	2
26 - 60 %	2	3	3
über 61 %	3	3	3
abgestorben	4		

Tabelle 2 Schadstufeneinteilung für die Waldschadensinventur in der Bundesrepublik Deutschland

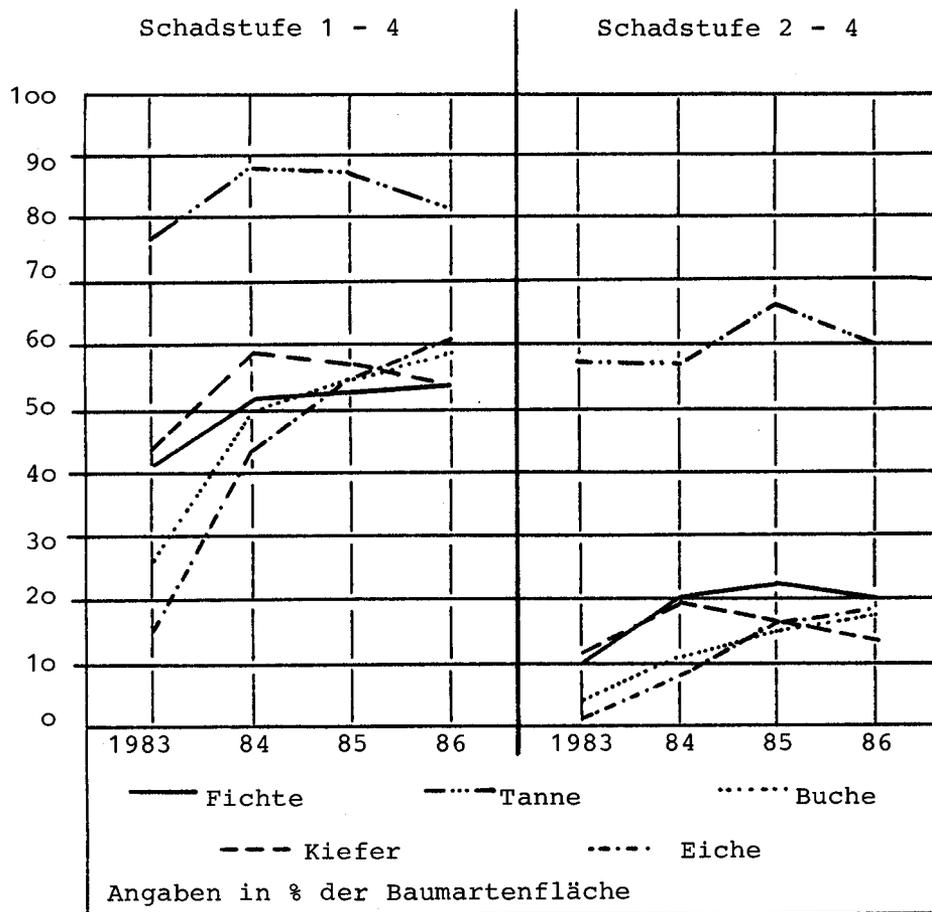


Abb. 1 Schadentwicklung der Hauptbaumarten in der Bundesrepublik Deutschland von 1983 bis 1986 (BML 1986). Definition der Schadstufen siehe Tab. 2

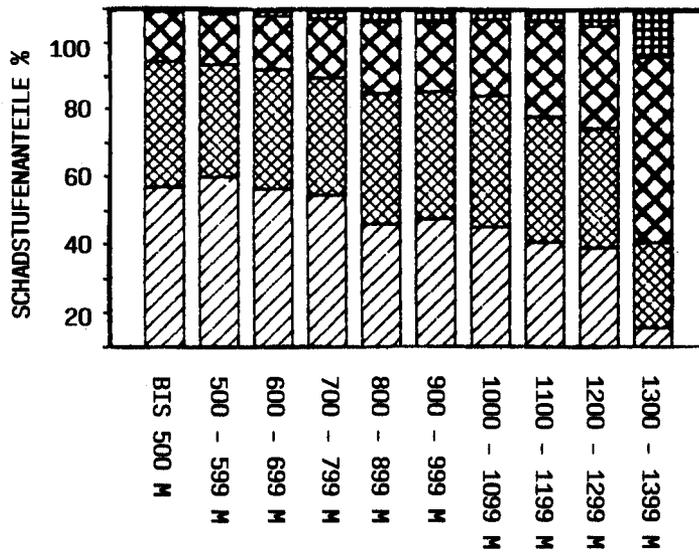


Abb. 2 Abhängigkeit der Schadsituation von der Höhenlage. Beispiel: Schwarzwald nach Daten einer Luftbildschadinventur 1985 (Hildebrandt et.al.1986). Definition der Schadstufen siehe Tab. 2

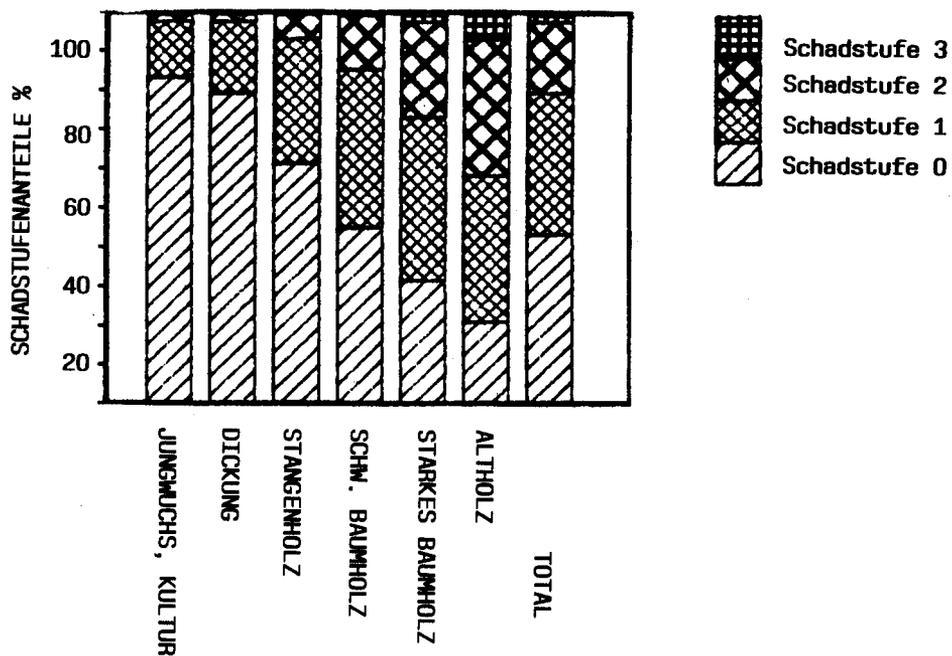


Abb. 3 Abhängigkeit der Schadsituation von der natürlichen Altersklassen. Beispiel: Schwarzwald nach Daten einer Luftbildschadinventur 1985 (Hildebrandt et.al.1986). Definition der Schadstufen siehe Tab. 2

