Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

DIE BEDEUTUNG DER FERNERKUNDUNG FÜR DIE FORSTWIRTSCHAFT

G. Hildebrandt, Freiburg

1. Einleitung

Die Bedeutung der Fernerkundung für die Forstwirtschaft kann nur aus der Kenntnis von deren Eigenarten und der dabei zu bewältigenden Aufgaben heraus ermessen werden. Man beobachtet heute gleichermaßen Überschätzungen wie Unterbewertungen der Fernerkundung für forstwirtschaftliche Zwecke - beides entweder aus mangelnder Kenntnis forstwirtschaftlicher Aufgaben oder der Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung zu deren Lösung.

Forstwirtschaft ist - im Gegensatz zur bloßen Exploitation - auf Bewirtschaftung, Pflege und Erhaltung der Wälder zur Sicherung von deren nachhaltigem, d. h. dauerndem und stetigem Nutzen, als Rohstofflieferant, als Erholungswald, als Schutzwald, als Einkommensquelle usw. gerichtet.

Unabhängig von der Intensitätsstufe der Waldwirtschaft zeichnet sich die Forstwirtschaft vor allem durch vier sehr spezifische Eigenschaften aus:

- durch die Mehrfachfunktionen der Wälder
- durch die Langfristigkeit der Wachstums- und Produktionszeiträume
- durch die große Ausdehnung der zu bewirtschaftenden Fläche
- durch die Natur- und Standortsabhängigkeit und die dadurch bedingte Risikobelastung

Aufgaben und Eigenarten der Forstwirtschaft erfordern zur Sicherung der Nachhaltigkeit, zur Optimierung wirtschaftlichen Handelns und zur Minimierung des Risikos periodisch wiederkehrende mittel- und langfristige Planungen auf Bestandes-, Betriebs- und Landesebene sowie eine ständige Überwachung der ausgedehnten Produktionsflächen.

Grundlage für die Planung sind neben den Kenntnissen der Gesetzmäßigkeiten des Waldwachstums, der Standortseigenschaften, der ortsspezifischen Funktionen der Wälder sowie der Marktverhältnisse vor allem auch aktuelle Informationen über die Waldverteilung im Planungsraum, über den Zustand, die räumliche Ordnung und die Zugänglichkeit des Waldes sowie die Höhe und Struktur des Holzvorrats und damit des vorhandenen Zuwachspotentials.

Diese Aufzählung läßt erkennen, daß verschiedenartigste Informationen aus unterschiedlichsten Quellen benötigt werden. Ein wesentlicher Teil des regelmäßig wiederkehrenden Informationsbedarfs kann aus Luftbildern und anderen Fernerkundungsaufzeichnungen beschafft werden. Hieraus sind sowohl die Bedeutung der Fernerkundung für Forstwirtschaft, als auch der Stellenwert der verschiedenen Fernerkundungstechnologien abzuleiten. Sie sind im Einzelnen und örtlich in Abhängigkeit von der Art des Informationsbedarfs (Spezifizierung, Genauigkeit, zeitliche Verfügbarkeit, Wiederholungsraten), von der Waldform (z. B. trop. Regenwald vice nordische Nadelwälder) und von der Verfügbarkeit schon vorhandener Informationen oder funktionierender terrestrischer Informationssysteme unterschiedlich zu beurteilen.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Mit Abb. 1 wird modellhaft versucht, eine ungefähre Vorstellung davon zu vermitteln, in welchem Maße Informationen aus Luftbildern und aus anderen Fernerkundungsaufzeichnungen zur Deckung des Informationsbedarfs für forstwirtschaftliche Zwecke beitragen können. Das Modell nimmt Rücksicht auf die unterschiedlichen Planungsebenen (Abszisse) und den i.d.R. gegebenen Zusammenhang zwischen Intensität der Waldwirtschaft und Größe des Inventur- bzw. Planungsraumes einerseits und Art des Informationsbedarfs bzw. Verfügbarkeit vorhandener Informationen andererseits (Fall a und b).

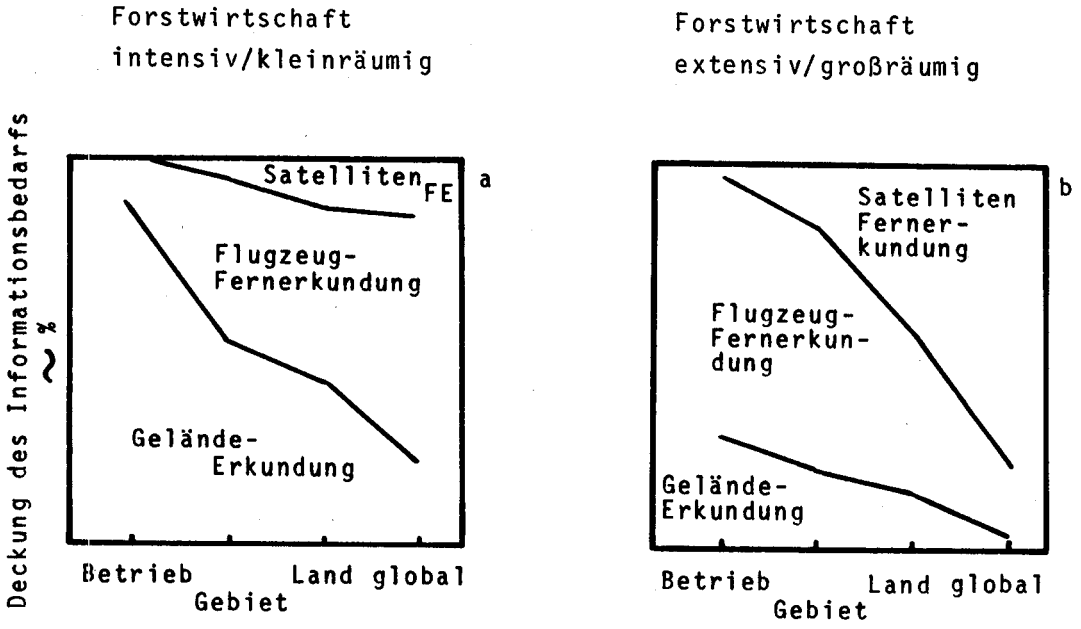

Abb. 1: Mögliche Deckung des Informationsbedarfs (Modell)

2. Die Anwendungsgebiete und Informationsbedürfnisse

Nach dem eingangs Gesagten ist es leicht verständlich, daß man bei forstwirtschaftlichen Aufgaben dort auf Möglichkeiten eines zweckmäßigen Einsatzes der Fernerkundung stößt, wo es um Inventur und Ermittlung von Zuständen und Entwicklungen - sei es von Flächen oder Waldbeständen - geht. Die nützlichen Anwendungen der Fernerkundung ergeben sich deshalb in erster Linie

- für vorwiegend forst- und entwicklungspolitischen Zwecken dienende Großrauminventuren,
- für die Zustandserfassungen und Kartierungen als Grundlage betrieblicher oder regionaler Wirtschaftsplanung und -führung,
- für eine Anzahl von Wald- und Landschaftsschutzmaßnahmen, sei es zur Entdeckung, Bekämpfung oder Abschätzung von Waldschäden,

daneben auch für andere auf Zustandsdaten angewiesene forstliche Aufgaben, wie z. B. die Landschaftsplanung, die Walderschließungsplanung, die Wildbewirtschaftung usw.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Bei den genannten Anwendungsbereichen kann der Informationsbedarf gerichtet sein

- auf die Größe von Flächen oder auf Flächenanteile verschiedener Kategorien (Anteile von Wald, Waldtypen oder Baumarten, von Altersklassen, Schadflächen usw.),

- auf die Lage bestimmter Flächenkategorien oder umfassend auf die räumliche Ordnung im Waldgebiet oder in einer Region,

- auf die Art und den Grad der Zugänglichkeit (Erschließung) der Wälder oder nutzbarer Bestände,

- auf die Waldaufbauform (Reinbestand; Mischbestand; Mischungsform, -anteile, -verteilung; Bewirtschaftungs- und Verjüngungsformen usw.) und den Waldzustand, (Alter, Schlußgrad, Krankheitssymptome, Mortalität usw.),

- auf die Höhe, Struktur und ggf. örtliche Verteilung des Holzvorrats und seine Zuwachsleistung,

- auf Standortseigenschaften der Waldflächen (geologisches Substrat, geomorphologische Faktoren, Bodenart, und Wasserversorgung usw.) und deren Bonität, im Bereich der Wildbewirtschaftung auf Habitateigenschaften, Äsungsmöglichkeiten, usw.

