

# TOY or TOOL – Fernerkundung aus dem Weltraum: Spiel- oder Werkzeug für die Forstwirtschaft?

Von G. HILDEBRANDT

## Einleitung

Toy or Tool? Spiel- oder Werkzeug? Diese Frage war Gegenstand einer Diskussion, die kurz nach dem 2. Weltkrieg einmal in kleinem Expertenkreis im Hinblick auf die Verwendung von Luftbildern – damals Schwarzweißluftbilder – für forstliche Zwecke geführt wurde. Die gleiche Frage wird hier – 35 Jahre später – in bezug auf die Fernerkundung aus dem Weltraum und ihre Anwendung zur Lösung forstwirtschaftlicher Aufgaben gestellt. Der Titel wurde mit Bedacht gewählt, denn es gibt, bezogen auf den jeweiligen Gegenstand der Frage, zwischen damals und heute Parallelen.

Damals, vor 35 Jahren, zweifelten jene, die sich intensiv und sachkundig schon seit längerem mit Luftbildauswertungen beschäftigten, nicht daran, daß das Informations- und Arbeitsmittel „Luftbild“ für Forstvermessung, Forstkartierung, Forsteinrichtung und großräumige Waldinventuren nützliche Dienste leisten kann. Photogrammetrisch hatte man brauchbare Verfahren und Instrumente zur Verfügung – sie waren aber nur wenigen Forstleuten bekannt, von noch wenigeren wurden sie beherrscht. Man kannte im Kreis engagierter Kollegen auch den vielfältigen Informationsgehalt der verfügbaren Schwarzweißbilder in bezug auf Landschaften, Wälder und Waldbestände. Man war in diesem Kreis auch von weiteren Entwicklungsmöglichkeiten überzeugt.

Die Mehrzahl der Fachkollegen aber, die nie mit Luftbildern in Berührung gekommen waren, zeigten sich überwiegend noch uninteressiert, andere mißtrauten den Bildinformationen, manche mögen das neuartige Informations- und Arbeitsmittel auch eher für ein Spielzeug gehalten haben.

Die weitere Entwicklung ist bekannt: In der Bundesrepublik Deutschland z. B. stehen heute für die Forsteinrichtung in mehr als 80 % der einzurichtenden Betriebe Luftbilder zur Verfügung (vgl. SCHWILL 1979). Ab Mitte der 60er Jahre konnten Orthophotokarten als forstliche Betriebskarten entwickelt werden, der Infrarot-Farbfilm erschloß neue forstliche Anwendungsgebiete, insbesondere wurden Waldschadenserhebungen in Beständen, Forstbetrieben und ganzen Bundesländern möglich. International wurde der Einsatz von Luftbildern bei Großrauminventuren zur Routine.

Ähnlich wie vor 35 Jahren bezüglich der Einschätzung der forstlichen Luftbildauswertung steht es gegenwärtig im Hinblick auf die Beurteilung der Fernerkundung aus dem Weltraum und ihren Nutzen für forstwirtschaftliche Zwecke.

Nur ein kleiner Kreis von Forstleuten ist über die verfügbaren, aus dem Weltraum aufgenommenen Bilder und Daten, ihre Eigenschaften, ihren Informationsgehalt und mögliche Auswertungsmethoden informiert. Noch kleiner ist der Kreis jener, die über eigene Erfahrungen mit der Auswertung solcher Daten oder Bilder verfügen, die heutige und künftige Möglichkeiten abzuschätzen in der Lage sind.

Es soll versucht werden, vor diesem Hintergrund die mit dem Titel des Vortrags gestellte Frage zu beantworten: Weltraumfernerkundung für forstliche Zwecke Spiel- oder Werkzeug?

## Was steht an Fernerkundungsaufzeichnungen aus dem Weltraum zur Verfügung?

An flächenabbildenden Aufnahmesystemen – und nur von diesen soll im folgenden gesprochen werden – stehen für die Fernerkundung aus dem Weltraum gegenwärtig die in der ersten Zeile der Tabelle 1 genannten und in der Tabelle kurz charakterisierten zur Verfügung.

Sieht man von den ersten, von amerikanischen und russischen Astronauten mit Hand gehalter 70 mm Kamera aus Raumkapseln heraus aufgenommenen Fotos ab, so beginnt die zivile **Fernerkundung der Erdoberfläche aus dem Weltraum am 30. Juli 1972 mit dem Start des NASA-Erderkundungssatelliten LANDSAT 1** (beim Start zunächst ERTS 1 geannt). LANDSAT 1 flog in 917 km Höhe (Nominalhöhe am Äquator) auf einer nahezu polaren Umlaufbahn in jeweils 103 Minuten um die Erde und deckte potentiell mit 252 Umläufen in 17 Tagen mit Ausnahme der Polkappen die Erdoberfläche ab. Jeden 18. Tag passierte er zur gleichen Tageszeit das gleiche Aufnahmegebiet, wobei eine Aufnahme ein 185 km × 185 km großes Stück der Erdoberfläche abbildete. Als Aufnahmegerät war ein 4-Kanal-Multispektral-Scanner (MSS) und eine 3-Kanal-Return-Beam-Vidikon-Kamera (RBV) an Bord. Die Grundauflösung der Aufnahmen betrug im Nadir 79 m.

Seitdem sind mehrere zivile Erderkundungssatelliten mit zunehmend verbessertem Aufnahmegerät in Erdumlaufbahnen gebracht worden und amerikanische sowie russische zivile Fernerkundungsmissionen aus bemannten Weltraumflugkörpern erfolgt. Verschiedenartige, flächenabbildende Aufnahmesysteme wurden dabei erprobt und in vielfältiger Weise inzwischen auch für forstliche Inventur- und Beobachtungsausgaben sowie geowissenschaftliche Untersuchungen eingesetzt. In den Spektralbereichen des sichtbaren Lichts, des Infrarot bis 2,5 µm Wellenlänge und der Mikrowellen werden dabei heute Grundauflösungen in der Größenordnung zwischen 10 und 30 m erreicht.

Für die wichtigsten z. Z. im Weltraum befindlichen zivilen Fernerkundungssatelliten sind in Tabelle 2 die für die Aufnahmen interessanten Leistungsdaten aufgeführt. Tabelle 3 zeigt die entsprechenden Leistungsdaten der bei bemannten Weltraumflügen eingesetzten photographischen Kameras und Tabelle 4 jene von flächenabbildenden Radarsystemen, die aus Welt Raum-Flugkörpern eingesetzt wurden bzw. werden.

**Für praktische Arbeiten von Bedeutung sind gegenwärtig vor allem, die durch die unbemannten Satelliten LANDSAT 5 und SPOT 1** (s. Tab. 2) aufgenommenen Bilddaten. Daten des am 19. 2. 1987 gestarteten MOS 1 werden in Kürze zur Verfügung stehen. Alle drei Satelliten haben eine mehrjährige Einsatzzeit und decken – potentiell – in 16 bzw. 26 und 17 Tagen nahezu die gesamte Erde ab. Für Verfahrensentwicklungen, insbesondere für großräumige permanente Waldinventurprojekte wichtig zu wissen ist auch, daß dem ersten SPOT und MOS weitere Satelliten dieser Serien folgen werden und daß es auch nach Mitte der 90er Jahre zivile Erderkundungssatelliten mit gleichen bzw. verbesserten Kapazitäten geben wird. Es ist vorgesehen, zivile Erderkundungssatelliten der nächsten Generation kombiniert mit optischen *und* allwetterfähigen Radar-Systemen (SAR) auszurüsten. Bei der europäischen Weltraumbehörde ESA nehmen in Abstimmung mit der NASA/NOAA entsprechende Pläne für die Zeit nach der Mitte der 90er Jahre gegenwärtig Gestalt an (ESA 1986 a/b).

Demgegenüber kann in den nächsten 10 Jahren „im Westen“ nicht mit regelmäßigen Luftbildaufnahmen für zivile Zwecke aus dem Weltraum gerechnet werden. Sie sind an bemannte Weltraummissionen gebunden. Die Einsätze der ZEISS-RMK 30/23 und der ITEK LFC (vgl. Tab. 3) waren sehr erfolgreich. Mit Routineeinsätzen und regelmäßigen Aufnahmeprogrammen kann aber mit hoher Wahrscheinlichkeit erst nach dem Aufbau einer permanenten Weltraumstation (Columbus Projekt) frühestens ab Mitte der 90er Jahre gerechnet werden. Erst zu diesem Zeitpunkt wird es daher auch diskutabel, den Einsatz von Weltraumluftbildern für forstliche Daueraufgaben, z. B. für Großrauminventuren oder großräumige Waldkartierungen zu erwägen.

Man kann im übrigen angesichts der Planungen der Weltraumbehörden in aller Welt davon

*Tabelle 1*  
**Flächenabbildende Aufnahmesysteme für die Erderkundung aus dem Weltraum**  
**Imaging Systems for remote sensing from space**

	Photographische Systeme	Opto-mechanische Systeme	Opto-elektronische Systeme	Flächenabbildende Radarsysteme
Aufnahmegerät	Photographische Kamera	Scanner – Zeilenabtaster	Fernseh-/Vidicon-Kamera	Sender und Antenne
Wellenbereiche	Sichtbares Licht Nahes Infrarot	Sichtbares Licht Nahes u.- mittleres Infrarot	Sichtbares Licht Nahes Infrarot	Mikrowellenversch. Bandbereiche $\lambda \rightarrow 1-30 \text{ cm}$
Wellenlänge $\lambda$	$\lambda = 0,3-1,0 \mu\text{m}$	$\lambda = 0,3-2,5 \mu\text{m}$	$\lambda = 3-5, 8-14 \mu\text{m}$	$\lambda = 0,3-1,0 \mu\text{m}$ $\lambda = 0,3-2,5 \mu\text{m}$
Informationsquelle ist von den Objekten	Reflektiertes Sonnen- und Himmelslicht	Emittierte Wärmestrahlung	Reflektiertes Sonnen- und Himmelslicht	Reflektierte, zuvor von dem Sender abgestrahlte Energie
Einsatzmöglichkeiten bei:	Tagslicht und Wolkenfreiheit	Tag und Nacht Wolkenfreiheit	Tagslicht und Wolkenfreiheit	Tag und Nacht auch bei Bewölkung
Aufnahmeplattformen 250–400 km	–	Bemannte Weltraumflugkörper: Orbitstationen, Shuttlesysteme, bspw. von dort auf Zeit ausgesetzte Paletten	Unbemannte Satelliten (vorwiegend auf polaren Umlaufbahnen)	
700–1000 km	–	–	–	–
Geometrische Auflösung aus 250–400 km	10–25 m	20–30 m	–	10–20 m 20–40 m
aus 700–1000 km	–	30 m	100–120 m	30–40 m 10–25 m 20–40 m
Multispektrale Aufnahmekapazität	ja	ja	ja	ja (ja) <sup>1</sup>
Stereo-Aufnahmekapazität	ja	–	–	ja –
Primäres Aufnahme-Produkt	Luftbild (Photographie)	Digitale Bilddaten auf Magnetband	Schirmbild/dig. Daten auf Magnetband	Digitale Bilddaten auf Magnetband Radarbild
Wandlungsmöglichkeiten	In Digitaldaten	In Bilder	In Bilder	In Bilder In Digitaldaten

<sup>1</sup> Klammerausdruck: ist prinzipiell möglich, aber noch nicht aus dem Weltraum eingesetzt.