In der Bundesrepublik Deutschland werden seit 1983 jährlich nach in den Bundesländern weitgehend einheitlichen terrestrischen Stichprobe-Verfahren Waldschadensinventuren durchgeführt. Die Stichprobepunkte sind dabei in einem 4 x 4 km Raster angelegt und durch Lagekoordinaten des geodätischen Bezugssystems der Landesvermessung (Gauß-Krüger-Netz) definiert. An jedem Stichprobeort wird eine bestimmte Anzahl von Probestämmen (in Baden-Württemberg z.B. 24 Bäume) aufgenommen und einer der Schadstufen 0 - 4 (s.Tab. 2) zugeordnet.

Eine Arbeitsgruppe der UN Economic Commission for Europe (ECE), hat inzwischen in Anlehnung an das Inventurverfahren in der BRD eine Empfehlung für die weitgehend einheitliche Durchführung terrestrischer Schadinventuren in den verschiedenen europäischen Ländern erarbeitet (ECE 1986).

Neben diesen terrestrischen Aufnahmen werden seit 1982 landesweite, regionale und in zunehmendem Maße auch betriebliche Inventuren mit Hilfe von großmaßstäbigen Infrarot-Farbluftbildern durchgeführt. Auch dabei werden in der Regel an systematisch verteilten Stichprobeorten jeweils eine Anzahl von Bäumen angesprochen. Der Stichprobeumfang solcher aeraler Inventuren ist dabei erheblich größer als bei den terrestrischen Aufnahmen. Nach sorgfältig erarbeiteten Interpretationsschlüsseln werden die vielen Tausend Probestämme jeweils einer von 5 Schadstufen - analog zu denen der terrestrischen Aufnahmen - zugeteilt.

Allein 1983 wurden in der BRD über 1,8 Millionen ha Waldfläche durch aerielle Stichprobeinventuren zusätzlich zu den terrestrischen Erhebungen aufgenommen (vgl. Tepassé 1984). Disposition und Ausführung landesweiter oder regionaler Luftbild-Inventuren sind mehrfach beschrieben worden (z.B. Hartmann 1984, Hradetzky und Schöpfer 1984, Hildebrandt 1984, Tepassé 1984, Densdorf et.al.1985, Kuhl 1985).

Auch für eine künftige europaweite (hier EG-weite) Waldschadensinventur auf der Basis großmaßstäbiger Infrarot-Luftbilder liegt inzwischen ein durch großräumige Pilotinventuren erfolgreich getesteter Vorschlag vor (Hildebrandt 1985, Hildebrandt et. al. 1986).

Die flächendeckende Erfassung und Klassifizierung der Waldschäden durch computer-gestützte Auswertung multispektraler Scannerdaten, einschließlich von Satelliten-aufzeichnungen, befindet sich noch im experimentellen Stadium. In der BRD laufen hierzu Forschungsarbeiten an verschiedenen forstwissenschaftlichen Instituten und bei der DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt-forschung).

Grundlage der Waldschadenserhebung durch Fernerkundung. Methodische Grundansätze und Anforderungen an die Sensoren

Fernerkundung für die Inventur der gegenwärtigen Waldschäden einzusetzen, ist möglich, weil die in den Kronen betroffener Bäume auftretenden äußeren Symptome deren spektrale und strukturelle Reflexionscharakteristik und damit deren Abbildung in einer dementsprechenden Fernerkundungsaufzeichnung verändern. Je nach Schadausprägung sind dabei die Form, die Struktur, die Textur oder die Farbe bzw. mehrere dieser Abbildungsmerkmale betroffen. Gleichzeitig kommt es auch in Abhängigkeit von Anzahl und Verteilung verschieden stark betroffener Bäume zu Veränderungen der Reflexionscharakteristik des Kronendaches ganzer Bestände. Bedingt durch Verminderung des Bestandesschlusses können dabei auch Veränderungen der Licht- und Schattenmuster und in Bestandeslücken hinzutretende Reflexion von Boden und Bodenvegetation sowie natürlich die Baumartenmischung Einfluß auf die Abbildung der Bestandeskronendächer bzw. der Waldfläche gewinnen.

Es ergeben sich daraus zwei methodische Ansätze für aerielle Waldschadensinventuren, nämlich:

- baumweise Ansprache des Gesundheitszustandes; dies bei Betriebs- und Großrauminventuren im Rahmen eines Stichprobeverfahrens
- flächendeckende Klassifizierungen des Waldzustandes mit der Fläche des Bildelements als kleinste Klassifizierungseinheit.

Die Anforderungen an die einzusetzenden Sensoren sind für die beiden Fälle bezüglich der spektralen Sensibilität gleich bezüglich des räumlichen Auflösungsvermögens jedoch unterschiedlich.

Da die o.a. Veränderungen der Reflexionscharakteristiken sowohl im sichtbaren als auch im nahen Infrarot-Bereich des Spektrums auftreten, sind in beiden Fällen Sensoren einzusetzen, die in diesen beiden Spektralbereichen sensibel sind. In jüngster Zeit wird dazu die Frage diskutiert, ob sehr hohe spektrale Auflösung für die Schaderkennung Verbesserungen bringen würde. Ich halte dies nach aller Erfahrung und abgestützt auf die Kenntnisse über das fernerkundungswirksame spektrale Reflexionsverhalten von Bäumen und Waldbeständen für sehr unwahrscheinlich.

Dagegen ist für die baumweise Ansprache höchstmögliche räumliche Auflösung zu fordern. Die Interpretationserfahrungen der letzten Jahre, aber auch die immer wieder trotz entsprechender Vorsorge auftretenden Unterschiede der Farbwiedergabe in Infrarotfarbluftbildern führten dazu, daß die Gestaltmerkmale der Kronenabbildungen immer mehr Bedeutung gegenüber dem "spektralen" Merkmal "Farbe" gewannen (hierzu z.B. Hildebrandt et.al. 1986). Für die baumweise Ansprache der neuartigen Waldschäden kommen wegen der notwendigen hohen Auflösung nur großmaßstäbige Luftbilder, im Hinblick auf die erforderliche spektrale Sensibilität nur ein Infrarot-Farbfilm in Frage. Beim herkömmlichen KODAK Aerochrome Infrared 2443 ist ein Bildmaßstab um 1:5000 zu empfehlen. Soll der besonders hochauflösende KODAK SO 131 verwendet werden, so ist der Einsatz einer Reihenmeßkammer mit Bildbewegungskompensation erforderlich. Maßstäbe um 1:10000 bis 1:12000 sollten dann möglich sein. Untersuchungen hierzu werden zur Zeit durchgeführt.