Es kann dabei nach dem status quo dieser Fakten gefragt werden oder durch vergleichende Auswertung früherer Aufnahmen nach Veränderungen (Entwicklungen) oder Folgen bestimmter Ereignisse. Vieles der aufgezählten Fakten kann direkt und oft dabei auch zuverlässig aus geeigneten Luftbildern o. a. Fernerkundungsdaten gewonnen werden. Manches ist aus diesen Quellen nur indirekt und dann meist mit geringerem Grad an Zuverlässigkeit einzuschätzen. Wieder anderes bleibt der Fernerkundung verschlossen (z. B. Schaftqualität, unterständige Bestockungsglieder, Verjüngung unterm Schirm des Altholzes, spezielle Bodeneigenschaften).

Im folgenden sollen die wichtigsten Anwendungen im einzelnen betrachtet werden. Es wird dabei von praktisch Erprobtem oder für operationellen Einsatz Ausgereiftem gesprochen. Unsichere Zukunftschancen werden nicht erwähnt.

3. Fernerkundung für betriebliche Waldzustandserfassung und -kartierung

In nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und solchen, die einer nachhaltigen Bewirtschaftung zugeführt werden sollen, werden turnusmäßig mittelfristige, d. h. 5 - 20-jährige Planungen der Holznutzung, der Verjüngung u. a. betriebliche Maßnahmen durchgeführt. Im deutschen Sprachgebrauch wird diese Betriebsplanung "Forsteinrichtung" genannt. Der Einsatz von Luftbildern ist dafür heute überall selbstverständliche Routine. Andere Fernerkundungsaufzeichnungen wurden dafür weder in Deutschland noch anderswo eingesetzt und haben gegenwärtig auch noch keine Chance, eingesetzt zu werden.

Im einzelnen dienen die Luftbilder

- zur Überprüfung der vorhandenen Karten und zur Nachtrags- gegebenenfalls zu Erstkartierungen;

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

- zur sofortigen Beschaffung synoptischer Informationen bezüglich des einzurichtenden Betriebes (Topographie, Wald-, Feld-, Siedlungsverteilung, Verkehrsnetz, räumliche Ordnung im Wald) und später zur eingehenden Erfassung des Zustandes des Gesamtbetriebes und seiner Einbettung in die Landschaft;

- zur Orientierung im einzurichtenden Revier und als Grundlage für die Planung und Organisation der Forsteinrichtungsarbeiten;

- als Entscheidungshilfe für die wirtschaftliche Waldeinteilung;

- zur standörtlichen Charakterisierung der einzelnen Forstorte;

- als Entscheidungshilfe bei der Wahl der Holzvorratsaufnahmeverfahren, ggf. zur Stratifizierung der Waldflächen für nachfolgende terr. Stichprobeaufnahme des Vorrats;

- zur Beschreibung des Bestandeszustandes einschl. quantitativer Bestockungsdaten (z. B. Schlußgrad, Flächenanteil von Mischholzarten, Baumhöhen) oder des Holzvorrats selbst;

- als Erinnerungsstütze und nachträgliche Informationsquelle beim Auftreten von Informationslücken während der häuslichen Verarbeitung der Aufnahmeergebnisse;

- als Dokument der Bestandes- und Reviergeschichte.

Das Luftbild ersetzt nicht die terrestrische Arbeit. Es kommt vielmehr auf eine geeignete Kombination von terrestrischer Aufnahme und Luftbildauswertung an. Aus einer vergleichenden Zeitstudie (Hildebrandt 1957) und praktischen Erfahrungen ist bekannt, daß für die Orientierung im Revier, für die Planung der Waldeinteilung und die Bestandesbeschreibungen je nach Bestockungs- und Geländeverhältnissen sowie je nach Qualität der Luftbilder und dem Arbeitsstil des Forsteinrichters 30 - 60 % der Zeit erspart wird, wenn Luftbilder als zusätzliche Informationsquelle benutzt werden. Die Einsparungen bei forstlichen Nachtragskartierungen können 70 % und mehr und bei Neuvermessungen bis zu 50 % gegenüber den konventionellen terrestrischen Vermessungs- und Kartierungsarbeiten betragen.

Neben solchen Einsparungen wird in vielen Fällen auch eine Verbesserung der Arbeiten möglich. Im Luftbild können Zusammenhänge und auch zahlreiche Einzelheiten erkannt werden, die bei alleiniger terrestrischer Aufnahmearbeit nur unvollständig erfaßt werden oder sogar unerkannt bleiben.

Überraschend ist, daß auch nach 50 Jahren sonst erfolgreicher forstlicher Luftbildinterpretation die Baumartenerkennung im Luftbild noch begrenzt ist. Dies gilt insbesondere für die Unterscheidung von Laubbaumarten, deren spektrale Reflexion zu bestimmten Zeiten im Jahr so ähnlich ist, daß sichere Unterscheidung oft nicht möglich ist. Kommt es für eine Auswertung auf weitgehende Baumartenunterscheidung an, so ist die Aufnahmezeit im Jahr zu finden, in welcher die phänologische Differenzierung der Arten maximal ist (vgl. hierzu z. B. Hildebrandt 1957, Dörfel 1977). Europäische und nordamerikanische Erfahrungen zeigen im übrigen darüberhinaus, daß die Baumartenerkennung im Infrarot-Farbluftbild weitgehender möglich ist als in Bildern anderer Filmarten. MSS-Aufzeichnungen stoßen auf die gleichen objektbedingten Grenzen. Da Texturmerkmale für die Baumartenerkennung mindestens ebenso wichtig sind wie die spektrale Signatur, können MSS-Daten nur dann ähnlich gute Ergebnisse wie IRC-Luftbilder bringen, wenn etwa die gleiche Auflösung erreicht wird.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Neueste Datenanalysen zeigen, daß MSS-Daten aus 1000 m Höhe aufgenommen werden müssen, um von Waldbeständen die etwa gleiche Texturinformation wie IRC-Luftbilder zu bringen, die aus 4000 m Höhe photographiert wurden (Masumy und Hildebrandt 1977)! Besondere Interpretationsprobleme bietet bezüglich der Baumartenerkennung naturgemäß der tropische Regenwald mit seinen örtlich nach Hunderten zu zählenden Baumarten (vgl. hierzu z. B. Stellingwerf 1971).

Unbeschadet solcher Interpretationsprobleme ist die Erkennung von Bestockungsunterschieden und damit die Abgrenzung gleichartiger Waldteile als "Bestände" möglich. Diese Bestandesabgrenzung ist eine vielschichtige Klassifizierungsaufgabe. Es gehen Merkmale wie Baumart, Mischungsverhältnis, Alter, Schlußgrad und Bonität als Entscheidungsfaktoren ein, und es sind betriebswirtschaftliche und waldbautechnische Faktoren zu berücksichtigen. Bestandesgrenzen sind zu 80 - 95 % "luftsichtbar". Über die sinnvolle Abgrenzung (was, wo) kann i.d.R. nur durch fachmännische "klassische" Interpretation geeigneter Luftbilder (Maßstab, Film/Jahreszeit, photographische Qualität) befriedigend entschieden werden. Der Entscheidungsprozeß läßt sich allenfalls in extensiv bewirtschafteten Wäldern mit wenig differenzierten Bestockungsverhältnissen computergestützten Klassifizierungsverfahren übertragen.

3.2. Karten für die Betriebsführung

Thematische Karten, die den Aufbau, die Bestandesgliederung und die Erschließung der Waldflächen eines Forstbetriebes zeigen, sind unerläßlich für die forstwirtschaftliche Betriebsführung. Anforderungen an den Informationsgehalt solcher Karten sind dabei selbstverständlich abhängig vom Intensitätsgrad der Forstwirtschaft.

Luftbilder wurden schon seit den frühen zwanziger Jahren für die Forstkartenherstellung eingesetzt. Sie sind seit langem überall in der Welt selbstverständliche Grundlagen für die Waldkartierung. Je nach Verwendungszweck und lokalen Gegebenheiten werden die Forstkarten heute als schwarzweiße oder flächig kolorierte Strichkarten oder Bildkarten als Luftbildplan bzw. Orthophotokarte verwendet. Für die Länder mit intensiv bewirtschafteten Wäldern kann anhand der deutschen Forstvermessungspraxis die Rolle der Fernerkundung verdeutlicht werden.

Topographische Details der Forstgrundkarte 1:5000 und der Betriebskarten 1:10 000 stammen i.d.R. aus nachgeführten großmaßstäbigen TOP-Karten. Eigentumsgrenzen werden aus Flurkarten übernommen oder ggf. terrestrisch eingemessen. Diese, mit hoher Genauigkeit zu kartierenden Grenzen können wegen der Überschirmung durch Baumkronen aus Luftbildern nicht zuverlässig erfaßt werden.

Neue Linien des ständigen Waldeinteilungsnetzes (Abteilungsgrenzen, Forststraßen), werden z. T. noch terrestrisch eingemessen, z. T. auch stereophotogrammetrisch oder durch Hochzeichnungen aus Orthophotos gewonnen.