Tabelle 2

**Leistungsdaten nichtphotographischer, zeilenabtastender Aufnahmesysteme in zivilen Erderkundungssatelliten, die sich z. Z. in Erdumlaufbahnen befinden und arbeiten**

**Performance data of non-photographic scanning sensor systems in civilian earth resources' satellites presently in orbit**

Land Satellit Aufnahmegerät	Flughöhe Aufnahmestreifen Repetitionsrate	Grundauflösung im Nadir in m  Thermische Auflösung in °C	Verteilung der Aufnahmekanäle				Stereoaufnahme möglich?
			VIS	NIR	SWIR	THIR <sup>1</sup>	
USA Landsat 5	705 km 185 km 16 Tage	60 m 30 m 120 m, 0,5 °C	2	2	-	-	nein
			2	2	2	-	nein
						1	
Frankreich Spot	830 km 60 km 26 Tage	10 m 20 m	1	-	-	-	ja
			2	1	-	-	ja
Japan MOS 1 <sup>2</sup>	909 km 185 km (MESSR) 1500 km (VTIR) 17 Tage	50 m 900 m 2700 m, 0,5 °C	2	2	-	-	nein
			1	-	-	-	nein
			1	-	-	2	nein

<sup>1</sup> Spektralbereiche: VIS – Sichtbares Licht, NIR – Nahes Infrarot, SWIR – Shortwave infrared,  
THIR – Thermales Infrarot.

<sup>2</sup> Neben zwei Multispectral Electronic Selfscanning Radiometers (MESSR) und dem Visible and Thermal Infrared Radiometer (VTIR) ist noch ein passive Microwave Scanning Radiometer eingesetzt.

ausgehen, daß sich bis in die Mitte der 90er Jahre im sichtbaren und infraroten Spektralbereich die Aufnahmeleistungen der für zivile Fernerkundung aus dem Weltraum eingesetzten Systeme nicht wesentlich über die in Tabellen 2–4 angegebenen Kapazitäten hinaus verbessern. Voraussichtlich erst danach wird man mit multispektralen Datensätzen einer Grundauflösung um 10 m oder mit radiometrisch hochauflösenden, aber dafür weniger gut räumlich auflösenden Daten (vgl. Abb. 1) und verbesserten Möglichkeiten der Stereoaufnahme rechnen können. Letzteres z. B. durch den dann sicher einsatzbereiten „STEREO-MOMS“ (MBB).

Abschließend hierzu noch ein Wort über die Entwicklung der Radarsysteme. Hierfür werden gegenwärtig und in den kommenden Jahren für Weiterentwicklung und Erprobung erhebliche Mittel und Energie verbraucht. Die Allwetterkapazität dieser Systeme macht diese auch für großräumige Waldinventuren in oft bewölkten Gebieten zumindest als Ergänzung zu optischen Aufnahmesystemen interessant, gleichwohl der Informationsgehalt der Radarbilder für forstwirtschaftliche Aufgabenstellungen nach gegenwärtigem Erfahrungs- und Kenntnisstand begrenzt ist (ALLAN 1975; HORNE et al. 1984; KESSLER 1986). Sowohl die Europäer (ESA: ERS 1 1989, Deutschland/Italien SIR C 1989/90) als auch die Amerikaner (USA: SIR C, Kanada RADAR-SAT 1992) und die Japaner (JERS 1 1992) geben den flächenabbildenden Radarsystemen für künftige zivile Erdbeobachtungssatelliten besonderes Gewicht.

Tabelle 3

**Leistungsdaten photographischer Kameras, die bei zivilen Fernerkundungsmissionen aus bemannten Weltraumflugkörpern heraus eingesetzt wurden**

Performance data of photographic cameras used in manned civilian remote-sensing space missions

Jahr, Land, Flugkörper Bezeichnung der Kamera Kamerahersteller	Bildformat Objektivbrennweite in mm	Flughöhe Aufnahmefläche in km	Aufnahmemaaßstab Grundauflösung	Anzahl Simultanaufn. Beweg. Kompensation Stereoaufnahme möglich
1976, 1979 UdSSR SALUT-Orbitalstation MFK 6 JENOPTIK, Jena	56 x 80 f = 125	250 112 x 160	1 : 2 000 000 10 - 20 m <sup>1</sup>	6 ja ja
1983 USA/BRD SPACE-SHUTTLE RMK A 30/23 ZEISS, Oberkochen	230 x 230 f = 305	250 190 x 190	1 : 830 000 25 - 30 m <sup>1</sup>	1 nein <sup>2</sup> ja
1984 USA SPACE-SHUTTLE LFC ITEK	230 x 460 f = 305	250 190 x 380	1 : 830 000 14 - 25 m <sup>1</sup>	1 ja ja

<sup>1</sup> In Abhängigkeit von verwendetem Film und von verwendeten Objektkontrasten.

<sup>2</sup> Weiterentwicklung für 2. Flug mit Bildbewegungs-Kompensation fertiggestellt und einsatzbereit; dann auch mit MFK-6 und LFC vergleichbare Grundauflösung.

Tabelle 4

**Leistungsdaten flächenabbildender Radarsysteme, die bei zivilen Fernerkundungsmissionen aus dem Weltraum eingesetzt wurden bzw. werden. Zum technologischen Grundverständnis siehe zur Einführung KESSLER 1986 und zum vertieften Studium ULABY et al. 1981**

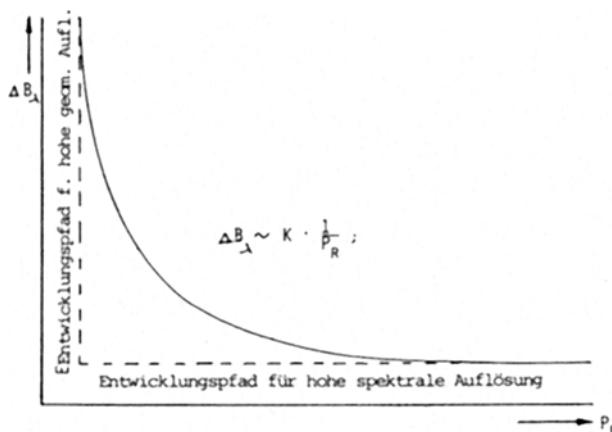
Performance data of imaging radar systems which already have been used or will be used for civilian remote-sensing space missions

Jahr, Land Flugkörper Aufnahmegerät	Breite des Aufnahmestreifens in km Aufnahmewinkel (near/far range)	Grundauflösung	Bandbereich (Wellenlänge)	Polarisation
1978 USA Seasat (Satellit) SAR <sup>2</sup>	100 km 17°/23°	25 m	L (23,5 cm)	HH
1981/1984 USA Spaceshuttle SIR <sup>3</sup> A/B (SAR)	50 km 37°/43°	40 m	L (23,5 cm)	HH
1989 EUROPA ERS 1 (Satellit) SAR <sup>2</sup>	75 km 35°/	30 m	C (5,7 cm)	HH

<sup>1</sup> Die Aufnahmen erfolgen seitlich zur Flugachse zwischen dem, gegenüber der Nadirrichtung gemessenen, nahen und fernen Aufnahmewinkel.

<sup>2</sup> SAR = Synthetic Aperture Radar.

<sup>3</sup> SIR = Shuttle Imaging Radar.



*Abb. 1. Abhängigkeit von räumlicher Auflösung (– Bodengröße des Bildelements  $P_R$ ) und radiometrischer Auflösung (– spektrale Bandbreite  $B_\lambda$ ) bei CCD-Sensoren (aus MBB 1986)*

*Fig. 1. Relation between the spatial resolution (– actual surface size of picture element  $P_R$ ) and radiometric resolution (spectral band width  $B_\lambda$ ) of CCD-sensors*

Angesichts der beschriebenen gegenwärtigen Lage wird im folgenden vor allem der Auswertung und dem Nutzen im sichtbaren und infraroten Spektralbereich multispektraler, nicht-photographischer Aufzeichnungen aus dem Weltraum, also von LANDSAT 5 TM- und SPOT HRV-Daten nachgegangen.

#### Informationsgehalt von LANDSAT TM- und SPOT HRV-Bilddaten

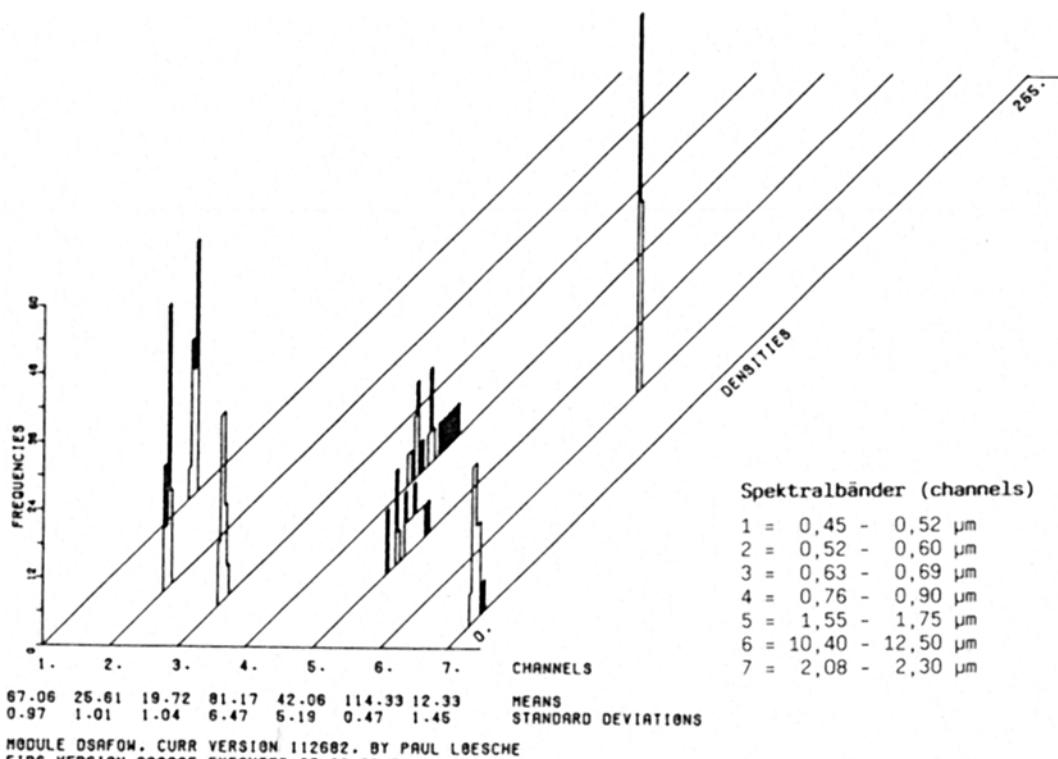
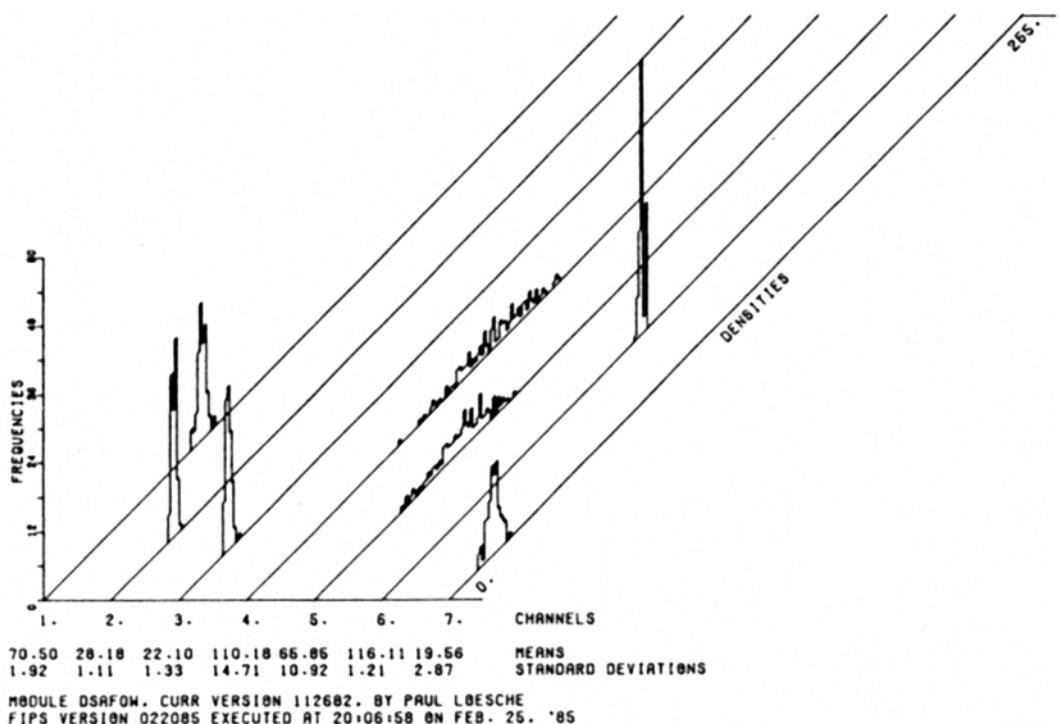
Der Informationsgehalt der aufgenommenen Daten und der daraus generierten Bilder oder thematischen Computerkarten, z. B. für eine Landnutzungs- oder eine Waldinventur lässt sich aus den Leistungsdaten der Tabelle 2 allein noch nicht ablesen. Die *Erkennbarkeit* von Objekten, z. B. eines bestimmten Waldbestandes oder einer Straße hängt bei gegebener Grundauflösung von den Reflektionseigenschaften des Objektes und seiner Umgebung in jenen Spektralbereichen ab, in denen die Sensoren des Aufnahmegeräts empfindlich sind. Nur Objekte, die in diesen Spektralbereichen gegenüber ihrer Umgebung unterschiedlich reflektieren, können erkannt werden.