Gleich hohe Anforderungen an die räumliche Auflösung der Fernerkundungsaufzeichnung sind bei flächendeckenden Klassifizierungen nicht erforderlich. Sehr hohe Auflösung kann in diesem Fall sogar stören. Letzteres insbesondere, wenn mit digitalen Klassifizierungsverfahren gearbeitet wird. Die zu klassifizierenden Bildelemente sollten nämlich dabei so viel Fläche erfassen, daß sich für verschiedene Zustandsstufen betroffener Bestände typische multi-spektrale Signaturen bilden können. Dies mag schon andeuten, daß für bestimmte Inventuraufgaben (und unter bestimmten Bestockungsbedingungen) auch Satellitendaten für die Waldschadenserfassung von Interesse sind.

Von Bedeutung für den Erfolg besonders der baumweisen Ansprache im Infrarot-Farbluftbild ist der Zeitpunkt der Bildaufnahme. Aus phänologischen Gründen und da Laub- und Nadelbäume zu interpretieren sind, kommt in Mitteleuropa nur eine Aufnahmezeit zwischen Anfang Juli und Anfang (bis Mitte) September in Frage. Zu dieser jahreszeitlichen Einschränkung tritt noch die Einschränkung durch die Wetterlage hinzu. Bewölkung unter Flughöhe schließt die Luftbildaufnahme aus, ebenso wie eine Bewölkung über der Flughöhe von mehr als 2/8 und starker Dunst in Erdnähe (< 10 km horizontale Sichtweite).

Auch tageszeitlich gesehen sind den Bildflügen enge Grenzen gesetzt. Nachteilige Schatteneinflüsse treten besonders in lockeren Beständen und im Gebirge an schattexponierten Hängen auf. Um diese so gering wie möglich zu halten, darf der jeweilige Sonnenstand bestimmte Werte nicht unterschreiten. DÖRFEL (1987) hat in einer Studie den Informationsverlust bei der Interpretation von IRC-Luftbildern in Abhängigkeit vom Sonnenstand untersucht und daraus gefolgert, daß in der Ebene und bei Gebirgslagen mit mittleren Reliefverhältnissen für die Erkennung starker und mittelstarker Baumschäden ein Sonnenstand von mindestens 46° eingehalten werden sollte.

Sind auch leichte Schäden zu erheben, d.h. werden erhöhte Anforderungen an die Differenzierung bei der Interpretation gestellt und/oder wenn die Schattwirkung durch lockeren Schlußgrad sich verstärkt auswirkt und/oder in besonders bewegtem Relief kann auch ein Sonnenstand von 50° das Minimum für den Zeitpunkt der Befliegung markieren. Abb. 4 zeigt exemplarisch für 50° nördlicher Breite (Höhe Frankfurt) die potentielle Befliegungsdauer bei den o.g. Richtwerten.

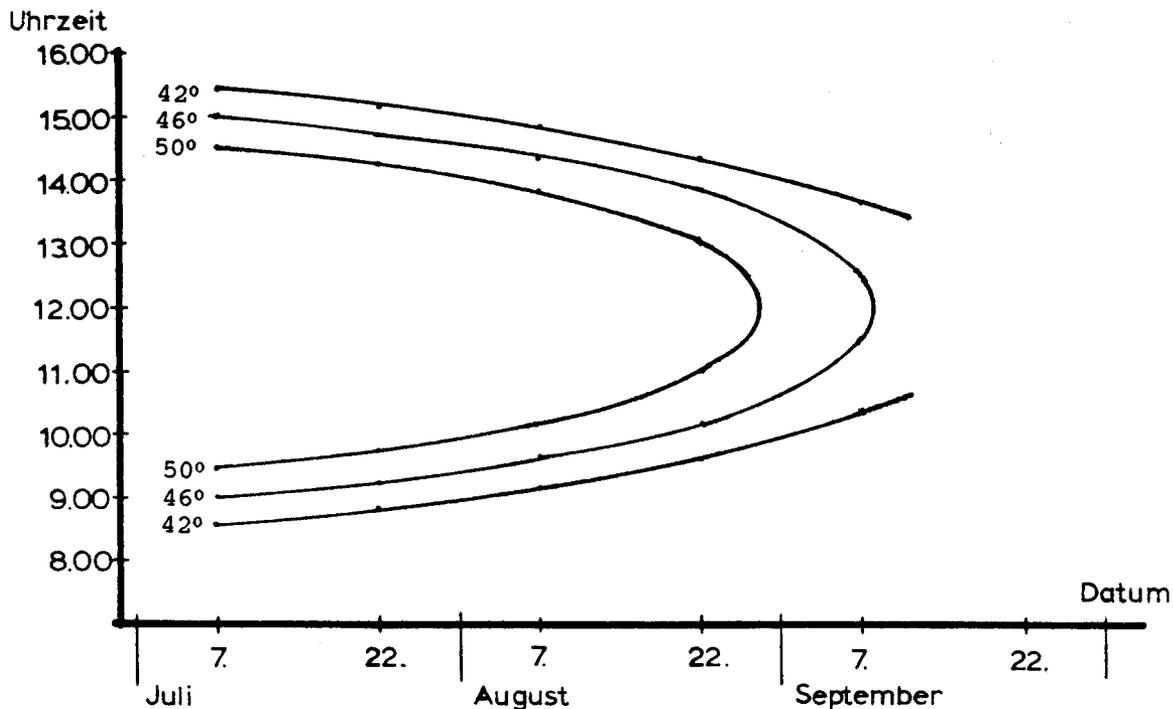


Abb. 4 Potentielle tägliche Befliegungsdauer bei Mindestsonnenständen 42°, 46°, 50° (gültig für 50° nördl. Breite)

Die Durchführung von aeralen Waldschadensinventuren

Die ersten aeralen Inventuren mit Farb- bzw. Infrarot-Farbfilmern zur Erfassung von Waldschäden, die ihrem Charakter nach denen der gegenwärtigen Schäden entsprechen, wurden 1969 und 1970 in Kalifornien (Heller 1971) und 1970 in Nordrhein-Westfalen (Kenneweg 1973) durchgeführt. Die letzteren fußten auf Ergebnissen umfangreicher experimenteller Untersuchungen, die Mitte der sechziger Jahre begannen (Hildebrandt und Kenneweg 1968) und mit der Dissertation von Kenneweg (1972) ihren ersten Abschluß fanden. Zur gleichen Zeit hatten auch entsprechende Untersuchungen in anderen Ländern eingesetzt (Wolf 1966, Stellingwerf 1968, Pollanschütz 1968, Murtha 1971).