Die meisten der Einteilungslinien, nämlich die bereits erwähnten, sich durch Wirtschaftsmaßnahmen und Naturereignisse häufig verändernden Bestandesgrenzen, werden weitgehend nach Luftbildern kartiert. Bei Revieren des Flach- und Hügellandes sowie i.d.R. auch der Mittelgebirge geschieht dies durch einfache facettenweise Umzeichenverfahren ausreichend genau und ökonomisch zweckmäßig. In Hochgebirgsrevieren ist stereophotogrammetrische Auswertung erforderlich. Dort wo die Orthophotokarte Teil des Forstkartenwerks ist, können diese Linien hochgezeichnet werden. Die Fortführung erfolgt i.d.R. in 10-jährigem Turnus.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

In zunehmendem Maße werden Orthophotokarten als Betriebskarten anstelle oder neben der herkömmlichen kolorierten Strichkarte mit Erfolg verwendet (Voß 1970, Dexheimer 1971). Es hat sich dabei gezeigt, daß die Mehrzahl der Forstbeamten, denen beide Kartenformen zur Verfügung stehen, die Photokarten bevorzugen (Peerenboom 1975, Abb. 2).

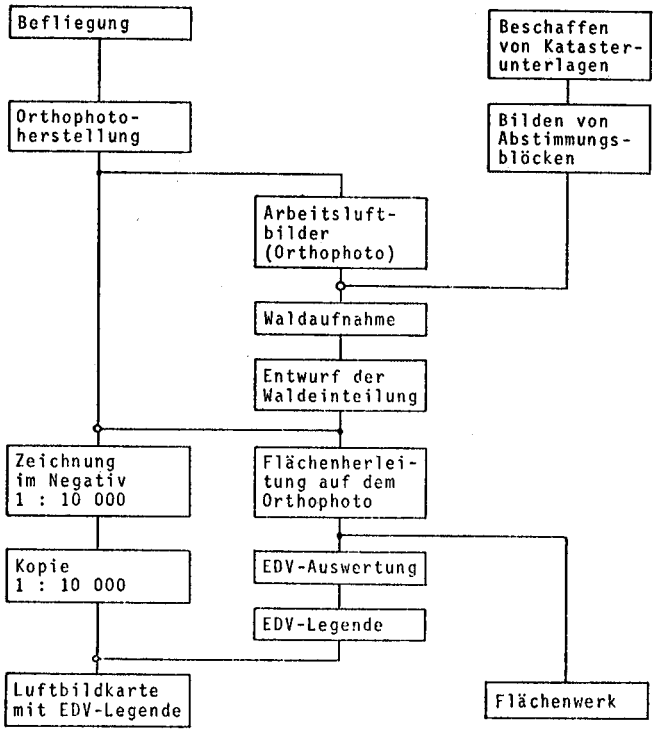

Abb. 2

Herstellung einer Orthophotokarte als forstliche Betriebskarte einschließlich Flächenherleitung (Peerenboom 1975), entsprechend der Praxis bei der Forstdirektion Koblenz.

Neu ist die Entwicklung von Methoden der digitalen Bestandeskartierung. Durch Luftbildauswertung an einem Stereokartiergerät werden die für die Herstellung der Forstgrund- oder Betriebskarte zu kartierenden zuvor nach fachmännischer Interpretation in die Luftbilder eingezeichneten Linien durch eine diskrete Punktfolge approximiert und die Punktkoordinaten registriert. Nach Transformation dieser Koordinaten in das Koordinatennetz der Landesvermessung erfolgen die automatische Kartierung und Flächenberechnung (Kölbl 1976, Talts 1976).

Aus MSS-Daten entwickelte Komputerkarten haben gegenwärtig in intensiv und kleinflächig bewirtschafteten Wäldern noch keine Chance, als Forstbetriebskarten Verwendung zu finden. Dies gilt für Flugzeug- wie für Landsat-Aufzeichnungen.

Das Gegenstück zu europäischen Forstbetriebskarten sind in Nordamerika u. a. Ländern Forest Cover Type Maps oder Forest Stand Maps. Auch hier sind Strichkarten und Bildkarten im Gebrauch. Deren Informationsgehalt unterscheidet sich entsprechend anderer Bedürfnisse für dort praktizierte Waldbewirtschaftungsformen und die wesentlich großräumigeren Verhältnisse von denen mitteleuropäischer Forstkarten.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Die Klassifizierung selbst wird noch weitgehender als in der europäischen Praxis auf Luftbildinterpretation gestützt. Die Interpretationsprobleme sind prinzipiell die gleichen wie in Europa.

Stärker als in Europa hat sich in Nordamerika auch die Bildkarte durchgesetzt, in steigendem Maße auch als Orthophotokarte (Heller 1976 a, 1976 b) und experimentell als Stereo-Orthophotokarte (Kalensky 1976 a, 1976 b).

Komputerkarten auf der Grundlage von MSS-Daten sind auch in Nordamerika als Forstkarten für die Betriebsführung noch nicht in Anwendung. An Experimenten dazu unter Auswertung von Flugzeug- und vor allem Landsat-MSS-Daten fehlt es freilich nicht. Sie führen durchweg zu der Feststellung, daß thematische Komputerkarten (noch) nicht für den hier zunächst besprochenen Kartentyp brauchbar sind. Ihre Anwendungsmöglichkeiten liegen für forstliche Aufgaben in anderen Bereichen.

3.3. Holzvorratsermittlung für die Betriebsplanung

Ein spezielles und interessantes Problem der forstlichen Luftbildauswertung ist die Einschätzung bzw. Messung von nutzbaren Holzvorräten. Schon in den zwanziger Jahren wurden in Nordamerika und in Deutschland (z. B. Zieger 1928) Verfahren hierzu vorgeschlagen. Die unmittelbare Einschätzung des Holzvorrats aus Luftbildern ist für einen gegebenen Waldtyp möglich durch korrelative Zusammenhänge zwischen der Menge des Holzvorrats und im Luftbild meß-, schätz- oder zählbaren Bestockungsparametern wie Baumhöhe, Bestandesdichte, Stammzahl oder Altersklasse. Entsprechende Bestandesformeln und daraus ableitbare Luftbildmassentafeln müssen getrennt nach Waldtypen und Wuchsgebiet entwickelt werden. Gegebenenfalls sind sie mit Erfolg auch nur für ein bestimmtes Luftbildmaterial (Maßstab, Filmtyp) anwendbar. Bei "passenden" Formeln können die Schätzfehler innerhalb ± 10 % liegen. Dennoch werden bei Forsteinrichtungen Vorratsermittlungen aus Luftbildern selten angewandt. Dort wo der Vorrat des ganzen Betriebes durch eine terrestrische Stichprobemessung erhoben wird, wird jedoch oft das aufzunehmende Gesamtkollektiv nach den Informationen aus den Luftbildern nach Vorratsklassen oder die Vorratshaltung beeinflussenden Bestockungsmerkmalen (Bestandeshöhe, Bestandesdichte, Baumarten) stratifiziert. Die Stichprobeflächen können dann optimal so verteilt werden, daß bei gegebenem Stichprobeumfang die höchstmögliche Aufnahmegenauigkeit oder eine gegebene Genauigkeitsforderung mit geringstmöglichem Stichprobeumfang erreicht wird.

4. Fernerkundung für forstliche Großrauminventuren

Großrauminventuren können auf die Ersterkundung weiter, noch weithin unbekannter Gebiete dieser Erde gerichtet sein oder als Landes-, Regional-, oder Preinvestment-Inventuren dazu dienen, Informationen über das Waldpotential für forstpolitische, wirtschafts- oder entwicklungspolitische Entscheidungen zu gewinnen. Die periodisch wiederholte Großrauminventur - in vielen Ländern heute als wichtiges Instrument forstpolitischer Steuerung praktiziert - führt zur Beobachtung der qualitativen und quantitativen Entwicklung des Waldpotentials, der Flächen und Holzvorräte.

Die Ergebnisse dieser Großrauminventuren werden oft nur in Form von Statistiken und Analysen niedergelegt. Daneben gewinnt in jüngster Zeit zunehmend auch die kartenmäßige Darstellung der Inventurergebnisse an Bedeutung. Die Möglichkeit, durch Satellitenaufnahmen oder kleinstmaßstäbige Radaraufzeichnungen größte Räume in kurzer Zeit und auch periodisch wiederkehrend bildhaft zu erfassen, hat diese Entwicklung stark gefördert und neue Perspektiven der Großrauminventurtechnik eröffnet.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Verschiedenartige Inventurverfahren haben sich in der Praxis der Großrauminventur herausgebildet. Sie reichen von rein terrestrischen Stichprobeverfahren, bei denen Luftbilder allenfalls als Orientierungshilfen im Gelände benutzt werden, bis zu nahezu reinen Fernerkundungsinventuren, bei denen lediglich zur Vorbereitung der Interpretation oder Klassifizierung und ggf. später zur Kontrolle etwas Geländearbeit einbezogen wird.