Die *Identifizierung* eines Objektes oder eines Objektzustandes ist darüber hinaus dann möglich, wenn seine spektrale Signatur objekt- bzw. zustandsspezifisch ist und sich signifikant von den Signaturen anderer Objekte im Untersuchungsraum unterscheidet oder wenn seine erkennbare Flächenform unverwechselbar ist.

Es ist dabei immer zu bedenken, daß das einzelne *Bildelement* Träger der Information ist. Die Bildelemente des SPOT HRV repräsentieren, wie Tabelle 2 zeigt 100 qm (panchromatisch) bzw. 400 qm (multispektral) und die des LANDSAT TM (multispektral) 900 qm Erdoberfläche. Die vom Sensor aufgezeichnete objektbürdige Strahlungsmenge ist also ein Integral über die von allen Teilen einer solchen Fläche abgestrahlte Reflektion abzüglich der auf dem Weg vom Objekt zum Sensor in der Atmosphäre absorbierten Strahlung. In der Natur sind Flächen dieser Größe – von wenigen Ausnahmen abgesehen – im physikalischen Sinne nicht homogen und auch nicht völlig glatt und damit nicht schattenfrei. Dies aber bedeutet, daß die Bildelemente ein und desselben Objektes, z. B. eines Fichtenbestandes oder einer Wiese in ihren Werten nicht absolut gleich sind. Je nach der Verfassung des Objektes liegen die Werte der auf das Objekt entfallenden Bildelemente in jedem der Aufnahmekanäle vielmehr in einem objekt- oder zustandsspezifischen Streurahmen. Andererseits treten bei der o. a. Flächengröße der Bildelemente häufig „Mischpixel“ auf, d. h. Bildelemente, die an Objektgrenzen die Reflexion von zwei oder mehreren Objekten erfassen („pixel“ – Kurzform für picture element).

Man kann den Streurahmen für konkrete Fälle in verschiedener Weise darstellen, z. B. indem man – wie in Abbildungen 2 und 3 – die Häufigkeitsverteilungen der aufgenommenen digitalen Abbildungselemente für die benutzten Aufnahmekanäle des Spektrums wiedergibt sowie Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet.

Eine andere Darstellung des gleichen Sachverhaltes ist die Plazierung der aufgenommenen



*Abb. 2 und 3. Häufigkeitsverteilungen, Mittelwerte und Standardabweichung der Reflexionswerte (~ densitie) der Bildelemente einer Klasse in den 7 Aufnahmebändern des Landsat TM. Abb. 2: Buchenbaumhölzer; Abb. 3: Überwiegend gesunde Fichtenbaumhölzer (aus HILDEBRANDT, KADRO et al. 1987)*

*Fig. 2 and 3. Frequency distribution, means, and standard deviations of densities of the picture elements of one*

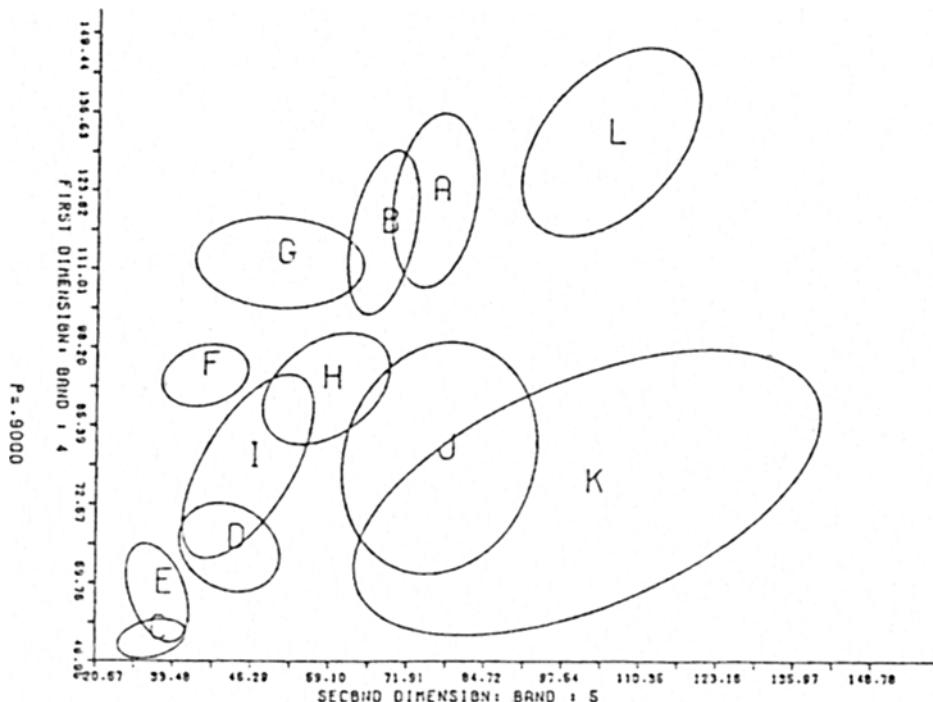


Abb. 4. Grauwertverteilungen von Trainingsgebieten für den Computer im zweidimensionalen Merkmalsraum (hier: TM-Bänder 4 gegen 5) für die in einem Untersuchungsgebiet zu klassifizierenden Bestandestypen/Wuchsklassen (aus STIBIG 1987)

A - Laubwald, Baumholz, B - Laubwald, Stangenholz, C - Nadelwald, Baumholz, D/E - Nadelwald, Stangenholz, F - Nadelwald, Dickung, G - Nadelwald, ältere Kultur, H/I - Fi, Ta, Bu Mischbestände, Baumholz, J/K/L - Blößen und frische, zum Teil vergraste Kulturen

Fig. 4. Grey value distributions of picture elements for computer training areas in a two-dimensional space (here stretched between TM-bands 4 vs 5). The training areas represent various forest types

digitalen Bildwerte in einem zwei- oder dreidimensionalen Merkmalsraum bzw. die daraus für jede zu untersuchende Klasse abgeleitete, den Streurahmen beschreibende Umhüllende. Abb. 4 und 5 zeigen hierfür Beispiele. Sie lassen vor allem erkennen, welche Klassen sich sicher, welche mit Einschränkungen und welche sich nicht mit Bilddaten aus den, der Analyse zugrundegelegten Kanälen allein aufgrund der spektralen Signatur unterscheiden und identifizieren lassen.

Die Auswertung multispektraler Bilddaten erfolgt entweder rechnergestützt durch digitale Bildverarbeitung auf der Grundlage der originalen Aufnahmedaten oder nach Generierung von Bildern, in der Regel von sogenannten Farbkompositen, durch sachkundige menschliche Bildinterpretation.

Beim praktischen Einsatz von LANDSAT- bzw. SPOT-Aufzeichnungen halten sich – unbeschadet des Umstandes, daß sehr viel mehr über digitale Bildverarbeitung als über visuelle Bildinterpretation publiziert wird – beide Auswertungsmöglichkeiten in etwa die Waage. Welcher Weg der zweckmäßiger ist, hängt von der zu lösenden Aufgabe ab, welcher praktisch beschritten wird, aber auch von der Verfügbarkeit über entsprechende Auswertungskapazitäten. Die digitale Bildverarbeitung erfordert entsprechende Hard- und Software und – aus forstlicher Sicht – Spezialisten.

Prinzipiell gilt jedoch, daß der Ausschöpfung des Informationsgehaltes multispektraler Aufnahmedaten Grenzen durch das menschliche Seh-, Merk- und Vergleichsvermögen gesetzt sind. Es ist einem Interpreten nicht möglich, mehr als drei synchron aufgenommene Bilder

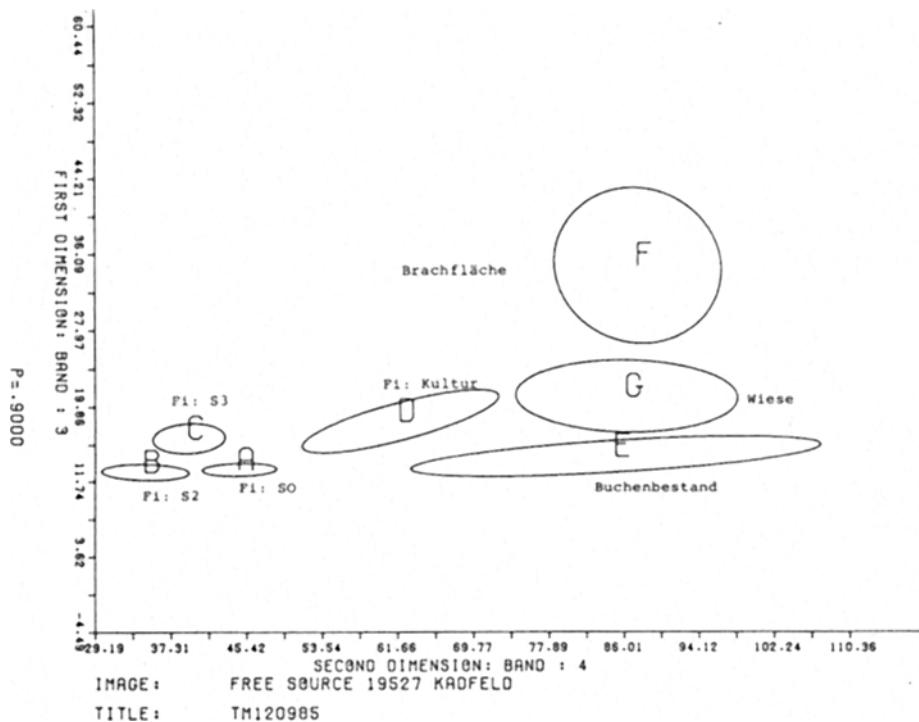


Abb. 5. Grauwertverteilungen von Trainingsgebieten für den Computer im zweidimensionalen Merkmalsraum (hier: TM-Bänder 3 gegen 4) für die in einem Untersuchungsgebiet zu klassifizierenden Bestandestypen und Schadklassen bei Fichte (aus HILDEBRANDT, KADRO et al. 1987)

Fig. 5. Grey-value distributions of picture elements for computer training areas in a two-dimensional space (here stretched between TM-bands 3 vs 4). The training areas represent various vegetation types, and for older spruce stands various degrees of decline (S0, S2, S3)

gleichzeitig und fortlaufend vergleichend auszuwerten. Andererseits können bei Farbkompositen, die aus den digitalen Originaldaten in der Regel dreier Kanäle entstehen, kanalspezifische spektrale Informationen verlorengehen.