Die erste über mehrere Jahre hin fortlaufende Beobachtung des Waldzustandes im Umfeld mehrerer Emittenten durch Interpretation von Infrarot-Farbluftbildern wurde 1974 begonnen (Hildebrandt und Cagirici 1974 bis zuletzt Masumy 1986). 1982 setzten dann in Deutschland, in Österreich, in Belgien und Luxemburg, bald danach auch in der Schweiz und Frankreich in großem Umfang für einzelne Regionen und ganze (Bundes)-Länder oder auch für einzelne Forstbetriebe aerielle Inventuren zur Erfassung der neuartigen Waldschäden ein. Die dabei angewandten Verfahren bauten ganz überwiegend auf baumweisen Schadansprachen auf und wurden daher auch als Stichprobeaufnahmen u.zw. mit systematischer Verteilung der Stichprobeorte durchgeführt.

Über eines dieser Verfahren, das als Modell für eine europaweite (jedoch länderweise durchzuführende) Waldschadensinventur auf Veranlassung der EG entwickelt und großräumig erprobt wurde, soll im Folgenden berichtet werden.

Modell für großräumige Waldschadensinventuren

Es wird davon ausgegangen, daß folgende Zielsetzungen von Inventur und Beobachtung der Entwicklung der Waldschäden in einem Großraum (Region, Land, EG-Raum o.a) gegeben sind:

- a) Zustandsinventur der Wälder des Inventurgebietes und größerer Teilräume davon an einem Stichtag. Dabei: nach Baumarten/Baumartengruppen aufgegliederte Ermittlung der Häufigkeit der den Schadensgrad der Bäume charakterisierenden Zustandsmerkmale k_i

- b) Beobachtung und Nachweis der Entwicklung des Zustandes der Wälder des Inventurgebietes in Perioden von n-Jahren
- c) Jährliche Trendanalyse der Zustandsentwicklung
- d) Untersuchung der Verteilung des Schadvorkommens sowie möglicher Beziehungen zwischen Auftreten und Veränderungen der Merkmale k_i einerseits und bestimmten Standorts- und Bestockungsmerkmalen andererseits.

Diese Zielsetzungen entsprechen den praktischen Bedürfnissen der Forstverwaltungen. Das entwickelte Inventurmodell erreicht die gesetzten Ziele durch ein Konzept, das terrestrische und aerielle Aufnahmen kombiniert und eine wirtschaftlich tragbare Lösung anbietet.

Eine erste terrestrische Phase bringt jährlich qualifizierte Trends der Schadentwicklung. Eine zweite aerielle Phase in mittelfristigen Abständen (4 - 8 Jahre je nach Trendergebnissen und Beobachtungen der Schadentwicklung durch die Forstverwaltungen) hängt diese jährlichen Trends in großräumig repräsentative Inventurergebnisse ein und wird zu gesicherten Aussagen über die Zustandsentwicklungen führen. Bei den aeriellen periodischen Inventuren werden eine große Menge temporärer Luftbild-Stichprobeelemente und eine begrenzte Anzahl permanenter, kombinierter Luftbild-Feld-Stichprobeelemente verwendet. Unter letzteren die Gesamtheit der Feldstichproben der ersten terrestrischen Phase.

Für die terrestrische Phase, also die jährlich aufzunehmenden Stichprobeelemente werden folgende Details vorgeschlagen:

- weitmaschiges Raster von Stichprobeorten für jedes Inventurgebiet. Anordnung der Stichprobeorte in systematischer Verteilung, jedoch immer auf oder unmittelbar an die Soll-Fluglinien der periodischen aeriellen Phase. Anzahl der Stichprobeorte in Abhängigkeit von den Bestockungsverhältnissen des Inventurgebietes; für Bundesländer z.B. 50 - 200 Stichprobeorte.
- Am Stichprobeort Aufnahme eines kleinen Baumkollektives (20 bis 30 Bäume) nach Baumart und den definierten Zustandsmerkmalen sowie festgelegter Bestockungs- und Standortmerkmale. Herstellung einer Computerkarte des Stichprobekollektivs (Abb. 5) und eines Stichprobeprotokolls

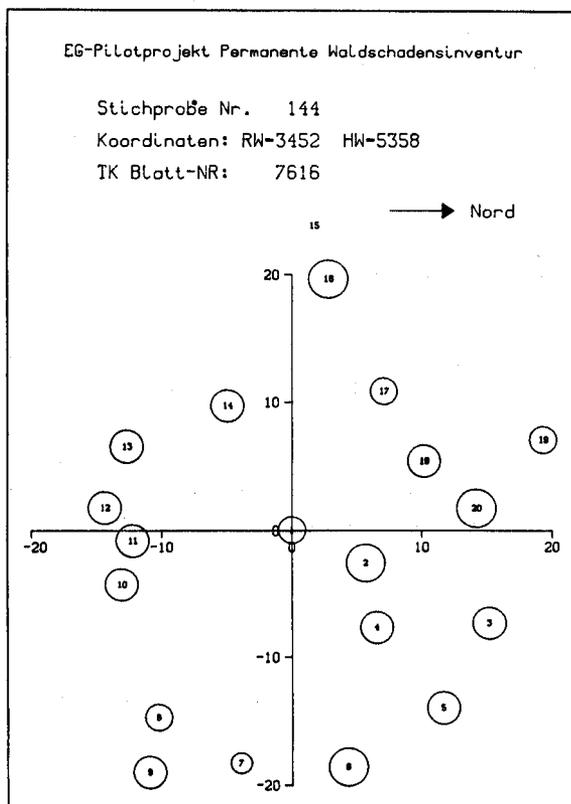


Abb. 5
Baumkarte eines permanenten Feld/
Luftbild-Stichprobeortes. Kreis
im Original je nach Baumart in
unterschiedlicher Farbe. Kreis-
größe zeigt Kraft'sche Stammklasse

In Jahren der periodischen aerialen Inventur wird der Mittelpunktbaum jedes Stichprobeortes luftbildsichtbar markiert. Sofern die Definition und Wiederherstellung des Stichprobeortes bei den aerialen Folgeinventuren mit analytisch-photogrammetrischen Methoden erfolgt, können diese Markierungen auf die Erstinventur beschränkt bleiben.