Die Mehrzahl der Verfahren sind jedoch kombinierte Inventuren, die sowohl auf Fernerkundungsinformationen als auch auf terrestrisch aufgenommene Daten aufbauen. Dabei werden i.d.R. die zur Flächeninventur und ggf. zur Stratifizierung des Inventurgebiets für die nachfolgende terrestrische Holzvorratsinventur benötigten Informationen durch Fernerkundung gewonnen. Es geht dabei um die Feststellung und Quantifizierung von Anteilen, Flächengrößen und örtliches Vorkommen verschiedener abgrenzbarer Flächenarten, z.B. Vegetations- oder Waldtypen, Waldzustandsklassen, Vorratsklassen, das flächenmäßige Vorkommen bestimmter Baumarten u.a. Die erforderliche Klassifizierung erfolgt entweder für den gesamten Inventurraum oder auf Stichprobeflächen (Streifen, Kleinflächen, Punkte). Die für die Holzvorrats- und Zuwachsinventur benötigten Daten werden dagegen auf kleinen Stichprobeflächen oder mehreren Stichprobebeständen (Listenstichprobe) im Wald gemessen.

In anderen - ebenfalls erfolgreich - praktizierten Großrauminventuren wird auch die Holzvorratsinventur zweistufig in Form eines Double-Sampling durchgeführt. Aus Luftbildern werden dabei zahlreiche Stichprobepunkte ausgewählt und bezüglich des dort stockenden Holzvorrats je Flächeneinheit (z.B. in fm/ha) eingeschätzt. Aus der Menge der Luftbildstichproben wird ein Teil als "Stichprobe aus der Stichprobe" (subsample) ausgewählt, im Wald aufgesucht und dort der Vorrat gemessen.

Solche zweistufigen Inventurmodelle führen weiter zur Mehrstufeninventur mit oder ohne Einbeziehung von Satellitenaufzeichnungen. Diese Modelle sind in jüngster Zeit mehrfach diskutiert und auch experimentell angewandt worden (vor allem Langley et al. seit 1969, zuletzt 1976). Sie folgen statistisch zumeist dem Modell per p.p.s.-Stichprobeverfahren[1]). Gegenwärtig werden sie auch auf ihre Brauchbarkeit für mitteleuropäische Waldverhältnisse geprüft bzw. an diese Verhältnisse angepaßt. Auch bei Großrauminventuren hat bislang das Luftbild als Fernerkundungsmittel die größte Rolle gespielt. Das gilt zweifellos in der Praxis auch heute noch. Erste praktische und zahlreiche experimentelle Erfolge sind aber für Zwecke der Großrauminventur inzwischen auch durch multispektrale Scanneraufzeichnungen und Radarbilder erzielt worden. Beim gegenwärtigen Stand der Technologie zeichnen sich folgende reale Möglichkeiten für deren praktischen Einsatz bei Wald- und Vegetationsinventuren ab:

- <u>Landsat-MSS-Aufzeichnungen</u>

  Die Trennung von Waldflächen gegenüber "Nicht-Wald"Flächen ist gut möglich. Analoge wie auch digitale Klassifizierung führt in günstigen Fällen zu Aussagen über die Anteile der Waldflächen in einem Inventurraum mit einer Genauigkeit um 90 - 95 %. Größere Klassifizierungsfehler treten auf, wenn Übergangsformen wie Buschland, sehr aufgelockerte Waldformationen, weitständige Plantagen oder großflächige Jungbestände vorkommen. In solchen Fällen können die Reflexionsanteile des Bodens oder der Bodenvegetation zu Fehlklassifizierungen führen.

---

1) p.p.s. = probability proportional to size sampling
(Hansen, Hurwitz and Madow 1961)

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Die Klassifizierung nach Nadel- und Laubholzbeständen ist ähnlich gut möglich. Kommt es nur darauf an, die Nadelholzfläche zu ermitteln, so kann die Klassifizierungsgenauigkeit bei digitaler Auswertung im günstigen Fall 95 % erreichen. Laubholzbestände werden als "Klasse" etwa zwischen 60 und 85 % richtig angesprochen.
Die erreichbare Genauigkeit der Klassifizierung hängt einerseits von objektbedingten Faktoren, wie z.B. Art und Anteilen von Beimischung anderer Baumarten, unterschiedlicher Bestandesdichte, schatt- und sonnseitigem Standort usw., und andererseits von der angewandten Analyse-Technik ab.

Offensichtlich ist auch, daß zu verschiedenen Jahreszeiten aufgenommene Landsat-Daten unterschiedlich gute Ergebnisse liefern. Unterschiede in der phänologischen Entwicklung der Wälder zu einem bestimmten Zeitpunkt - z.B. in Abhängigkeit von der Höhenlage des Standorts - führen unweigerlich zu Fehlklassifizierungen, wenn nicht durch interaktives Eingreifen der Interpreten eine sachgerechte Stratifizierung des Inventurraumes vorgegeben wird. Es hat sich andererseits gezeigt, daß eine gut ausgewählte multitemporale Auswertung von Landsat-Daten bei der Klassifizierung in Nadel- und Laubholzbeständen die Trefferquote um 2 - 5 Prozentpunkte erhöhen kann (z.B. Kalensky and Wightman 1976).

Neben der o.a. Grobklassifizierung der Waldflächen können ggf. bestimmte örtlich interessierende Waldtypen - wenn auch mit bereits deutlich eingeschränkter Zuverlässigkeit - computer-gestützt klassifiziert werden. Einige Beispiele: In Oberitalien gelang es, die dort wichtigen (wenigstens 4 Jahre alten) Pappelbestände mit einer 83 und 95 %igen Treffergenauigkeit zu inventarisieren (Lapietra u. Megier 1976). In nordamerikanischen Testgebieten erreicht Hoffer (1976) für Bestände verschiedener Baumarten Treffergenauigkeiten zwischen 60 und 80 % bzw. Inventurfehler zwischen 5 und 32 %. Auch bestimmte Waldformen der Tropen wie z.B. Mangrovenwälder, Aurakatienbestände (in Brasilien), Kiefern- oder Eukalyptusplantagen können klassifiziert und z.B. von artenreichen Regenwaldtypen separiert werden. Erste Ergebnisse in Südwestdeutschland deuten darauf hin, daß es möglich sein könnte, Fichten/Tannenbestände, Fichten-Buchen-Tannenwälder, reine Kiefernwälder, buchenreiche Laubmischwälder und Auewälder mit einer für Großrauminventuren noch ausreichenden Genauigkeit zu klassifizieren. Gleichwohl treten hier die gleichen Schwierigkeiten auf, die M. P. Meyer (1972) nach umfangreichen Versuchen in Minnesota beschreibt: "... aereas where the vegetation consists of complex mixes, frings, and transitions between types, its (=Landsat data) applicability is doubtful" und er fand: "The classification accuracy of forest land cover type was inadequate for extensive (or intensive) use by field level resource managers." Ein neuester Bericht von Ashley (1977) kommt für forstwirtschaftliche Inventurarbeiten in Maine zu einem ähnlichen Urteil.

Es besteht Übereinstimmung, daß Landsat 1 + 2 - Daten im wesentlichen für Erkundungsinventuren und nur unter besonderen Bestockungsverhältnissen für Preinvestmentinventuren - dann aber in Verbindung mit Luftbildern entsprechenden Maßstabs - nützlich sind. Von MSS-Aufzeichnungen in engeren Sensibilitätsbereichen, günstigerer Bandauswahl und höherer Grundauflösung - letzteres, um mehr Texturinformationen zugänglich zu machen - verspricht man sich weitergehende forstliche Klassifizierungsmöglichkeiten.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

- Flugzeug-MSS-Aufzeichnungen

Genauigkeitsanalysen zeigen auch hier die objektbedingten Störfaktoren und Interpretationsprobleme. Sie werden durch unterschiedliches Reflexionsverhalten auch gleicher Baumarten bzw. Vegetationstypen, durch verschiedenartige Schattenstrukturen in den Beständen u.a. verursacht. Die erheblich größere Grundauflösung führt gerade im Wald zu typischen "Texturen", die bei visueller Interpretation von MSS-Bildern sehr hilfreich sind, aber bei computer-gestützter Klassifizierung, sofern sich diese ausschließlich auf die spektrale Information der einzelnen Pixel stützt, zu beträchtlichen Fehlklassifizierungen führen. Erst die Einbeziehung interaktiver Auswerteschritte, wie sie z.B. Reichert (1977) im Ansatz vorstellte, oder die Entwicklung von Algorithmen zur Erkennung von charakteristischen Texturen und deren Einfügung in bestehende Programme, werden hier weiter führen.