Die rechnergestützte digitale Bildverarbeitung ist daher für die Auswertung multispektraler Aufzeichnungen oft das angemessene Verfahren. Dies gilt vor allem, wenn aus umfangreichen, von Erderkundungssatelliten stammendem Aufnahmematerial, thematische Klassifizierungen und Kartierungen im Zusammenhang mit Landnutzungs-, Vegetations- oder Waldinventuren vorzunehmen sind.

Den eigentlichen thermatischen Auswertungen gehen Vorverarbeitungsschritte voraus, nämlich

- radiometrische Korrekturen z. B. zum Ausgleich nicht gleicher oder gleichbleibender Detektoreigenschaften oder beim Zusammensetzen von Teilstücken verschiedener Aufnahmesezenen zur Angleichung von deren Helligkeit;
  - geometrische Korrekturen, die darauf gerichtet sind, Kongruenz der Fernerkundungsaufzeichnung mit der orthogonalen Kartenabbildung des aufgenommenen Geländes herzustellen;
  - Bildverbesserungen, die eingesetzt werden um gezielt Abbildungsmängel zu beseitigen oder die ausgerichtet sind auf das Hervorheben für die Auswertung besonders wichtiger Details.
- Nur zu letzterem, den möglichen Bildverbesserungen, zwei Beispiele:

Gegeben sei ein Bild, das eine Grautondarstellung in 255 Stufen zuläßt (s. hierzu Abb. 6). Die

Grautonhäufigkeit einer konkreten interessierenden Bildszene möge von den Stufen 60 bis 158 reichen, in einer Verteilung, wie sie auf der obersten Zeile der Abbildung 6 dargestellt ist. Die gesamte mögliche Grautonskala wird in diesem Beispielsfall – wie übrigens zumeist bei Fernerkundungsaufnahmen von Kultur- und Naturlandschaften – nicht ausgenutzt. Für Kontrastverbesserungen sind für diesen Fall in Abbildung 6 drei Möglichkeiten angegeben:

Im Fall b erfolgt eine lineare Kontraststreckung unter Ausnutzung der gesamten Grautonskala. Es wird dadurch erreicht, daß hellere Flächen noch heller und dunklere noch dunkler werden.

Im Fall c wird eine der Häufigkeit vorkommender Grautöne angepaßte, also ungleiche Kontraststreckung vorgenommen. Häufig vorkommende Grautöne werden stärker gestreckt.

Im Fall d wird davon ausgegangen, daß vor allem die Information im Bereich einer bestimmten Grautonstufe – hier zwischen 60 und 92 – für die Auswertung interessiert und soweit wie möglich kontrast verbessert werden soll. Der nicht interessierende Rest wird in diesem Fall auf die dunkelsten Stufen zusammengedrängt.

Das zweite Beispiel einer Bildverbesserung wird in Abbildung 7 dargestellt. Hier handelt es sich um die Verminderung von störendem „Rauschen“ in einer Fernerkundungsaufzeichnung. Angewandt wird eine sogenannte Tiefpaßfilterung. Diese ist ein rechnerischer Prozeß: Für jedes Bildelement der Aufzeichnung wird der Mittelwert der (z. B.)  $3 \times 3$  Bildelementnachbarschaft berechnet und dieser anstelle des Originalwertes beim Aufbau eines neuen Bildes beteiligt. Abbildung 7 zeigt ein solches Beispiel vor und nach der Tiefpaßfilterung.

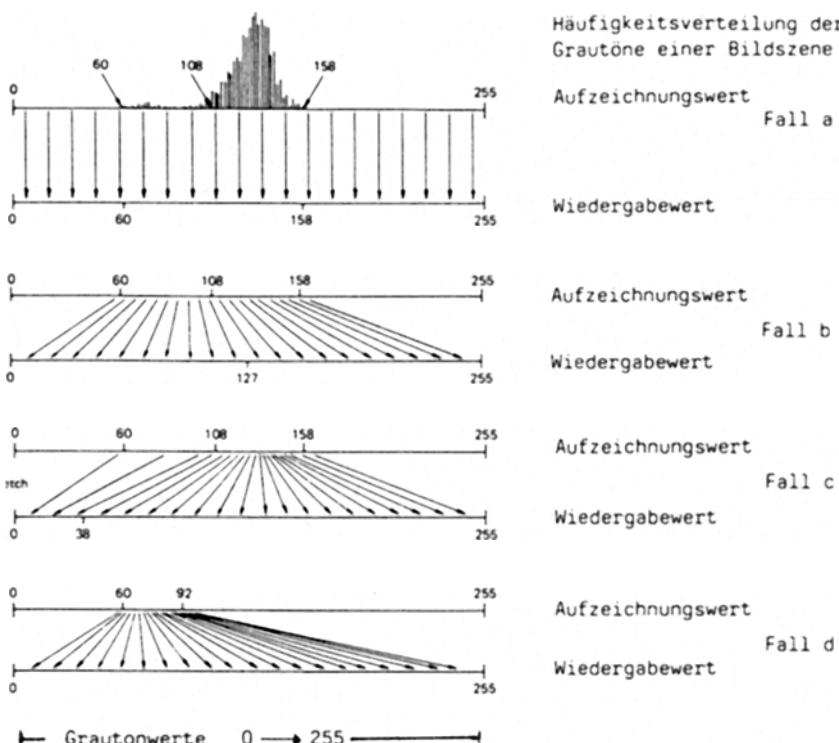


Abb. 6. Beispiele möglicher Kontrastveränderungen als Maßnahme zur gezielten Bildverbesserung. Erläuterungen im Text (nach LILLESAND; KIEFER 1979)

Fig. 6. Examples of possible contrast enhancement aimed at image improvements

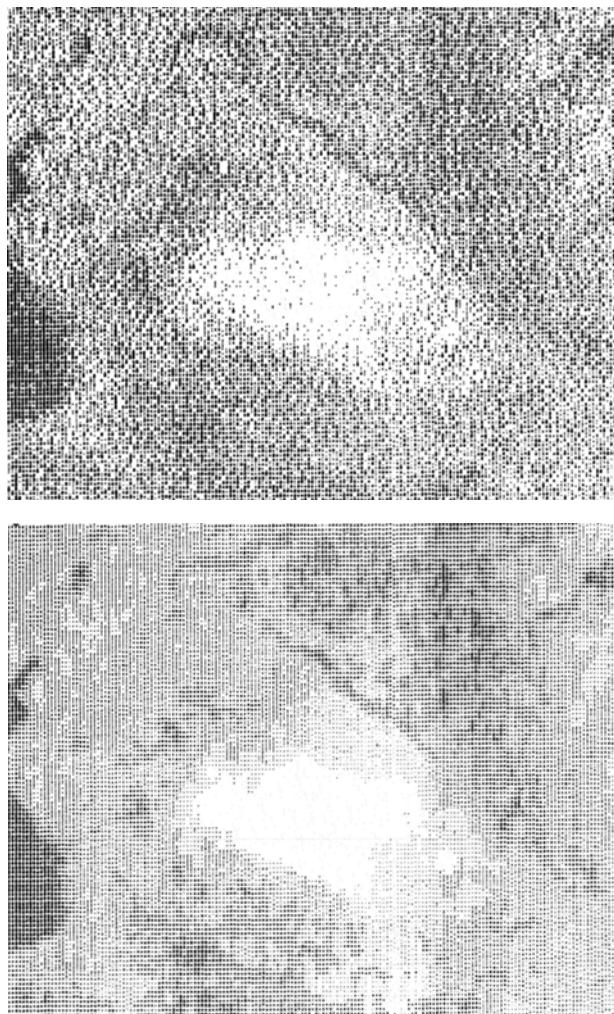


Abb. 7. Ergebnis einer Tiefpaßfilterung; oben: Original mit störendem Rauschen, unten: nach Filterung durch  $3 \times 3$  Pixel-Nachbarschaft für jedes Bildelement (Pixel). Erläuterung im Text (aus LILLESAND; KIEFER 1979)

Fig. 7. Result of digital low-pass filtering: Above: original with bothering noise, below: after filtering by  $3 \times 3$ -pixel neighborhood values for each picture element (pixel)

### Was kann rechnergestützte Auswertung von Landsat TM- und SPOT HRV-Daten leisten?

Nach diesem Exkurs über mögliche Vorverarbeitungsschritte zurück zur thematischen Auswertung der Fernerkundungsaufzeichnung selbst. Die visuelle Interpretation von LANDSAT- oder SPOT-Bildern (Farb-Kompositen) gleicht methodisch der herkömmlichen Luftbildinterpretation. Hierüber muß an dieser Stelle nichts weiter gesagt werden. Die rechnergestützte Auswertung multispektraler Bilddaten führt dagegen auf methodologisch ganz neue Wege. Es wird zum Grundverständnis auf die kurz gefaßte, einfach gehaltene Einführung bei HILDEBRANDT (1984, S. 216 ff.) und auf die etwas weitergehenden Darstellungen von BÄHR (1985, Kap. 10–12) verwiesen.

In der Mehrzahl der Fälle geht es bei der rechnergestützten Auswertung um das Klassifizieren von Flächenkategorien in einem definierten Untersuchungsraum für Zwecke der Inventur oder Kartierung bzw. um das Feststellen von eingetretenen Veränderungen bei Auswertung

zeitlich aufeinander folgender Aufnahmen. Die Weltraumfernerkundung eröffnet dabei die Möglichkeit der Untersuchung und Erfassung sehr großer Untersuchungsräume, oft von Größenordnungen, die bisher einer Inventarisierung, Kartierung oder Beobachtung nicht zugänglich waren.

In Abbildungen 4 und 5 waren für einen konkreten Fall Ergebnisse einer spektralen Signaturanalyse vorgestellt worden. Dort hat es sich gezeigt, daß sich die spektralen Signaturen verschiedener Objektklassen (es können auch Zustandsklassen eines bestimmten Objektes sein) in bestimmten Spektralkanälen unterscheiden. Dem Rechner werden über den Bildschirm einige Beispiele von bekannten Flächen der verschiedenen Objektklassen (Musterklassen, Trainingsfelder) gezeigt. Seine Aufgabe ist es, aus den Millionen von multispektralen Bilddaten des Untersuchungsgebietes jene Bildelemente zu suchen, die – in den Grenzen zugelassener Streuung – die gleiche Kombination von Bildelementwerten in den zu dieser Klassifizierung herangezogenen Kanälen aufweisen.

TZSCHÜPKE (1987) hat kürzlich zu recht im Hinblick auf die Ähnlichkeit der spektralen Signaturen vieler Vegetationsformen auf die Grenzen solcher ausschließlich sich auf spektrale Bildinformationen stützender digitaler Klassifizierung hingewiesen. Es wurden deshalb in den letzten Jahren auch Wege gesucht, zusätzliche Informationen über die in der Fernerkundungsaufzeichnung selbst enthaltenen hinaus in den Klassifizierungsprozeß einzubringen. Zwei Möglichkeiten sind dabei erschlossen worden: Die Einbeziehung von Zusatzdaten über „künstliche Kanäle“ und die Verwendung „multitemporaler“ Datensätze.