Für die aeriale Phase werden in n-jährigen Abständen mit jeweils gleichbleibenden Befliegungsprogrammen streifenweise Stichprobenbefliegungen durchgeführt und Luftbildauswertungen an einer Vielzahl von Stichprobeorten vorgenommen.

- Empfehlungen für die aufnahmetechnischen Bedingungen:

- Filmart: KODAK Aerochrome Infrared 2443 oder KODAK SO 131
- Filter: nach Erfahrung der Luftbildaufnahmefirmen z.B. Zeiss C oder D oder Wratten 12 oder 15.
- Aufnahmekamera: Reihenmeßkamera mit 23 x 23 cm Format und 300 mm Objektiv (Normalwinkelobjektiv), bei Einsatz des SO 131 Films muß die Kamera mit Bewegungskompensation (image motion control) ausgerüstet sein.
- Bildmaßstab: beim Kodak 2443 1:5000 (im Gebirge als mittlerer Maßstab zu verstehen) beim SO 131 1:10000 - 1:15000
- Aufnahmezeitpunkt:
Jahreszeit: Anfang Juli - Mitte September
Wetterlage: Wolkenfreies Wetter, maximal zulässig 2/8 Bewölkung über Flughöhe.
Tageszeit: 50° Sonnenstand gegenüber Zenit
- Flugrichtung: Sofern Topographie und in waldarmen Inventurgebieten die Waldverteilung nicht dagegensprechen, ist die Luftbildaufnahme in Nord-Süd verlaufenden Flugstreifen bei gleichem Fluglinienabstand durchzuführen.
- Längsüberdeckung der Bilder: 60 % um vollständige stereoskopische Auswertung zu sichern
- Die Luftbildauswertung erfolgt bei der aerialen Phase an einer großen Zahl temporärer und an einer begrenzten Zahl permanenter Stichprobeorten. Die wünschenswerte ausschließliche Verwendung permanenter Stichprobeorte ist angesichts der für die multiple Zielsetzung erforderlichen hohen Stichprobezahl für die Teilmzielsetzungen a) und d) sowohl aus Kostengründen als auch aus verfahrenstechnischen Gründen nicht realisierbar. Sie ist aber auch nicht zwingend.
- Als Inventurdesign wird eine mehrstufige systematische Clusterstichprobe vorgeschlagen (Abb. 6)
 1. Stufe Stichprobe-Flugstreifen
 2. Stufe Trakte von m Stichprobeorten auf den Flugstreifen
 3. Stufe Stichprobeorte mit n zu interpretierenden Bäumen
z.B. m = 9 n = 20
- Vor der Luftbildinterpretation wird der mit einem Arbeitskreis forstlicher Luftbildinterpreten entwickelte "Gestaltmerkmalsschlüssel" durch die Farbzuordnungen für das jeweils aktuelle Bildmaterial ergänzt.
- Die Luftbildauswertung erfolgt dann anhand des Schlüssels und dem Sachverstand und Erfahrungsschatz der Interpreten routinemäßig. Als Interpreten sollten nur Forstleute oder zumindest vegetationskundlich vorgebildete Mitarbeiter eingesetzt werden.
- Die Interpretation erfaßt an jedem Stichprobeort:
 - bildbezogene Merkmale: Koordinaten, Wuchsbezirk, Bildnummer
 - stichprobeortbezogene Merkmale: Standorts- und Bestandesdaten
 - baumbezogene Merkmale: Baumart, Schadstufe, Kornmerkmale, Stammklasse

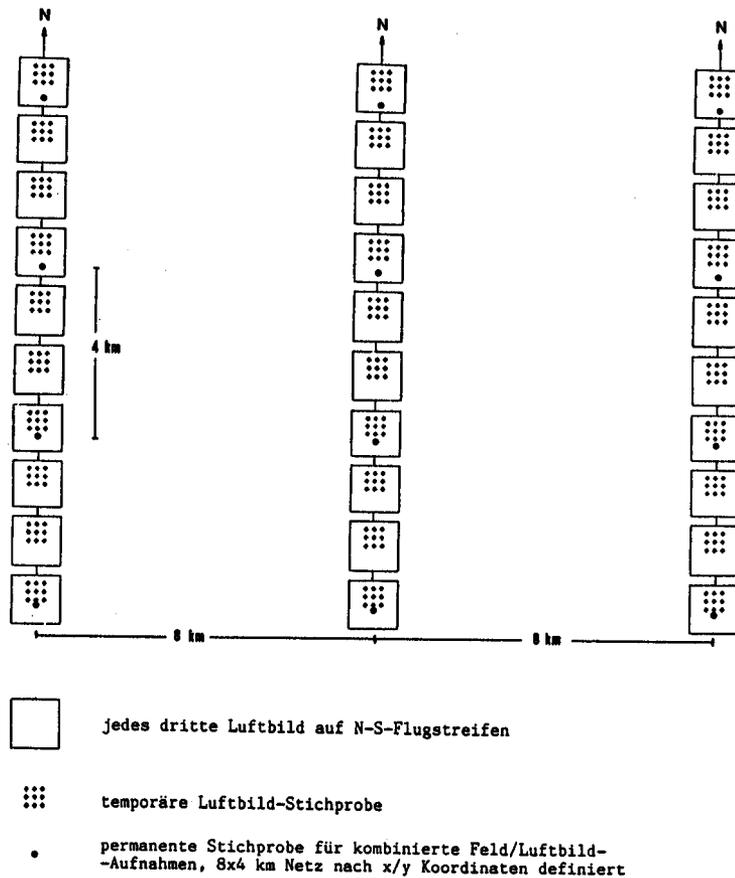


Abb. 6: Stichprobenanordnung der aeriaten Inventur

Abb. 6 zeigt die Stichprobenanordnung, wie sie bei der Pilotinventur "Schwarzwald 85" eingesetzt und als prinzipielle Lösung vorgeschlagen wurde.

- Für die Erfassung der Zustandsänderungen kommt den permanenten Stichprobeorten besondere Bedeutung zu. An ihnen erfolgt die Luftbildinterpretation so, daß ein Baum für Baum Vergleich möglich wird. Grundlage dafür ist die Baumkarte der permanenten Stichprobeorte (vgl. Abb. 5).

Bei den Folgeinventuren werden die permanenten Stichprobeorte entweder über die luftbildsichtbaren Markierungen der Mittelpunktbäume oder über deren, bei der Erstaufnahme analytisch-programmetrisch eingemessenen Lagekoordinaten wieder gefunden.