Zu beachten ist ferner, daß - verursacht durch objektspezifische Richtungsabhängigkeit der Reflexion - ggf. Signaturvariationen des gleichen Objekts in Abhängigkeit von dessen Abbildungsort auf dem Scannerstreifen auftreten (vgl. Reichert 1976). Die Problematik wird an einer von LARS - Mitarbeitern (Coggeshall et al. 1974) vorgelegten Studie deutlich. Ausgewertet wurden MSS-Aufzeichnungen, die aus 6000 ft Flughöhe aufgenommen worden waren. Zwar wurden für die sechs ausgeschiedenen Klassen des Testgebietes recht gute "Trefferprozente"[1] (Tab. 1 Sp. 2) erzielt, die Analyse des "Inventurergebnisses", das sich aus den bei Coggeshall et al. mitgeteilten Zahlen errechnen läßt, zeigt jedoch, daß dieses im Ganzen als praktisch noch nicht brauchbar anzusehen ist (Tab. 1).

Tab. 1 (nach Werten von Coggeshall et al. 1974)

Klasse	Trefferprozent	Inventurergebnis in absoluten Werten		Inventurergebnis in Flächenprozenten	
		wahrer Wert	klass. Erg.	wahrer Wert	klass. Erg.
Laubwald	83,9	32252	27119	64,7	54,5
Nadelwald	89,8	88	3233	0,2	6,5
Wasserflächen	96,2	339	342	0,7	0,7
Grünfutterflächen	64,1	11760	8028	23,6	16,1
Maisfelder	97,5	2679	5295	5,4	10,6
Sojafelder	92,5	2676	5777	5,4	11,6
		49794	49794	100,0	100,0

"number of samples"
Auswertung von 3 Kanälen eines 12-Kanalscanners
(0,47 - 0,61 m, 0,59 - 0,71 m, 0,68 - 0,89 m)

Die bisher wohl günstigsten Ergebnisse einer detaillierten Waldklassifizierung nach Flugzeug-MSS-Aufzeichnungen hat m.W. Jaakkola (1976) vorgelegt. Es gelang ihm, sechs Klassen, nämlich "Kahlschlagflächen", "junge Kiefernbestände", "hiebsreife Kiefernbestände", "hiebsreife Fichtenbestände", "junge Birkenbestände", "hiebsreife Birkenbestände" mit gutem Erfolg zu klassifizieren.

---

1) Es ist irreführend, die Anzahl der der richtigen Klasse zugeordneten Pixel (=Trefferprozent) als Maß für die Güte des Klassifikationsergebnisses zu verwenden. Den Nutzer interessiert das "Inventurergebnis", das sich für die einzelnen Klassen aus den dort richtig und den falsch zugewiesenen Pixeln ergibt.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

- Flächenradar-Aufzeichnungen

In den vergangenen sieben Jahren - seit der Verfügbarkeit des SLAR für zivile Zwecke - wurden Millionen von Quadratkilometern Waldfläche in Zentral- und Südamerika, Asien und Westafrika für Erkundungsinventuren aufgenommen. Überall dort, wo in den feuchten Tropengebieten ständige oder fast ständige Wolkenbildung Luftbildaufnahmen oder MSS-Aufzeichnungen im sichtbaren Teil des Spektrums als Fernerkundungstechnik für Großraumerkundungen ausschließen, hat die Flächenradaraufzeichnung in kurzer Zeit Bedeutung erlangt. Am spektakulärsten und bekanntesten ist wohl das RADAM-Projekt, mit dem erstmals eine totale, wenn auch grobklassige Erkundung und Kartierung des Amazonasgebiets möglich wurde (Fagundes 1976 und Projektberichte, ferner Allen, 1975).

Die Interpretation der Aufzeichnungen erfolgt visuell, wie die klassische Luftbildinterpretation, und sie bedient sich auch der gleichen Interpretationstechniken. Identifizierbar sind gröbere Klassen, vor allem auf größeren, zusammenhängenden Flächen vorkommender Waldtypen. Unterschiede in Ton und Textur weisen auf unterschiedliche Vegetations- oder Waldformation hin. Der Interpret hat dabei aber die von Aufnahmesystemen her bedingten Abbildungsdifferenzen bei in und quer zur Flugrichtung gesehenen und nahe oder fern der Antenne liegenden Objekten zu berücksichtigen.

In Radaraufzeichnungen ist die Geomorphologie und das Gewässersystem des Inventurraumes gut erkennbar. Für den Interpretationserfolg sind daher die in weitgehend unberührten Naturräumen vorhandenen Möglichkeiten einer Zuordnung bestimmter Wald- oder Vegetationsformen zu bestimmten physiographischen Verhältnissen wichtig.

Schließlich kommt auch die Radarbildinterpretation nicht ohne entsprechende Geländearbeit zur Erarbeitung jeweils projektbezogener Interpretationsschlüssel aus. Auch die als Ergebnis des RADAM-Projektes entwickelten Wald- und Vegetationskarten des Amazonasgebietes sind das Ergebnis einer sinnvoll durchdachten Kombination von Radarbildinterpretation, vorangegangener und begleitender Geländeerkundung stellenweiser Luftbildauswertung und Folgerungen aus den Beziehungen zwischen physiographischen Verhältnissen und zu erwartender Vegetationsform.

Für den tropischen Regenwald Columbiens war es Sicc Smit möglich, in den Radarbildern mit der für Ersterkundungsinventuren erforderlichen Zuverlässigkeit abzugrenzen: Sümpfe, Grasland, Brandrodungsfeldbau, Mangrovenwälder, niedrige Sumpfwälder, Buschsavanne, Wälder feuchter Standorte der Flußebenen, Wälder auf trockenem Standort der Ebenen, der unteren und der höheren Lagen des Hügellandes sowie der Gebirgsregion.

David Francis, einer der erfahrensten Interpreten von Radarbildern kommt nach der Aufzählung einer ganzen Reihe von Interpretationsmöglichkeiten zu folgendem Urteil: This is not to say, that RADAR imagery should replace conventional aerial photography in all areas of tropical vegetation. If weather conditions and finances perr it, the author's preference would be for normal colour or false colour photography at a scale of, around 1 : 15 000." Francis fährt jedoch dann fort: "But over 20 years experience in the humid tropics has shown that this can rarely be achieved over commercially valuable forests in the humid tropics. Thus a method which allows useable imagery to be obtained irrespective of weather conditions (cloud or haze), and equally effectively by night or day, according to a precise timetable and at an exact cost (because survey aircraft are not standing by at a daily rate waiting for suitable weather) has a place in forest survey in the tropics. Even more so when large forest areas are being evaluated or changes in their boundaries are being monitored." (Francis 1976, S. 84).

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

- Infrarot-Farbluftbilder mit ultrakleinem Maßstab

Unbeschadet der noch nicht abgeschlossenen Entwicklung der MSS-, Radar- und der gerade beginnenden der CCD = Acquisitions- und Bildverarbeitungstechnologien sind Luftbildaufnahmen aus 12000 bis 20000 m Flughöhe mit hochauflösenden IRC-Filmen wieder stärker ins Gespräch gekommen.

Aldrich und Greentree (1971), Nielsen und Wightman (1971), Lauer und Benson (1973), Aldrich (1975) u.a. haben die Interpretationsmöglichkeit solcher Aufnahmen für Zwecke forstwirtschaftlicher Großrauminventuren untersucht. Als Teilsystem einer Mehrstufeninventur für künftige europäische Wald- (und Landnutzungs-) Inventuren waren 1973 bereits Aufnahmen dieser Art aus 10000 m Flughöhe empfohlen worden (Hildebrandt 1973), und auch Heller (1976 a/b) unterstrich jüngst die zunehmende Bedeutung ultrakleinmaßstäbiger IRC Luftbilder für großräumige Waldinventur- und Beobachtungsaufgaben.
CCD = Charge Coupled Devices

Der forstliche Informationsgehalt ist bezüglich Waldabgrenzungen und Unterscheidung zwischen Nadel- und Laubholz ähnlich dem von Satellitenaufzeichnungen, in Fällen von Übergangsformen besser als jener zu beurteilen. Höhere Grundauflösung der Luftbildaufnahme gestattet zudem eine weitergehende Interpretation des Waldzustandes (Dichte der Bestockung, großflächigere Vergesellschaftungsformen bei Laubholz-Nadelholz-Mischbeständen usw.). Weitergehende Baumartenerkennung als bei MSS- Aufzeichnungen ist nicht oder nur in Fällen spezieller phänologischer Differenzierung kleinflächig vorkommender Baumarten zu erwarten.

5. Fernerkundung für Waldschutzmaßnahmen

5.1. Entdeckung, Abgrenzung und Quantifizierung von Waldschäden

Sofern der Aufnahmemaßstab und die Grundauflösung der Aufnahme ausreichen, sind Vegetations- oder Bodenschäden, die als Flächenschäden auftreten und typische Bildgestalten (Form, Abgrenzung, Größe) ergeben, in Luftbildern jeder Art und in MSS-Aufzeichnungen zu erkennen und abzugrenzen. Schadflächen dieser gut erkennbaren Art können z.B. entstanden sein durch Sturmwurf in Wäldern, Hagelschlag in Getreidefeldern, Erosion an vegetationsfreien Flächen, Wald- oder Steppenbrand, Dürre, Überschwemmung usw.