Im ersten Fall werden jedem Bildelement Standortsinformationen, z. B. Höhe über NN, Exposition, Geländeneigung aus einem digitalen Höhenmodell oder geographische Nachrichten aus digitalisierten topographischen, geologischen oder pädologischen Karten zugeordnet (Abb. 8). Im zweiten Fall werden Fernerkundungsaufzeichnungen verschiedener Termine, z. B. Frühjahrspekt/Herbstaspekt, zusammengefügt und auf diese Weise typische Unterschiede der phänologischen Entwicklung verschiedener Vegetationsbestände als Information zur Klassifizierung benutzt (Abb. 8).

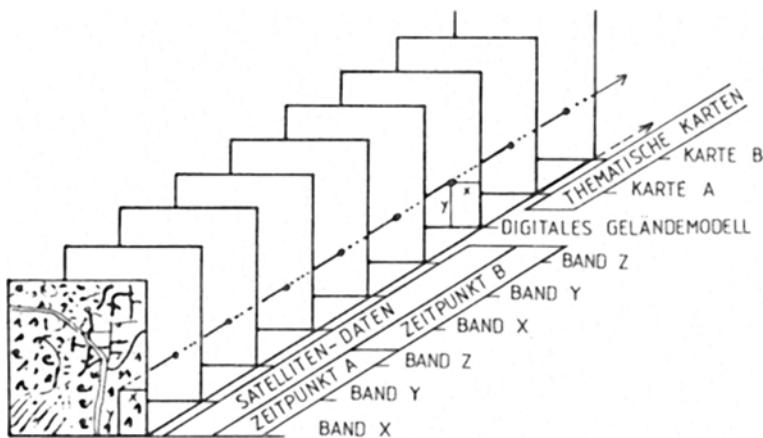
Eine dritte Möglichkeit kann in der Ausnutzung von den in den Aufzeichnungen enthaltenen Texturinformationen gesehen werden. Diese Möglichkeit ist freilich erst in Ansätzen verfügbar, z. B. für das digitale Ausfiltern einzelner, offensichtlich falsch klassifizierter Bildelemente. Auf diesem Gebiet ist noch ein weites Forschungsfeld für die Entwicklung entsprechender Klassifizierungsalgorithmen zu bearbeiten.

Im folgenden einige Beispiele praktisch durchgeföhrter Klassifizierungen, die sich ganz auf die neuesten Ergebnisse meiner Mitarbeiter und Doktoranden stützen und die gleichzeitig die Frontlinie dessen markieren, was heute möglich ist.

Das erste Beispiel stammt aus der noch nicht abgeschlossenen Arbeit von M. SCHARDT, bei der TM-Aufnahmen von intensiv bewirtschafteten Wäldern Südwest-Deutschlands an der Bildverarbeitungsanlage DIBIAS der DFVLR für forstliche Klassifizierungen und thematische Kartierungen ausgewertet werden.<sup>1</sup>

Herausgegriffen wird das Ergebnis der Klassifizierung eines Waldgebietes im Breisgau zwischen dem Rhein im Westen und der Rheintal-Autobahn im Osten, dem Leopoldskanal im Norden und dem Nordteil des Kaiserstuhls im Süden. In diesem Gebiet stocken entlang des Rheins Laub-Mischwälder des Auewaldes und Pappelbestände sowie einzelne Kiefernaufforstungen, entlang des Leopoldskanals ebenfalls Laub-Mischbestände, hier jedoch unterbrochen von jungen Douglasienbeständen und an den Nordhängen des Kaiserstuhl Buchen-/Traubeneichenbestände. Die landwirtschaftliche Flur ist durch Weinbau an den Hängen des Kaiserstuhls und intensiven Ackerbau auf der Ebene der Niederterrasse sowie Resten von Feuchtwiesen in Rheinnähe gekennzeichnet.

<sup>1</sup> Die Veröffentlichung der Ergebnisdaten geschieht mit ausdrücklicher Zustimmung von M. Schardt und Dr. Winter (DFVLR).



*Abb. 8. Prinzip der Zuordnung von multispektralen Aufnahmedaten verschiedener Zeitpunkte und verschiedenartiger Zusatzdaten in „künstlichen“ Kanälen*

*Fig. 8. Principle of the combination of multi-spectral remote sensing data taken at different times, with additional information from digitized maps and a terrain model*

#### Erläuterungen zu Abb. 9–13

*Abb. 9. Farbkompositen aus Landsat-TM-Bilddaten*

- a. Komposite aus TM-Kanälen 3, 4, 5 vom 7. 7. 1984: Wälder am Rhein und Leopoldskanal im FA Kenzingen und am Kaiserstuhl
- b. Komposite aus TM-Kanälen 4 vom 18. 4. 1984 und 4, 5 vom 7. 7. 1984: Stadt Freiburg und Kirchzartener Becken mit Mooswald im Westen und Bergwald im Osten. Blau: die am 18. 4. noch schneebedeckten Höhenlagen

*Fig. 9. Color composites of parts of TM-sections showing forest and agricultural land along the Rhein river in the forest district of Kenzingen, and in the vicinity of Freiburg*

*Abb. 10. Ergebnis der Waldklassifizierung (vgl. Text) der in Abb. 9a dargestellten Szene mit TM-Aufnahmedaten vom 18. 4. und 7. 7. 1984, Kanäle 2–5 und einem DTM-Algorithmus: Maximum-Likelihood*

Legende:

Laubmischwald der Aue:	blau (nat. Alterklassen von hell → bis dunkelblau)
Pappelbestände:	weinrot
Buchenbestände:	hellrot (Kaiserstuhl Sonnenhänge)
	dunkelrot (Kaiserstuhl Schattenhänge)
Kiefernbestände:	grün
Douglasienkulturen:	ockergelb
Douglasienstangenhölzer:	braun

(Bearbeiter: M. SCHARDT)

*Fig. 10. Result of computer-aided forest classification of the section shown in fig. 9a. Compare tab. 5–7 and the text*

*Abb. 11. Ergebnis einer Waldklassifizierung im Ammerseegebiet mit TM-Aufnahmedaten vom 18. 4. und 7. 7. 1984 der topographischen Karte 1:50 000 überlagert<sup>2</sup>*

Legende:

Laubwald:	rot (ohne Kulturen)
Nadelwald:	grün (ohne Kulturen)
Mischwald:	orange (ohne Kulturen)
Moorwald:	blaugrün
Kulturen:	hellgrün
Gewässer:	blau

(Bearbeiter: KEIL)

*Fig. 11. Result of computer-aided forest classification of part of a TM-section combined with information from the topographical map 1:50 000*

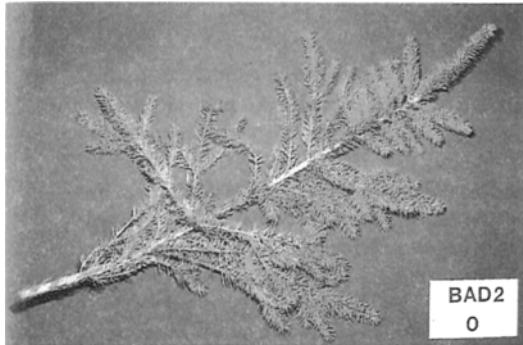
*Abb. 12. Weltraumluftbild (vergrößerter Ausschnitt) aufgenommen mit ZEISS RMK 30/23 aus der NASA Spaceshuttle von einem Teilstück des Amazonasgebiets am Rio Tocantins. Zu interpretierende Bestockungstypen siehe Text*

*Fig. 12. Enlarged color-infrared aerial photo taken with a ZEISS RMK 30/23 from the Space Shuttle over a section of forest land in the Amazon region. See the text for the vegetation-types, which can be interpreted*

*Abb. 13. Demonstration der räumlichen Auflösung des Weltraumluftbildes bei Objekten mit starken Reflexionsunterschieden. Die abgebildete Straße ist in Abb. 12 zu verfolgen und zu kartieren. Aufnahmestandort an der erkennbaren Straßenverbreiterung im Bildmitte der Abb. 12 (Abb. 12 und 13 aus FORSTREITER 1986)*

*Fig. 13. Road 4 to 5 meters wide, which can be clearly seen in the aerial photo in fig. 12*

<sup>2</sup> Die Veröffentlichung der Abb. 11 geschieht mit ausdrücklicher Zustimmung der Herrn Keil und Dr. Winter (DFVLR)



BAD2  
0



BAD2  
V3

Düngungsversuch Baden-Baden 2: Fichtenzweig von Kontrollparzelle (links) und Düngungsparzelle (rechts); Daten siehe Tab. 4 und Text (Photos Herbst 1986: P. ENDE)

Fertilization trial Baden-Baden 2: Spruce branch of control plot (left) and fertilized plot (right): data see Tab. 4 and text (photos autumn 1986 by P. ENDE)



Düngungsversuch Staufen 6 (ähnlicher Standort wie Freiburg 9): Kontrollparzelle (oben) und Kalimagnesia-Kalksalpeter-Düngungsparzelle (unten) (Photos Sommer 1986: H. W. ZÖTTL)

Fertilization trial Staufen 6 (site comparable with Freiburg 9): Control plot (above) and fertilized (Kalimagnesia-Kalksalpeter) plot (below) (photos summer 1986 by H. W. ZÖTTL)