- Für die Nachweisungen der Zustandsänderungen in Großräumen stehen nach alledem zur Verfügung:
 - a) jährliche Ergebnisse von wenigen permanenten terrestrischen Stichprobeorten
 - b) periodische Ergebnisse von einer begrenzten Zahl kombinierter Feld-Luftbild-Stichprobeorte. Die bei a) aufgenommenen Stichprobeorte werden bei den periodischen aeriaten Inventuren als Luftbildstichproben mit einbezogen und bilden eine Teilmenge dieser kombinierten (und permanenten) Feld-Luftbildstichproben.
 - c) die periodischen Ergebnisse aus der Gesamtmenge der Luftbildstichprobeorten, also von einer Vielzahl temporärer Luftbildstichproben und von den bei b) genannten kombinierten Feld-Luftbildstichproben.

Waldschadensinventuren für Forstbetriebe

Bei Betriebsinventuren sind das zu wählende Verfahren, Stichprobeumfang und -muster davon abhängig, ob Aussagen über Schadenssituation und deren Veränderungen bestandesweise oder bestandesunabhängig, d.h. nur für den Betrieb als ganzem gemacht werden sollen.

In der Regel wird es für Betriebe darauf ankommen, nicht nur eine oder einige "anonyme", das Schadensausmaß des Gesamtbetriebes charakterisierende statistische Zahlen über Zustand und Zustandsänderungen zu bekommen. Es wird vielmehr wünschenswert sein, forstorts- bzw. bestandesbezogene Ergebnisse zu haben, die auch waldbauliche u.a. betriebliche Implikationen der Situation und Entwicklung erkennen lassen. Auch hier folgt man am zweckmäßigsten dem Konzept der baumweisen Ansprache von Schadstufen aus großmaßstäblichen Luftbildern. Die Waldfläche des Forstbetriebes wird jedoch im Gegensatz zum Vorgehen bei Großrauminventuren flächendeckend durch Luftbilder aufgenommen. Ferner ist nach einem geeigneten Parameter zu suchen, der es erlaubt, aus den primären Interpretationsergebnissen für die Stichprobeorte oder die Menge der Stichprobeorte der einzelnen Bestände die Schadsituation in ihrer waldbaulichen Bedeutung zu charakterisieren. Ein dafür sehr geeigneter Vorschlag wurde von Schmidtke (1987a) gemacht und in mehreren Betriebsinventuren angewandt (z.B. Kuhfus und Cagirici 1987, Schmidtke 1987b). Für diesen aus den Primärdaten abgeleiteten Parameter wurde der Begriff "Bestandesschadniveau" eingeführt. Er sollte zur terminologischen Abgrenzung zu den baumweise angesprochenen "Schadstufen" (Tab. 2) auch allgemein verwendet werden. Auch bei Betriebsinventuren wird dringend empfohlen, die baumweise Ansprache an lagedefinierten Stichprobeorten durchzuführen.

Vom statistischen Standpunkt aus bieten sich Verfahren mit durchweg permanenten Stichprobeorten als bestgeeignetste Lösung an. Hier werden bei den Folgeinventuren jeweils die gleichen Stichprobekollektive wie bei der vorangegangenen Inventur aufgenommen. Ihre Wiederherstellung wird entweder auf analytisch-photogrammetrischen Wege oder über eine luftbildsichtbare Markierung der Stichproben-Mittelpunktbäume bewerkstelligt. Bei Verwendung analytisch-photogrammetrischer Methoden können dabei Probleme bei der Beschaffung geeigneter Paßpunkte auftreten. Außerdem ist ein hoher technischer und zeitlicher Aufwand notwendig. Für viele Forstbetriebe werden die dadurch bedingten Kosten dieser Verfahren nicht oder nur schwer zu akzeptieren sein.

Eine Alternative kann in einem Verfahren gesehen werden, das methodologisch als "Stichprobe mit näherungsweise Wiederherstellung der Stichprobeorte" zu bezeichnen ist. Dabei werden nach Landeskoordinaten definierte und in Revierkarten 1:10000 eingetragene Stichprobeorte in bester Annäherung manuell von der Karte ins Luftbild übertragen. Ein solches Verfahren wird für Großrauminventuren als nicht geeignet angesehen; es wird aber für Betriebsinventuren als praktikabel, ökonomisch und statistisch als gut vertretbar empfohlen.

Flächendeckende Waldschadensklassifizierung nach multispektralen Scannerdaten

Neben der baumweisen Ansprache von Schadstufen an einer großen Anzahl von Stichprobeorten war eingangs als Verfahrensalternative die "flächendeckende Klassifizierung" der Waldschäden genannt worden. Ein solches Vorgehen kann in Form gutachtlicher Einschätzung der Schadsituation in den einzelnen Beständen durch Luftbildinterpretation erfolgen oder aber als Klassifizierungsaufgabe der digitalen Bildverarbeitung auf der Basis multispektraler Scanneraufnahmen gesehen werden. Ersteres wird hier nicht empfohlen, für den zweitgenannten Weg werden derzeit an mehreren Wissenschaftlichen Instituten praktikable Verfahren gesucht. Arbeiten von Kadro z.B. zeigen - gleichwohl bisher nur Zwischenergebnisse vorliegen (Hildebrandt, Kadro et.al. 1987) - interessante Möglichkeiten für die Zukunft. In gleicher Richtung weisen Untersuchungen von Kriitkos et.al. (1985).

Aus Kadros Arbeiten auf der Basis von Bendix M²S und Daedalus ATM sowie Landsat TM Daten werden abschließend einige Informationen gegeben:

Tabelle 3 zeigt die Datenbasis für die im Vortrag gezeigten Klassifizierungsergebnisse, die hier mangels der Möglichkeit der farbigen Wiedergabe nicht mit veröffentlicht sind.

Aufnahmedatum datum	Flughöhe m	Scanner- typ	verwendete Spektralkanäle	Grundauflösung in m
21.7.83	1000	Bendix M ² S	3,4,5,6,8	2.5
21.7.84	1000	Bendix M ² S	3,4,5,6,9	2.5
28.8.85	1000	Bendix M ² S	3,4,5,6,9	2.5
15.7.86	1000	Daedalus	2,3,5,8,9	2.5
7.7.84	750 km	Landsat TM	1 - 6	30.0

Tab. 3 Zur flächendeckenden computergestützten Klassifizierung der Waldschäden verwendete Scannerdaten.