Schäden in Waldbeständen, die Mortalität oder Kränkeln von Einzelpflanzen auslösen, ohne sofort Flächenveränderungen zu verursachen, jedoch die Reflexionseigenschaften der Assimilationsorgane betroffener Pflanzen und bei Bäumen auch das Aussehen der Krone verändern, können dagegen i.d.R. nur in Farbluftbildern und durch MSS-Aufzeichnungen entsprechenden Maßstabs erkannt werden. Die bisher besten praktischen Ergebnisse bei Schadinventuren oder einschlägigen Einzeluntersuchungen brachten stereoskopische Auswertungen von Infrarot-Farb-Luftbildern.

In der Mehrzahl der Fälle werden nur die geschädigten Bäume als solche gesehen. Erst durch das Hinzutreten weiterer Informationen oder durch über Sichtbares hinausgehende, sachverständige Folgerung (Interpretation!) gelingt es sehr oft, auch die Schadursache anzusprechen.

An dieser Stelle erscheint ein Wort zur Frage "previsueller" Erkennung von Pflanzenschäden notwendig. Zu entdecken und als Schäden ansprechbar sind zunächst vor allem solche, die schon in der Natur sichtbar in Erscheinung getreten sind. Dabei hat die Fernerkundung für die Überwachung von Waldbeständen den großen Vorteil, daß durch sie die vom Boden aus nicht oder nur unvollkommen einsehbaren Kronenoberflächen - an denen sich manche Schäden zuerst zeigen - erfaßt und dort eintretende Veränderungen

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

frühzeitig erkannt werden können. Dies ist jedoch noch nicht "previsuelle" Erkennung von Schäden. Eine solche ist - theoretisch - dann zu erwarten, wenn eine Krankheit oder eine Streßsituation morphologische Veränderungen der Zellstrukturen oder des Wassergehalts der Blätter hervorrufen; in beiden Fällen, ohne daß gleichzeitig Blätterverfärbungen, Blattabfall u.a. sichtbare Erscheinungen auftreten.

Im ersten Fall (Morphologie) müßte sich nach heutigem Wissen die spektrale Reflexion im Wellenlängenbereich um $\lambda = 0{,}7 - 1{,}3$ µm, im zweiten Fall (Wasser) um $\lambda = 1{,}3 - 2{,}5$ µm verändern. Einzelne Berichte in der Literatur scheinen dies zu bestätigen, doch sind hier noch zahlreiche Fragen offen.

Unbeschadet solcher speziellen, noch offenen Fragen wurden im letzten Jahrzehnt überall in der Welt regionale und örtliche Schadinventuren in Wäldern und landwirtschaftlichen Kulturen durchgeführt. Ganz überwiegend - so auch in vielfältiger Weise in Deutschland - bediente man sich dabei groß- und mittelmaßstäbiger Infrarot-Farbluftbilder und herkömmlicher stereoskopischer Interpretationsmethoden. Schadenserhebungen dieser Art waren im Bereich der Forstwirtschaft und des Gartenbaus gerichtet auf Baum- und Bestandesschäden

- durch Insekten (verschiedener Art)
- durch phytopathologische Ursachen
- durch Industrieemissionen (F, SO^2, usw.)
- durch Streusalzanreicherungen, Bleianreicherungen u.a. im Boden
- durch Dürre oder Grundwasserabsenkungen
- durch Überschwemmungen, Wasserstaus usw.
- durch Waldbrand-, Sturm-, Wind- u.a. Gewalteinflüsse

Die Interpretationserfolge sind insgesamt gut. Mortalität läßt sich in mittelmaßstäbigen Bildern baumweise, in klein- und kleinstmaßstäbigen Bildern bei gruppenweisem Auftreten fast vollständig erfassen. Lediglich unterständige Bäume entziehen sich der Erkennung. Verschiedene Grade der Vitalität bzw. des Schadens sind unter bestimmten Umständen zu erkennen (vgl. hierzu Kenneweg 1972, Murtha 1976 u.a.). Der richtigen Wahl von Aufnahmezeit und Maßstab kommt dabei in vielen Fällen große Bedeutung zu. Auf den Auswertezweck hin optimierte Bild- und Datenaufnahme ist für den Erfolg einer Schadinventur ausschlaggebend. Dies wird häufig noch unterschätzt, ebenso wie die Schwierigkeiten, die sich bei der Interpretation sowohl aus der Vielfalt der Erscheinungsformen der Schadbilder als auch aus der Subjektivität der Auswertung in Verbindung mit der begrenzten Fähigkeit des Menschen, zahlreiche feinste Farbwerte zu trennen und wiederzuerkennen, ergeben.

Es liegt nahe zu versuchen, die letztgenannten Schwierigkeiten durch objektive Farb- und Helligkeitsmessungen im Diapositiv oder digitale Auswertung von MSS-Aufzeichnungen zu überwinden. Drastische Abbildungsdifferenzen zwischen gesunden und kranken oder toten Bäumen - die man freilich auch visuell eindeutig interpretieren kann - lassen sich in der Tat digital klassifizieren. Bei feineren Symptomen findet die digitale Auswertung jedoch einmal ihre Grenze in der oben zuerst genannten Vielfalt der Schadbilder, stößt aber zum anderen auch auf systembedingte Probleme. Die Zuordnung von bestimmten Schadsymptomen oder Schadensgraden zu bestimmten Farben im Diapositiv oder spektralen Intensitätswerten einer MSS-Aufzeichnung läßt sich - leider - nicht absolut definieren. Bedingt durch die unterschiedliche Art der Beleuchtung der einzelnen Bäume im Bestand, die starke Richtungsabhängigkeit von deren spektralen Reflexionsverhalten und durch die bei der Aufnahme jeweils herrschenden atmosphärischen Bedingungen variieren die spektralen Informationen in einer Fernerkundungsaufzeichnung in Abhängigkeit von Aufnahmesituation und - bei gegebener Situation - vom Abbildungsort (im Photo wie auf dem Scan-Streifen).

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Diese Variation kann so sein, daß die gesuchten, z. B. krankheitsbedingten Abbildungsunterschiede durch die bei natürlichen Objekten, wie dem Wald, ohnehin vorkommenden Abbildungsdifferenzen überdeckt werden.

Solchen notwendigen Relativierungen steht die schon o. a. in Forschung und Praxis an verschiedenen Objekten gewonnene positive Erkenntnis gegenüber, daß es in der großen Mehrzahl der Fälle möglich ist, subjektive Auswertungen für das jeweils gegebene Aufnahmematerial mit der für eine praktische Anwendung notwendigen Zuverlässigkeit durchzuführen. Die Freiburger Arbeiten stehen in diesem Fall in Übereinstimmung mit amerikanischen und kanadischen (Heller, 1971, Murtha 1972/1976 u.v.a.).

5.2. Thermalaufzeichnungen zur Waldbrandüberwachung

Fernerkundung durch Thermalaufzeichnungen haben in der Forstwirtschaft praktische Bedeutung für die Waldbrandüberwachung, -bekämpfung und -nachkontrolle erhalten. Bei heute verfügbaren Scannern beträgt die Temperaturauflösung bei 20° C 0,05 - 0,1° C. Sie ist in den verschiedenen Temperaturbereichen unterschiedlich. Mit der Angabe der möglichen Temperaturauflösung ist jedoch noch nichts gesagt über die tatsächliche Möglichkeit, Waldbrände zu entdecken oder bereits bekannte Waldbrände zu beobachten. Die Entdeckung eines nur 0,46 qm großen, brennenden, nicht rauchenden Stammabschnitts durch eine Thermalaufnahme aus 7000 m Höhe ist verbürgt, zeigt die enorme Kapazität des Systems, kann aber als Möglichkeit nicht verallgemeinert werden. Die Aufzeichnung und Erkennung kleiner Brandstellen oder von schwelenden Bodenfeuern unter dem Schirm von geschlossenen Baumbeständen ist zwar sehr oft, jedoch nicht immer, möglich. Gründliche Untersuchungen (Wilson, Hirsch, Madden und Losensky 1971) brachten hierzu weitgehende prinzipielle Aufklärung.

1. Der Erkennungserfolg ist abhängig vom Waldtyp. Bestandesstruktur, Kronenform und spezifische Formen des Bestandesschlusses erklären diese Unterschiede. Die besten Erkennungserfolge werden in den vorwiegend aus Lichtholzarten bestehenden Waldtypen erzielt, während die Ergebnisse in Waldtypen mit schattenertragenden Baumarten schlechter ausfallen.