Abb. 9a

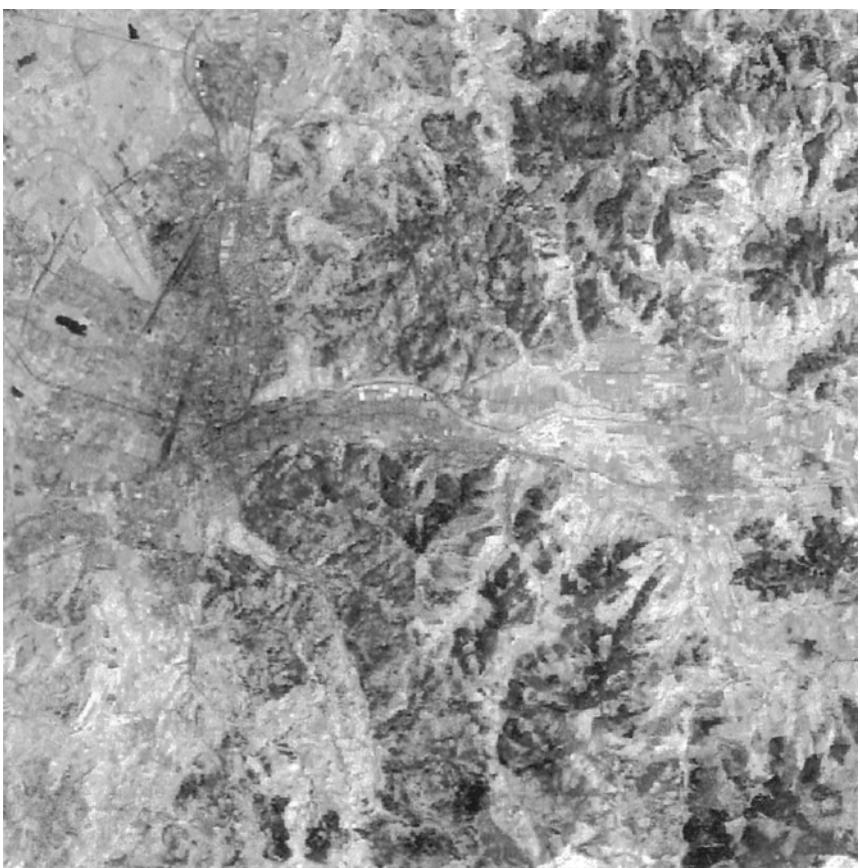


Abb. 9b

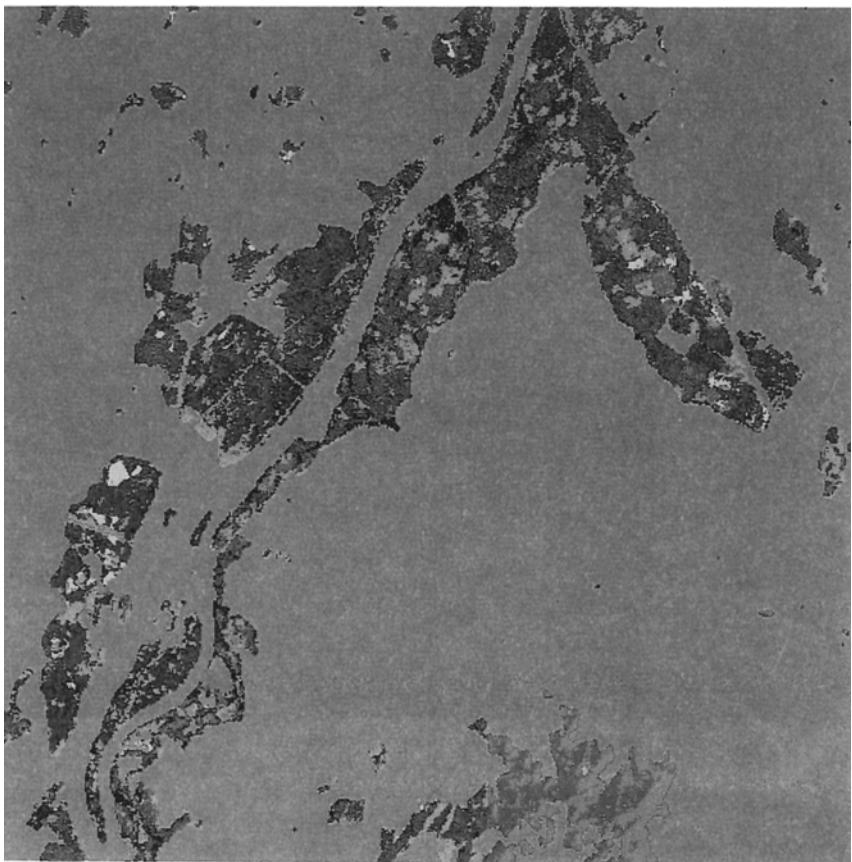


Abb. 10

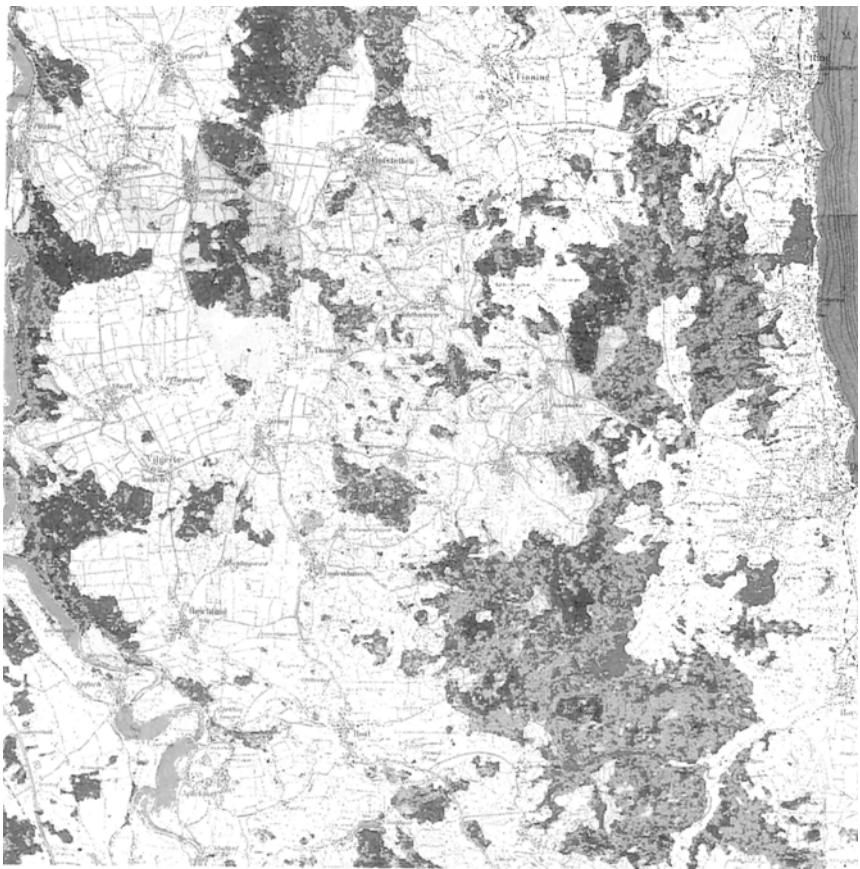


Abb. 11

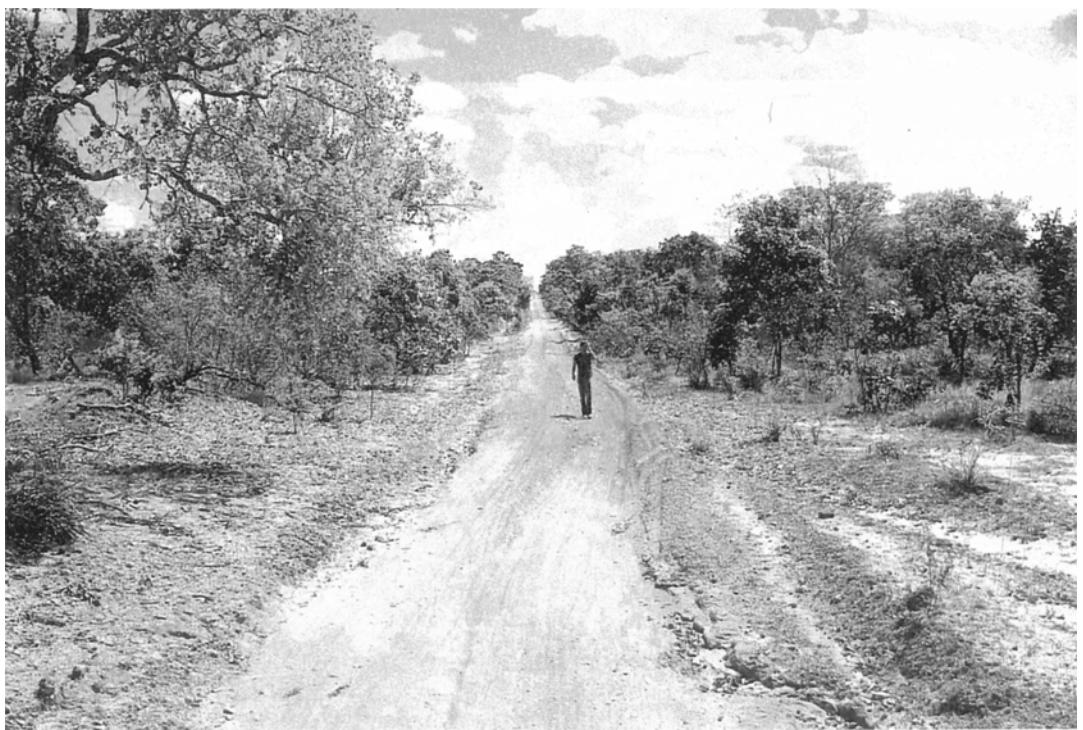
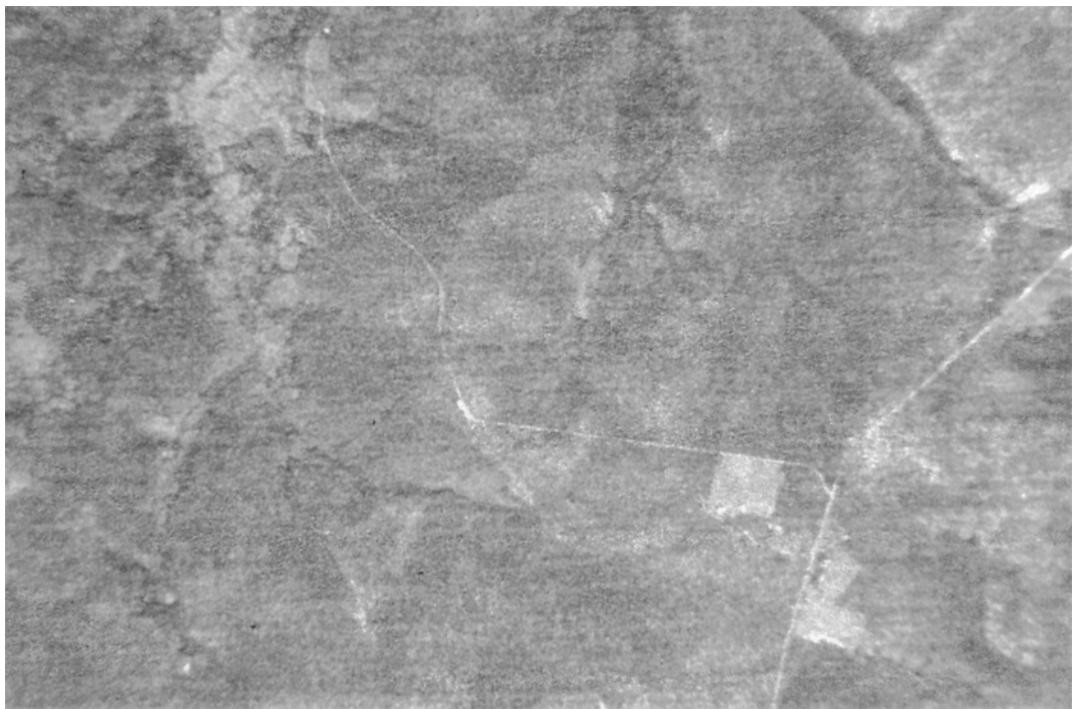


Abb. 13

Zur Klassifizierung wurden LANDSAT-TM-Daten vom 18. 4. und 7. 7. 1984 sowie ein digitales Höhenmodell eingesetzt. Je nach dem Reflexionsverhalten der betreffenden Objektklassen mußten für eine erfolgreiche Klassifizierung entweder multitemporale Datensätze (z. B. zur Trennung der Waldflächen und anderen vegetationsbeständigen, landwirtschaftlichen Flächen, der Douglasien-Kulturen von Laub-Mischwald oder der Douglasien-Stangenholzer von Pappelbeständen) oder die Einbeziehung von topographischen Zusatzdaten aus dem digitalen Gelände Höhenmodell (z. B. zur Trennung von Buchenbeständen auf Südhängen des Kaiserstuhls und Laubwaldkulturen der Rheinaue oder von Buchenbeständen auf Nordhängen des Kaiserstuhls und Pappelbeständen der Rheinaue) oder aber Texturfilter (zur Eliminierung einzelner „Laubwald-Kultur“-Pixel inmitten der landwirtschaftlichen Feldflur) einbezogen werden.

Ein Teilstück des ausgewerteten Waldgebietes ist in Form einer Farbkomposite, hergestellt aus den Daten der TM-Kanäle 3 (rot), 4 (nahes Infrarot) und 5 (mittleres Infrarot-SWIR), in Abbildung 9a dargestellt. Die Aufnahme läßt so wie auch Abbildung 9b die heute erreichbare – hier freilich durch den Druck zwangsläufig geminderte – Bildqualität erkennen. Man möge sich daran erinnern, daß diese Aufnahmen aus 705 km Flughöhe erfolgten (Tab. 2).