Zur Bilddarstellung sowie zur Auswahl der Testflächen und Trainingsgebiete für die Klassifizierung wurde eine ISI Anlage eingesetzt, die durch eine PDP 11/73 angesteuert wurde. Die Auswertung der digital erzeugten Bilddaten geschah durch das Bildverarbeitungssystem FIPS (Freiburg Image Processing System). Es läuft auf der UNIVAC 1100/82 des Rechenzentrums der Universität Freiburg.

Die Klassifizierung selbst wurde als überwachte Klassifizierung mit einem Maximum Likelihood-Algorithmus unter Einbeziehung von Zusatzinformationen durchgeführt. Zur Einsparung von Rechenzeit wurde ein einfacher Quader-Klassifikator vorgeschaltet. Vor der Klassifizierung wurden Analysen der spektralen Signaturen der verschieden stark geschädigten Bäume (der vorkommenden Baumarten) und Baumgruppen durchgeführt.

Aus der Klassifizierung der Bildelemente kann für einzelne Bestandesflächen oder ganze Reviere der Zustand und - wie hier - beim Vorliegen einer Sequenz von Aufnahmen die Entwicklung des Zustandes auch numerisch abgeleitet und entsprechend graphisch dargestellt werden. An dabei auftretenden Problemen wird noch gearbeitet. Exemplarisch werden dennoch hier zwei solche aus der Klassifizierung abgeleitete Entwicklungsreihen gezeigt.

In Abbildung 7 sind die Klassifizierungsergebnisse der ausschließlich auf die Nadelbaumkronen dieser Bestände entfallenden Bildelemente dargestellt. Die Bestandesentwicklung von 1983 bis 1986 ist abzulesen. Zum Vergleich sind für das Jahr 1984 zusätzlich die Ergebnisse der computergestützten Klassifizierung und einer baumweisen Luftbildinterpretation (Vollaufnahme der Testflächen) gegenübergestellt. Die viel Hoffnung machenden, bisher erzielten Ergebnisse sind - das wird nochmals betont - erst als erste Zwischenergebnisse anzusehen. Operationeller routinemäßiger Einsatz kann noch nicht bzw. nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen befürwortet werden.

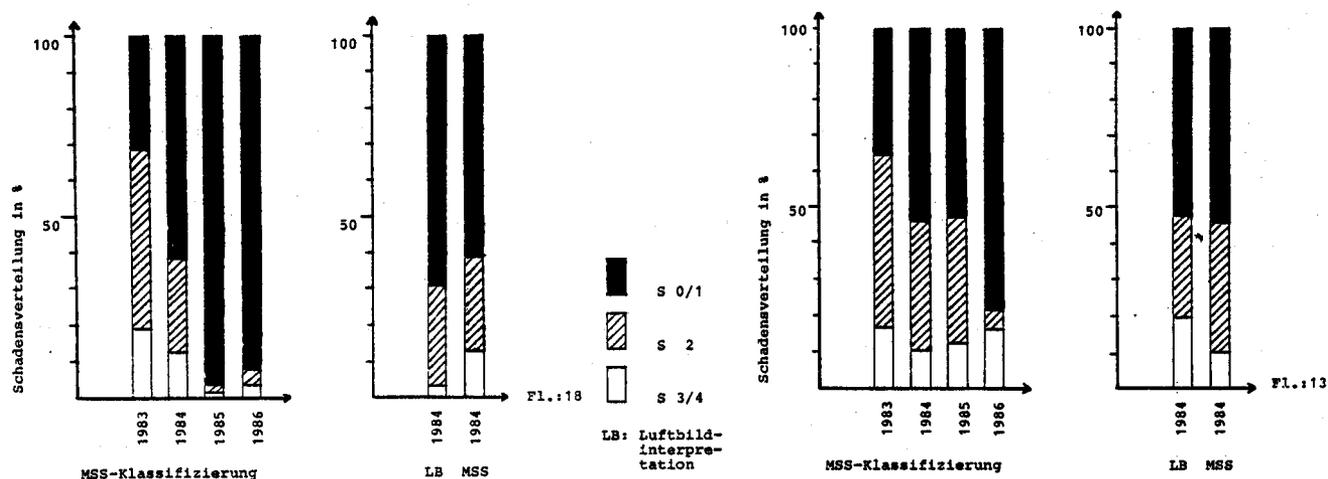


Abb. 7 Darstellung der Schadensentwicklung von Nadelbäumen zweier Testbestände des Schwarzwaldes nach Ergebnissen von digitalen Klassifizierungen auf der Basis multispektraler Scannerdaten, aufgenommen aus 1000 m Höhe.
 Mit Zustimmung von Dr. H. Kadro aus noch nicht veröffentlichten Arbeiten