2. Eindeutig sind die Erkennungserfolge bei allen Waldtypen abhängig vom Aufnahmewinkel. Der Erkennungserfolg ist stets am größten, wenn der Brandherd direkt unter dem Flugzeug liegt, der Aufnahmewinkel = Nadirabweichung also 0° beträgt. Mit zunehmender Nadirabweichung nimmt der Erkennungserfolg ab. Die Abnahme erfolgt jedoch bei den verschiedenen Waldtypen in unterschiedlichem Maße.

3. Der Erkennungserfolg bei beginnenden Bränden ist abhängig von der Größe der Brandstellen. Sofern nicht ohnehin 100 % aller ausgelegten Brände erkannt wurden, war bei den o. a. amerikanischen Versuchen mit rel. kleinen Testfeuern der Erkennungserfolg stets bei Bränden, deren fünf Teilfeuer an der Peripherie eines größeren Kreises angeordnet waren, besser als bei jenen, die am Rande eines kleinen Kreises lagen.

4. Wie zu erwarten, zeigten die Untersuchungen von Wilson et al. auch, daß die durch den IR-Scanner empfangene Wärmestrahlung der Testfeuer bezüglich ihrer Stärke abhängig von der Dichte des Kronendachs und der Belaubung der einzelnen Kronen ist. Je dichter die Belaubung oder je länger bei größer werdenden Aufnahmewinkeln der Weg der Strahlen durch den Kronenraum wird, desto schwächer wurde das empfangene Signal, bis es schließlich nicht mehr als Feuer erkannt wurde. Für die Beurteilung der Erfolgschancen der Entdeckung kleiner, beginnender Waldbrände sind neben den genannten Bestockungsmerkmalen und Aufnahmebedingungen noch die vorliegende Geländeausformung und Hangneigung im Verhältnis zur Beobachtungsrichtung zu beachten.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Die IR-Strahlung kann zwar keine Regenwolken, wohl aber trockene Rauchschwaden durchdringen. Waldbrände, die bereits größere Flächen ergriffen oder sich gar schon als Kronen- und Stammfeuer entwickelt haben, können daher auch bei starker Rauchentwicklung beobachtet werden, wenn keine Regenwolken unter der Flughöhe liegen. Die Entwicklung und der Verlauf der Feuerfront, die Laufrichtung und -geschwindigkeit des sich ausbreitenden Feuers, das Entstehen neuer Brände durch Überspringen jenseits der Feuerfront ist gut und in Echtzeit möglich. Der U.S. Forest Service hat mehrere Flugzeuge, die mit einem speziell für Waldbrandbeobachtungen hergerichteten 2-Kanal-IR-Scanner (3 - 6 µm, 8 - 14 µm) ausgerüstet sind, im ständigen Einsatz. Für 1975 und 1976 weisen die Airborne Infrared Reports des U.S. Forest Service z. B. folgende Einsätze für Waldbrandüberwachung und -bekämpfung auf:

Flugzeug	1974			1975		
	Anzahl der Missionen	Anzahl der Waldbrände	Flugstunden	Anzahl der Missionen	Anzahl der Waldbrände	Flugstunden
Merlin III.....	26	13	105	53	15	117
King Air.....	133	30	428	80	25	238
Queen Air.....	51	16	227	13	7	83

Nach drei Jahren voll operationellen Einsatzes urteilt der National Fire Report:

"Although comparatively new, IR detection has proved its usefulness... Accurate and timely intelligence on location of the fire perimeter is a vital component to success in campaign fire management. During critical periods of a fire, perimeter and spot fire locations must not only be accurately known, but the means of obtaining this information must be rapid and timely. With this intelligence, the fire boss and his staff can plan their strategy with respect to tactical employment of fire resources and logistical support.

IR Scanning is not meant to solve all the fire boss's problems, but is intended to supplement the present method of ground and air reconnaissance. Fire intelligence requirements can be met with airborne infraredscanners that can rapidly and accurately map fires either day or night and through dense smoke. Fire perimeter and spot fire information resulting from IR Scanning should remove one of the fire boss's problems."

Für die Waldbrandnachkontrolle erscheint ein Echtzeit-Thermovisionssystem (z. B. der AGAOptronic THV 750 Superviewer) geeignet. Auf einem Kleinbildmonitor kann der beim Überfliegen anvisierte Geländeausschnitt in Echtzeit beobachtet werden. Ein aus dem sichtbaren Lichtbereich stammendes "normales" Bild und das IR-Thermalbild können dabei auf dem Monitor abwechselnd oder aber überlagert dargestellt werden. Die IR-Aufnahme kann auf den Empfang und die Abbildung in bestimmten Temperaturbereichen eingestellt werden. So ist es z. B. möglich, über das normale Bild nur jene Geländestellen aus der IR-Aufzeichnung einzublenden, deren Temperatur einen bestimmten Schwellenwert übersteigt.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Zur Beobachtung und Überwachung der nach dem Abklingen eines offenen Waldbrandes oft noch tagelang fortdauernden Schwelbrände, insbesondere der nicht mehr Rauch entwickelnden, unterirdisch noch glosenden Bodenfeuer, kann ein solches System sehr nützlich sein.

Zitierte Literatur

Aldrich, R.C., Norick, N.X., Greentree, W.J.: In: Evaluation of ERTS 1 Data for Forest and Rangeland Surveys. USDA Forest Serv. Res. Paper PSW-112, 67 p.

Allen, P.T.E.: The Use of Side Looking Airborne RADAR Imagery for Tropical Forest Surveys. FAO Paper. Fo:MISC. 75/10., 1975.

Ashley, M.D., Morin, L.: Spray Block Mapping Control for Spruce Budworm Using Landsat and High Altide Remote Sensing. Symposium Image Proceeding, Graz 1977.

Coggeshall, M.E., Hoffer R.M., Berkebile, J.S.: A Comparison between Digitized Color Infrared Photography and Multispectral Scanner Data Using ADP Techniques. LARS Inform. Note 033174 Purdue Univ., West Lafayette 1974.

Dexheimer, W.: Erfahrungen bei der Einführung forstlicher Orthophotokarten in Rheinhessen-Pfalz. Allg. Forstzeitschrift 1975, S. 14 - 18.

Dörfel, H.J.: Phänologie als Einflußgröße für die Fernerkundung verschiedener Vegetationsformen. Symposium Flugzeugmeßprogramm,Hannover 1977.

Fagundes, P.M., Pinto, M.N.: Natural Resources Inventory ISP Comm. VII WG 4 Final Report. XIII Congress ISP, Helsinki 1976, 44 p.

Francis, D.A.: Possibilities and Problems of RADAR-Image Interpretation, Vegetation and Forest Types with Particular Reference to the Humid Tropic. In Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj. Group 6.05, Oslo 1976, S. 79 - 86.

Hansen, M.H., Hurwitz, W.N., Madow, W.G.: Sample Survey Methods and Theory. New York 1963/64.

Heller, R.C.: Color and False Color Photography: its Growing Use in Forestry. In Application of Remote Sensors in Forestry, Freiburg 1971, S. 37 - 56.

Heller, R.C.: Remote Sensors for Airborne and Spaceborne Imagery, In Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj.Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 37 - 52.

Heller, R.C.: Natural Resources Surveys; Proc. XIII Congress ISP, Helsinki 1976.

Hildebrandt, G.: Forsteinrichtungsarbeiten mit Hilfe von Luftbildern. Forst und Jagd 1957, S. 58 - 64.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Hildebrandt, G.: Zur Frage des Bildmaßstabs und der Filmwahl bei Luftbildaufnahmen für forstliche Zwecke. Arch. f. Forstwesen 1957, S. 285 - 306.

Hildebrandt, G.: Zum Einsatz von Erderkundungssatelliten für supranationale Inventur der Wälder und landwirtschaftlicher Nutzflächen. Raumfahrtforschung 1973, S. 164 - 168.

Hoffer, R.M.: Techniques and Application for Computer-aided Analysis of Multispectral Scanner Data. In Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj. Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 103 - 114.

Jaakkola, S.: An Automated Approach to Remote Sensing Oriented Forest Resources Surveys. In: Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj. Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 147 - 156.

Kalensky, Z. and Wightman: Automatic Forest Mapping Using Remotely Sensed Data. In: Remote Sensing in Forestry, Proc. Symposium IUFRO Subj. Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 115 - 136.

Kalensky, Z.: Automation of Thematic Mapping based on Remote Sensing and Computerized Image Processing. In: Remote Sensing. Int. Train. Sem. Lenggries 1976.

Kenneweg, H.: 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. Freiburg 1972, 253 p.

Kölbl, O.: Digital Stand Mapping. In: Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj. Gr. 6.05 Oslo 1976, S. 447 - 459.

Langley, P.G., Aldrich, R.C., Heller, R.C.: Multistage Sampling of Forest Resources by using space photography. Vol. 2 Agr. Forest, and Sensor Studies. Proc. 2 nd Ann. Earth Resources Aircraft, Program Review NASA MSC, Houston, Texas 1969, 19-1 to 19-21.