**Das Ergebnis der Wald-Klassifizierung nach den LANDSAT TM-Daten ist in Abbildung 10 und Tabelle 5 wiedergegeben.** Tabellen 6 und 7 zeigen in Form von Verwechslungsmatrizen für die vorkommenden Bestandestypen bzw. Baumarten (Tab. 6) und – exemplarisch – für die na-

Tabelle 5

**Ergebnis der Klassifizierung des Waldes im Untersuchungsgebiet „Rheinaue FA Kenzingen“ nach LANDSAT TM-Daten, Erläuterung im Text (M. SCHARDT; siehe auch Fußnote<sup>1</sup>)**

Results of classifying the forest on the test site „Rheinaue, Forest District Kenzingen“, using TM-data (compare fig. 10)

Laubmischwald	3656,4 ha
Kultur	
Dickung	847,7 ha
Gestänge	
Stangenholz	
Stangenholz/ ger. Baumholz	1111,0 ha
ger. Baumholz/ mittl. Baumholz starkes Baumholz	1697,7 ha
Pappel	680,3 ha
Douglasie	131,2 ha
Kultur	82,6 ha
Stangenholz	48,6 ha
Kiefer	36,9 ha
Laubmischwald Kaiserstuhl	700,8 ha
Nadelwald Kaiserstuhl	4,3 ha
Gesamtwaldfläche	5209,9 ha

türlichen Altersklassen des Laubmischwaldes der Aue (Tab. 7) die Ergebnisse der Überprüfung der Bildelementzuordnung auf der Basis der Trainingsgebiete.

Zu vergleichbaren und gleich guten Ergebnissen führte auch die gerade abgeschlossene Untersuchung von J. STIBIG (1987) mit LANDSAT TM- und simulierten SPOT HRV-Daten. Untersuchungsgebiete waren in diesem Fall der im Rheintal auf dem Schwemmkegel der Dreisam westlich Freiburgs gelegene „Mooswald“ mit überwiegender Laub- und Laubmischwaldbe-

Tabelle 6

Ergebnis der Überprüfung der Klassifizierung „Rheinaue FA Kenzingen“ (Abb. 10, Tab. 5) nach Bestandstypen (M. SCHARDT; siehe Fußnote 1). In den Zeilen: das Klassifizierungsergebnis; in den Spalten: die tatsächliche Klassenzugehörigkeit. Beispiel: Zeile 1. Die als „Laubmischwald“ klassifizierten Bildelemente waren zu 98,8 % richtig zugeordnet, 1,2 % der dem „Laubmischwald“ zugeordneten Bildelemente sind falsch klassifiziert worden; sie wären richtig den Pappelbeständen zuzuweisen

Classification performance for stand types of the testsite „Rheinaue“ shown as confusion matrix: real classification vs computer-aided classification from TM data. Example: line 1 shows that 98.8 % of the pixels have correctly been classified as mixed deciduous forest. 1.2 % of pixels classified as mixed deciduous forest were actually poplar stands

	Laubmischwald	Pappel	Douglasie	Kiefer	Kaiserstuhl Laubmischwald	Nichtwald
Laubmischwald	98.8 %	1.2 %				
Pappel	4.4 %	95.4 %				0.2 %
Douglasie	2.6 %	5.4 %	92.0 %			
Kiefer		2.1 %	4.9 %	93.0 %		
Kaiserstuhl Laubmischwald					100 %	

Tabelle 7

Ergebnis der Überprüfung der Klassifizierung „Rheinaue FA Kenzingen“ nach Altersklassen, Beispiel Laubmischwald der Aue (M. SCHARDT; siehe Fußnote 1). In den Zeilen: das Klassifizierungsergebnis; in den Spalten: die tatsächliche Klassenzugehörigkeit. Zu lesen wie Tab. 6, siehe dortiges Beispiel

Classification performance for age classes of the deciduous mixed forest

	Kultur Dickung Gestänge	Stangenholz	Baumholz	Pappel
Kultur Dickung Gestänge	89.8 %	9.9 %	0.3 %	
Stangenholz	4.3 %	84.7 %	10.8 %	0.2 %
Baumholz	0.3 %	13.6 %	84.3 %	1.8 %

stockung und das im Schwarzwald gelegene Testgebiet „Oberried“ mit Fichten, Tannen, Buchen in Rein- und Mischbeständen. Mit Ausnahme eines Waldtyps wurden die zu bestimmten Bestandesformen gehörenden Bildelemente zwischen 90 und 100 % richtig zugeordnet.

Für beide Testgebiete der STIBIGschen Arbeit ist in Tabelle 8 ein Vergleich der mit den Weltraumfernerkundungsdaten erzielten Klassifizierungsergebnisse mit Daten der Forsteinrichtung gezogen. Der Vergleich zeigt eine überraschend hohe Übereinstimmung.

Tabelle 8

**Ergebnis der computergestützten Klassifizierung nach LANDSAT TM- und simulierten SPOT HRV-Daten im Vergleich zu Forsteinrichtungsdaten (zusammengestellt nach Daten von STIBIG 1987)**

Results of the computer-aided classification of LANDSAT TM-data (above) and simulated SPOT HRV-data (below) compared with existing forest management inventory data

Landsat TM	Testgebiet Oberried 842,8 ha = 100 %							
	NB Kultur- bis Stan- genholz	NB Baum- und Altholz	NB im Rein- bestand	NB im Misch- bestand	NB insge- samt	LB im Rein- bestand	LB im Misch- bestand	LB insge- samt
Klassenanteile in % der Gesamtfläche								
TM-Klassifizierung	30,5	43,3	54,6	19,2	73,8	12,7	13,5	26,2
Forsteinrichtung	31,1	44,5			75,6			24,4

Spot HRV/SIM	Testgebiet Mooswald 468,6 ha = 100 %							
	LB Kultur	LB <sup>1</sup> Dickung	LB <sup>1</sup> Baum-/ Altholz	Roteiche	LB insge- samt	Fichte	Dou- glasie	Blösse
Klassenanteile in % der Gesamtfläche								
Spot HRV/SIM Klass.	6,4	9,5	61,6	8,3	85,8	1,5	5,1	7,6 <sup>2</sup>
Forsteinrichtung	6,4	6,6	66,2	8,4	87,6	2,4	5,2	4,8

<sup>1</sup> Ohne Roteiche

<sup>2</sup> Einschließlich nichtklassifizierter Pixel

Die Fortschritte gegenüber den bisher bekannten Landsat-MSS-Klassifizierungen, mit deren damaliger 79 m Grundauflösung, sind aus den zitierten Beispielen unverkennbar. Sie zeigen sich ähnlich auch in einer Reihe weiterer Arbeiten, so von KEIL oder auch KADRO, wobei letzterer (in HILDEBRANDT, KADRO et al 1987) brauchbare Ansätze für flächenweise Klassifizierungen der gegenwärtigen Waldschäden (Klassen: 0/1, 2, 3) in Schwarzwaldrevieren mittels TM-Daten fand. In Abb. 11 wird ein von KEIL<sup>2</sup> erarbeitetes Klassifizierungsergebnis wiedergegeben und gezeigt, wie die Waldklassifizierung topographischen Karten überlagert werden kann.

### Beispiele praktischer Anwendungen der Fernerkundung aus dem Weltraum

Fernerkundungsdaten und -bilder aus dem Weltraum wurden seit Mitte der 70er Jahre für großräumige Waldkartierungen und -inventuren sowie für die Beobachtung von Waldflächenentwicklungen vornehmlich in extensiv oder noch nicht bewirtschafteten Großräumen als Informationsquelle erschlossen und praktisch eingesetzt. Dabei ist sowohl Fernerkundung mit

photographischen als auch mit optomechanischen bzw. optoelektronischen Mitteln (vgl. Tab. 1) zur Lösung praktischer Aufgaben herangezogen worden. Auf einige Beispiele bisheriger operationeller Einsätze wird im folgenden hingewiesen.

Aus bemannten Raumfahrzeugen aufgenommene Luftbilder sind in der Sowjetunion – zusammen mit visuellen Beobachtungen der Astronauten – für forstwirtschaftliche Zwecke seit längerer Zeit in Anwendung. Die langfristigen Aufenthalte russischer Astronauten in einer Orbitalstation kommen dem zugute. Besonders die dritte und vierte Mission an Bord von Salut 6 im Jahre 1979 waren forstwirtschaftlichen Arbeiten oder der Vorbereitung späterer forstlicher Beobachtungsaufgaben gewidmet (SUKHIKH et al. 1984).

Im Einsatz sind an Bord der Salut Orbitalstation die Spektrozonalamera MFK 6 (vgl. Tab. 3 und für mehr technisches Detail HERDA 1978) und eine Kamera mit der Typenbezeichnung KATE 140. SUKHIKH et al. (1984) nennen 9 verschiedene Aufgaben von forstwirtschaftlicher Relevanz, die durch Auswertung der Weltraumluftbilder zum Teil in Verbindung mit visuellen Beobachtungen durch die Astronauten gelöst werden. Mehrere dieser Aufgaben stehen in Zusammenhang mit der Frühwarnung vor und der Früherkennung von Waldbränden sowie der Beobachtung der Dynamik sich ausbreitender Waldbrände (vgl. auch SUKHIKH 1980).

Es mag in diesem Zusammenhang interessieren, was Astronauten bei visueller Beobachtung aus dem Weltraumfahrzeug sehen können. Hierzu liegen russische Untersuchungen vor von Bord der Orbitalstation SALUT aus 200 (bis 300) km Höhe. Danach ist die Erkennung von Objekten möglich

- bei geringen Kontrasten mit 20 Winkelminuten      - 0,000 581 rad  
    - Objekte mit 1200 m Durchmesser
- bei mittlerem Objektkontrast mit 10 Winkelminuten - 0,000 291 rad  
    - Objekte mit 600 m Durchmesser
- bei hohem Objektkontrast mit 1 Winkelminute      - 0,000 029 rad  
    - Objekte mit 60 m Durchmesser

Die Bildqualität der MFK-6-Aufnahmen ist sehr gut und vergleichbar der Qualität der Luftbilder, die mit der ZEISS-RMK 30/23 und der ITEK-LFC aus der NASA SPACESHUTTLE heraus aufgenommen wurden (vgl. Tab. 3). Da hier keine russischen Bilder zur Veröffentlichung zur Verfügung stehen, muß in Abbildung 12 ein Ausschnitt eines mit der ZEISS-Kamera aufgenommenen Luftbildes unseres Untersuchungsraumes am südlichen Rand des Amazonasgebietes einen Eindruck von der Bildqualität der Weltraumluftbilder vermitteln. FORSTREITER (1987) konnte für diesen, fast vollständig vegetationsbedeckten Untersuchungsraum folgende, für Wald- oder Vegetationsinventuren interessierende „Land Cover Types“ interpretieren:

- Geschlossene Urwälder (tropischer Regenwald)
- Geschlossene Palmwälder
- Galeriewälder
- Baumsavannen – verschiedene Cerradotypen
- abgeholtzte, jedoch wieder aufgeforstete Flächen
- abgeholtzte, jetzt landwirtschaftlich genutzte Flächen
- Weideflächen (z. T. frühere Waldflächen)
- kleine und größere Wasserläufe und -flächen
- Straßen- und Leitungstrassen

Unbeschadet der Grundauflösung von 30 m kann man dabei – wie Abbildung 13 zeigt – Straßen bis hinab zu 4–5 m Breite sehen, wenn deren Reflektion sich gegenüber jener der angrenzenden Vegetation deutlich unterscheidet.

Als Beispiele für bisherige praktische Anwendungen multispektraler nichtphotographischer Aufzeichnungen aus Satelliten nenne ich drei typische Fälle:

1. Für die Entwicklung des kanadischen Nordens wurden Anfang der 80er Jahre für den Auf-

bau einer umfassenden Datenbasis Informationen über die Waldressourcen dieser riesigen Gebiete benötigt. Das Ontario Center for Remote Sensing führte zu diesem Zweck 1981 auf der Basis von Landsat-MSS-Daten für die subarktische Region Ontarios nördlich des 52. Breitengrades eine forstliche Erkundungsinventur und erste Waldkartierung durch (ZSILINSKY, PALA, JANO 1981).