Literaturverzeichnis

- BML 1986: Waldschadenserhebung 1986 Maschinenvervl. 71 S.
- Densdorf H.O., Heeschen G., Kenneweg H. 1983 Ergebnisse der großräumigen Inventur von Waldschäden 1983 mit Farb-Infrarot-Luftbildern im südlichen Schleswig-Holstein. Allg. Forst- und Jagdztg. 1983 S. 126 - 131
- ECE 1986 Draft Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UN-ECE 1986. Maschinenvervielfältigt 93 S
- Dörfel, H.J. 1987: Quantitative Untersuchungen von Informationsverlusten bei der Interpretation geschädigter Bäume mittels IRC Luftbildern in Abhängigkeit vom Sonnenwinkel (Tageszeit der Befliegung). Schriftenreihe der Abt. Biometrie und der Abt. Luftbildmessung und Fernerkundung der Univ. Freiburg Heft 3
- Hartmann G., 1984: Waldschadenserfassung durch Farbinfrarot-Luftbilder in Niedersachsen 1983 Forst- und Holzwirt 1984 S. 131-142
- Heller R.C. 1971: Color and false color photography: its growing use in forestry. In Application of Remote Sensors in Forestry. Freiburg i.B. 1971 S. 37 - 55
- Hildebrandt, G. 1983: Studie zur Durchführung einer landesweiten Inventur zur Erfassung und Beobachtung der Waldschäden in Baden-Württemberg. Unveröff. Expertise f.d. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. 25 Seiten
- Hildebrandt G. 1984: Waldschadensinventur mit Hilfe der Fernerkundung. Zeitschr. für Flugwissenschaft u. Weltraumforschung 1984 S. 314 - 318
- Hildebrandt, G. Pilotinventur für eine europäische Waldschadensinventur. In Inventory and Monitoring of Endangered Forests. IUFRO Conference Zürich 1985 S. 237-242
- Hildebrandt, G. u. Cagirici, M. 1974: Gutachten über den Gesundheitszustand der Wälder im Raume B. aufgrund zweier Luftbildinventuren im Jahre 1974. Unveröff. Gutachten Freiburg 1974
- Hildebrandt, G., Kenneweg, H. 1968: Einige Anwendungsmöglichkeiten der Falschfarben-Photographie im Forstlichen Luftbildwesen. Allg. Forst- und Jgd.Ztg. 139. Jg. S. 205-213
- Hildebrandt, G., Grundmann, O. Schmidtke, H., Tepasse, P. 1986: Entwicklung und Durchführung einer Pilotinventur für eine permanente europäische Waldschadensinventur. Schlußbericht Forschungsvorhaben 84/o55/1A PEF Karlsruhe 84 S.
- Hildebrandt, G., Kadro A., Kuntz S., Kim C., 1987 : Entwicklung eines Verfahrens zur Waldschadensinventur durch multispektrale Fernerkundung. Schlußbericht Forschungsvorhaben 83/oo1/EG. PEF Karlsruhe 104 S.
- Hradetzky, J. 1984: Fehlertheoretische Überlegungen bei der Planung und Auswertung von Stichprobeinventuren. Mitt. d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Heft 111 S. 131 - 146
- Hradetzky, J., Schöpfer, W. 1984: Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 mit Infrarot- Farbluftbildern. Mitt. d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Heft 111 S. 9 - 34
- 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. Dissertation Freiburg 1972. 253 S.
- Kenneweg, H. 1973: Interpretation von Luftaufnahmen für die Erforschung und Gestaltung von Vegetationsbeständen in westdeutschen Ballungsräumen. Proceed. Symp. IUFRO S. 605 Freiburg 1973 S. 87 - 115
- Kritikos G., Kübler D., Hermann K. 1985 Vergleichende Waldschadensklassifizierungen mit Scannerdaten aus verschiedenen Flughöhen. DFVLR Int. Bericht.
- Kuhfus, N., Cagirici M. 1987: Waldschadensinventur Stadtwald Freiburg i.Br. 1985/86 mit Farbinfrarot-Luftbildern. Bericht 1987. 61 S.
- Kuhl W.E. 1985: Luftbildauswertung zur Waldschadenserhebung in Nordrhein-Westfalen LÖLF Jahresbericht 1984 S. 15 - 19 Recklinghausen 1985

- Masumy, S.A. 1986: Die Entwicklung der Mortalität in den Wäldern im Raum B... zwischen 1974 und 1985. Unveröff. (10.) Gutachten, Müllheim 1986. 60 S.
- Murtha P.A. 1971 Recent Canadian experiences with false-color film: Aspects of interpretation for forest damages. Paper presented at IUFRO World Congress 1971
- Pollandschütz J. 1968: Erste Ergebnisse über die Verwendung eines Infrarot-Farbfilms in Österreich für die Zwecke der Rauchsadenschadensfeststellung. Zentralblatt f.d. gesamte Forstwesen 1968 S. 65 - 79
- Schmidtke, H. 1987a: Waldschadensinventur Stadtwald Baden-Baden 1985 mit Farb-Infrarot-Luftbildern. Bericht 1987. 52 S.
- Schmidtke, H. 1987 : Definition von Schadniveaus für bestandes- und betriebsweise Waldschadensinventuren. Allg. Forstzeitschrift (in Druck)
- Stellingwerf D.A. 1968: The usefulness of KODAK Ectachrome infrared Aerofilm for forestry purposes. Proc. XI. Int. Congr. of Photogrammetry Lausanne 1968
- Tepassé, P. 1984: Vergleichende Dokumentation der Waldschadenserhebungen mit FIR-Luftbildern in der Bundesrepublik Deutschland. Dipl.-Arbeit Freiburg 1984
- Wolff G. 1966: Schwarz-weiße und falschfarbige Luftbilder als diagnostische Hilfsmittel für operative Arbeiten beim Forstschutz (Rauchschaden) und bei der Waldbestandsdüngung. Int. Arch. Photogramm. Vol XVI. Paris 1966 II S.85-95. Parallelbeitrag in Soz. Forstw. 1966 S. 140 - 143

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einem kurzen Hinweis auf die Waldschadenssituation in der Bundesrepublik Deutschland und den Ursachenkomplex dieser "neuartigen" Schäden, wird über die derzeitige Praxis der großräumigen Waldschadensinventuren der BRD berichtet.

Die durch die äußeren Schadsymptome ausgelösten Veränderungen der spektralen Reflexion betroffener Baumkronen ermöglichen den Einsatz von Fernerkundung. Dabei steht heute die Auswertung von großmaßstäbigen Infrarot-Farbluftbildern mit baumweiser Interpretation im Vordergrund. Sie werden bei praktizierten Betriebs- und Großrauminventuren in ein "Stichprobeverfahren" eingebunden. Für flächendeckende Klassifizierungen werden digitale Bildverarbeitungsverfahren auf der Basis von multispektralen Scannerdaten erprobt.

Im Detail wird ein erprobtes und schon praktiziertes Inventurmodell für großräumige Erfassung der Waldschadenssituation und ihrer Entwicklung vorgestellt. Dieses Modell kombiniert terrestrische und aerielle Inventurelemente.

Bei Betriebsinventuren treten einige - hier angesprochene - von der Technik der Großrauminventuren abweichende methodische Fragen auf.

Abschließend wird auf den Stand der Entwicklung von flächendeckenden computergestützten Klassifizierungen und einige dabei erreichte Zwischenergebnisse hingewiesen.

INVENTORY AND MONITORING OF THE ACTUAL FOREST DECLINE IN EUROPE BY REMOTE SENSING

ABSTRACT

Following some information about the situation of forest decline in Germany and the complex of causes the paper reports on the practice of forest-decline-inventories in this country.

The visible symptoms of the decline entail changes of the spectral reflexion of afflicted tree crowns and forest canopies. This offer the application of remote sensing. Thereby is presently the evaluation of largescale color-infrared aerial photography with a tree by tree interpretation in the foreground. This is manyfold practised for decline inventories for states, regions and holdings using various concepts of sampling. For complete area classification of the decline computeraided approaches based on multispectral scanner data are in the experimental stage.

In more detail the paper presents an already successful tested model for regional or statewide inventory and monitoring of the forest decline. The model combines elements of fieldsampling and photosampling.

For inventory and monitoring of the decline in individual forest holdings some special methodological questions arise. They are briefly discussed in the paper.

Finally the status quo of the development in the field of computeraided classification using multispectral scanner data is mentioned. Some new results relating to these efforts are presented.

Prof. Dr. G. Hildebrandt
Abt. Luftbildmessung und Fernerkundung
Universität Freiburg
Werderring 6
D-7800 Freiburg i.Br.