Langley, P.G.: Multistage Variable Probability Sampling: Theory and Use in Estimating Timber Resources from Space and Aerial Photography. Ph. D. Diss. 1972, Ann Arbor Michigan, 101 p.

Langley, P.G.: Sampling Methods Useful to Forest Inventory, when Using Data from Remote Sensing. In: Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj. Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 313 - 322.

Lapietra, G., Mêgier, J.: Acreage Estimation of Poplar Planted Areas from Landsat Satellite Data in Northern Italy. In: Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj. Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 157 - 170.

Lauer, D.T., Benson, A.D.: Classification of Forest Lands with Ultrahigh Altitude, Small Scale, False Color Infrared Photographs. Proc. Symp. IUFRO Subj. Gr. 6.05, Freiburg 1973.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Masumy, S.A., Hildebrandt, G.: Analyse der Textur als Erkennungsparameter zur Identifizierung von Waldtypen. Symposium Flugzeugmeßprogramm, Hannover 1977.

Meyer, M.P., Mead, R.: Landsat Digital Data Application to Forest Vegetation and Land-Use Classification in Minnesota, IAFHE RSL Research Report 77-6, 1977, Remote Sensing Laboratory, College of Forestry, University of Minnesota, Final Report.

Murtha, P.A.: A guide to Airphoto Interpretation of Forest Damage in Canada. Can. For. Serv. Ottawa, Publication No. 1292, 63 p.

Murtha, P.A.: Inventory and Monitoring of Forest Diseases and Damages by Remote Sensing - Considerations about Promising Ways to do it. In: Remote Sensing in Forestry, Proc. IUFRO Subj. Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 385 - 396.

Nielsen, U., Wightman, J.M.: A New Approach to the Description of the Forest Regions of Canada Using 1:160 000 Color Infrared Aerial Photography. Can. For. Serv. FMR-X-35, 25 p.

Peerenboom, H.G.: Erfahrungen bei der Einführung forstlicher Orthophotokarten aus der Sicht der FD Koblenz. Allg. Forstzeitschrift 1975, S. 14 - 18.

Reichert, P.: Vegetationskundliche Auswertung multispektraler Scanneraufzeichnungen. In: Remote Sensing in Forestry, Proc. Symp. IUFRO Subj. Gr. 6.05, Oslo 1976, S. 191 - 202.

Reichert, P.: Auswertung multispektraler Scanneraufzeichnungen für land- und forstwirtschaftliche Inventuren. Symposium Flugzeugmeßprogramm, Hannover 1977,

Sicco Smit.: Experiences with the use of SLAR in forest and land-use classification in the tropics. In: Remote Sensing, Int. Train. Sem., Lenggries 1976

Stellingwerf, D.A.: Aspects of the Use of Aerial Remote Sensors in Tropical Forestry. In: Application of Remote Sensors in Forestry. Freiburg 1971, S. 89 - 98.

Talts, J.: Persönliche Mitteilung Sommer 1976

USDA Forest Service: Airborne Thermal Infrared Report. 1974 and 1975 Fire Season.

Voß, F.: Zur Herstellung von Forstbetriebskarten mit Hilfe maßstäbiger Luftbildkarten und automatischer Rechen- und Kartieranlagen... Allg. Forst- und Jagdzeitung, 1970, S. 153-1960.

Wilson, R.A., Hirsch, S.N., Madden, F.H., Lasensky, J.: Airborne Infrared Forest Fire Detection System. Final Report. USDA For. Serv. Res. Paper Int. - 93, 1971.

Zieger, E.: Ermittlung von Bestandesmassen aus Flugbildern mit Hilfe des Hugershoff-Heyde'schen Autokarthographen. Mitt. Sächs. Forstl. Versuchsanst. Tharandt 1928, S. 97-1927

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Zusammenfassung

Die nachhaltige und ökonomische Bewirtschaftung der Wälder erfordert periodisch wiederkehrende langfristige Planungen auf großen Flächen. Die detaillierte Kartierung aller Waldflächen, eine sinnvolle Waldeinteilung und Erschließung, die periodische Erfassung und Beschreibung des Waldzustands und dessen laufender Veränderungen durch anthropogene, biotische und abiotische Einflüsse, die Ermittlung der Holzvorräte und -zuwüchse und der Zugänglichkeit nutzbarer Vorräte sind Voraussetzungen für solche Planung und die nachhaltige Bewirtschaftung. Luftbilder sind für die genannten Inventur- und Beobachtungsaufgaben in allen Teilen der Welt seit langem bewährte Informationsträger und Arbeitsmittel. Ein Überblick über die wichtigsten Methoden der Luftbildauswertung für diese forstwirtschaftlichen Zwecke und über die Summe der vorliegenden Erfahrungen wird gegeben. Danach wird die Frage aufgeworfen, welche zusätzlichen und weitergehenden Möglichkeiten sich durch Auswertung von multispektralen Scanneraufzeichnungen, Thermalbildern und Aufzeichnungen durch Mikrowellensensoren z. Zt. abzeichnen. Einige Beispiele für forstwissenschaftliche Anwendungen photogrammetrischer Methoden und der Interpretation fernerkundeter Daten vervollständigen die Übersicht, aus der die Bedeutung der Fernerkundung für Forstwirtschaft und Forstwissenschaften erkennbar wird.

Abstract

The sustained and economical management of forests requires periodic, long-term planning for extensive areas. The detailed mapping of all forest areas, an intelligent division and exploitation of forests, periodic inventories and descriptions of forest status and continual changes due to anthropogonous, biotic and abiotic effects, determination of timber volume and growth as well as of the accessibility of timber volumes are the basis for this type of planning and sustained management. Everywhere in the world, aerial photography has long been an extremely popular technique for forest inventories and observation. The paper reviews the most important techniques of air photo interpretation for forest management and summarizes the experience gained. This is followed by a study of the potential of multispectral scanner records, thermograms and microwave sensor records. A few examples of forestry applications of photogrammetric techniques and interpretation of remote sensing data complete the review and underline the importance of remote sensing for the science of forestry and forest management.

Résumé

L'exploitation rationnelle et économique des forêts implique des planifications périodiques à long terme sur de grandes surfaces. De telles planifications se basent sur les abondantes données fondamentales qui sont fournies par le levé cartographique à petite échelle de toutes les aires boisées, l'inspection régulière des forêts et la description de leur état, la connaissance exacte des changements apportés aux forêts par les facteurs de nature anthropogène, biotique et abiotique, l'inventaire des réserves de bois et des accroissements, ainsi que l'examen des possibilités d'accès aux réserves utiles.

Photogrammetrische Woche 1977
Institut für Photogrammetrie
Schriftenreihe, Heft 4, 1977

Dans tous les pays du monde, les photographies aériennes servent de supports d'informations pour l'inventaire et l'observation des massifs forestiers. L'exposé décrit les méthodes adoptées le plus fréquemment pour la restitution des photographies aériennes exécutées aux fins de l'exploitation forestière, puis les expériences acquises dans cet ordre d'idée. Il analyse en outre les possibilités offertes actuellement par l'interprétation des enregistrements effectués avec les scanners multispectraux, des images prises dans l'infrarouge thermique et des données recueillies au moyen de capteurs centimétriques. Quelques exemples d'application des méthodes choisies pour la restitution photogrammétrique et l'interprétation des données de télédétection montrent l'importance de cette discipline pour la sylviculture.

Resumen

La explotación sostenida y económica de los bosques requiere el planeamiento cíclico a largo plazo para grandes superficies. Las condiciones para dicho planeamiento, así como para una explotación sostenida, son el levantamiento detallado de todas las superficies de bosques, una división y aprovechamiento adecuados de los bosques, un inventario y descripción periódicos del estado forestal, así como de sus cambios continuos por influencias antropógenas, bióticas y abióticas, la determinación de las cantidades y aumentos de maderas y de la accesibilidad de las cantidades aprovechables. Desde hace mucho tiempo se está empleando en todas las partes del mundo como portadores acreditados de información y medios de trabajo la fotografía aérea para dichas tareas de inventario y de observación. La conferencia da una vista de conjunto sobre los métodos más importantes de la restitución fotogramétrica para estos fines forestales y sobre la suma de las experiencias obtenidas. Después de plantea la pregunta sobre cuáles son las posibilidades adicionales que se presentan actualmente mediante el empleo de registros de exploradores multiespectrales, termografías y registros por sensores de microondas. Algunos ejemplos de aplicaciones científicoforestales de los métodos fotogramétricos y de la interpretación de datos de exploración remota completan el informe, poniendo de manifiesto la importancia de la exploración remota para la silvicultura y la ciencia forestal.

Prof. Dr. G. Hildebrandt
Institut für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft
der Albert-Ludwigs-Universität
7800 Freiburg, Erbprinzenstrasse 17a