Inventurdaten des Forest Service lagen nicht vor. Die Wälder sind noch unbewirtschaftet und das Gebiet von 200 000 km<sup>2</sup> unbewohnt. Auch ist diese Großregion von fast der Flächenausdehnung der Bundesrepublik nicht in das Waldbrandkontrollsysteem Ontarios eingeschlossen.

Die Waldkartierung erfolgte durch rechnergestützte Klassifizierung von Landsat-MSS-Daten unter Verwendung von Sommer- und Spätwinteraufzeichnungen, also multitemporaler Aufnahmen. Nach geometrischer Korrektur auf das UTM-Gitter wurde mit dem Maximum Likelihood-Algorithmus klassifiziert und Objekte von weniger als 6 Pixel Größe rechnerisch ausgetiltert. Die Kartierungsmaßstäbe der farbkodierten Waldkarten waren 1:250 000, 1:100 000 und 1:50 000. Die Karten und die resultierenden Statistiken weisen neben Wasserflächen, Mooren und vegetationsfreiem Ödland sechs Waldtypen aus.

2. Das brasilianische Zentralinstitut für die Entwicklung der Forstwirtschaft, IBDF, hat 1979 mit Unterstützung der FAO ein nationales Fernerkundungsprogramm zur Kontrolle der bis dahin weitgehend unkontrollierbaren Rodungen, Waldzerstörungen sowie der Aufforstungsaktivitäten, der Nationalparks und später auch der Nationalforsten eingeleitet. Aufgabe ist es, in kurzperiodischen Abständen die Wälder des 8,5 Millionen km<sup>2</sup> großen Landes zu kartieren, um fortlaufend die Veränderungen an Waldfläche festzustellen. Dieses „Brasilian Forest Cover Monitoring Project“ begann 1979 in den am stärksten bedrohten AMAZONAS-Staaten und wurde 1980 auf das ganze Land ausgedehnt (C. M. CARNEIRO 1981).

Primäre und flächendeckende Informationsquellen für die Beobachtungsaufgabe waren bzw. sind Landsat-MSS- und -RBV-Aufnahmen. Die Bilder werden überwiegend *visuell* interpretiert. Entdeckte neue Rodungsflächen werden mit Kleinflugzeugen angeflogen, luftvisuell erkundet und beschrieben. Schwerwiegende neue Waldzerstörungen werden durch Feldtrupps aufgesucht und detailliert aufgenommen.

Parallel dazu werden die großflächigen Aufforstungsaktivitäten beobachtet und quantifiziert. Hierbei werden auch rechnergestützte Klassifizierungen mit eingesetzt.

3. Als deutsches Entwicklungshilfeprojekt wird gegenwärtig der Waldbestand der Philippinen inventarisiert: 16 Mio. Hektar Wald auf einer Landesfläche von 30 Mio. Hektar, verteilt auf 7100 Inseln, darunter solche, die unerschlossen und solche, die wegen rebellierender Bevölkerung nicht begehbar sind (SCHADE und DALANGIN 1985, SCHADE 1986). Neue Luftbilder und ältere Karten früherer Konzessionen sind nur für einen Teil des Landes vorhanden.

Angewandt wird ein zweistufiges Inventurverfahren. Gestützt auf neuere kleinmaßstäbige Luftbilder und – wo diese nicht vorhanden sind – auf Landsat-TM-Farbkompositen, werden alle Waldflächen im Maßstab 1:50 000 bzw. 1:250 000 kartiert und für die nachfolgende terrestrische Vorratsaufnahme (mit Relaskopstichproben) nach 10 Waldtypen stratifiziert. Sowohl die Luftbildauswertung als die der Satellitenfarbkompositen erfolgt durch sachkundige visuelle Interpretation. Da die auszuscheidenden Waldtypen nicht durchweg auf den Farbkompositen zuverlässig erkannt und definiert werden können, werden Zusatzinformationen herangezogen, die Rückschlüsse auf die betreffenden Typen zulassen: ein einfaches Gelände-höhenmodell, gegebenenfalls vorhandene alte Luftbilder und – in jüngster Zeit und erstmals – Videokameraluftbilder, die entlang von Probestreifen aufgenommen werden.

Bezüglich des Nutzens der Landsat-Bilder urteilen SCHADE und DALANGIN (1985): “High quality Landsat False Color Composites, preferably color enhanced, are the ideal base for forest and land use mapping at 1:250 000 scale. Backed-up by additional data, they allow a forest stratification similar to small scale aerial photographs at considerably lower costs. A continuous monitoring of the country's forest cover becomes economically feasible with Landsat or other earth resources satellites.”

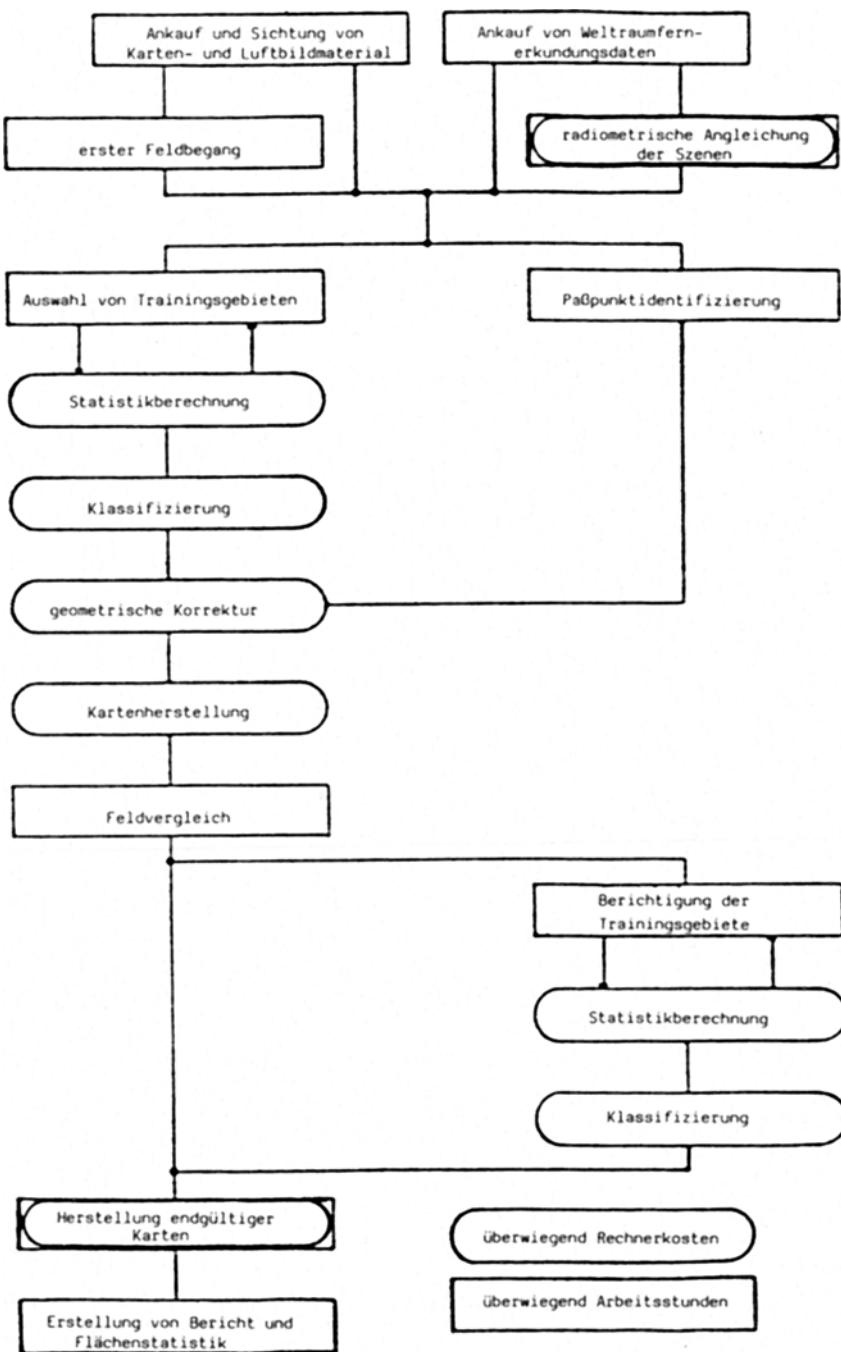


Abb. 14. Darstellung der verschiedenen Arbeitsschritte für Flächeninventuren extensiv genutzter Wälder bei Verwendung von Weltraumfernerkundungsdaten (FORSTREUTER 1987)

Fig. 14. Diagram of the various working steps for area inventory and mapping of extensively used forests if spaceborne remote sensing data are involved

Diese drei Beispiele praktischer Großanwendungen von Landsat-Aufzeichnungen für forstliche Inventur-, Kartierungs- und Beobachtungsprojekte müssen an dieser Stelle genügen. Zu verweisen ist jedoch auf einige Autoren, die über weitere praktizierte Fernerkundung aus dem Weltraum für forstwirtschaftliche Zwecke berichten, so auf BALTAXE (1980) für Aktivitäten in Afrika und anderen tropischen Regionen, auf SUKHIKH (1980, 1984) für entsprechende Einsätze in der Sowjetunion, auf LABAU und SCHREUDER (1983) für Alaska u. v. a. sowie darauf, daß Landsat-TM-Aufzeichnungen in jüngster Zeit in Schweden, in Britisch-Kolumbien und andernorts für die kurzperiodische Registrierung neuer Schlagflächen eingesetzt werden. Abschließend soll auch noch einmal darauf hingewiesen werden, daß SCHADE (1980) bei einer Testinventur für 91 000 Hektar Waldfläche im Schwarzwald Landsat-MSS-Bilder in einem dreiphasigen Aufnahmeverfahren einsetzte. Er arbeitete dabei – Vorschlägen von Langley (1969, 1976) und HILDEBRANDT (1973) folgend – mit drei Aufnahmeebenen: flächendeckende Landsat-MSS-Farbkompositen, Infrarotfarbluftbilder 1:50 000 von Stichprobestreifen und Feldstichproben entlang der Luftbildstichprobenstreifen.

In Abbildung 14 sind für ein praktisches Beispiel die Arbeitsschritte für eine im wesentlichen auf rechnergestützte Klassifizierung von Weltraum-Fernerkundungsdaten aufgebaute Flächeninventur und thematische Kartierung dargestellt. Zugrunde liegt eine durchgeführte Flächeninventur und Kartierung in einem Großraum mit extensiv genutzten Wäldern (FORSTREUTER 1986).

Vermittelt Abbildung 14 in großen Zügen eine Vorstellung vom Ablauf eines auf Fernerkundung aus dem Weltraum gestützten Verfahrens, so erlaubt Tabelle 9 einen Vergleich, der für die Herstellung von Waldkarten und Flächendaten in einem Entwicklungsland bei unterschiedlichen Fernerkundungsverfahren aufzuwendenden Kosten. Bei den Beschaffungskosten für die Weltraumluftbilder bzw. MSS-Bänder wurde der für die Bearbeitung eines Kartenblattes 1:50 000 benötigte Anteil berücksichtigt. Abschreibungskosten für die benötigten Geräte und Rechner sind berücksichtigt. Ferner ist davon ausgegangen, daß die für die Luftbildauswertung notwendige Interpretationserfahrung und ein ausgearbeiteter Interpretationsschlüssel sowie andererseits die für die digitale Bildverarbeitung der Landsat-Daten erforderliche Software schon zur Verfügung stehen.

Tabelle 9

Kostenvergleich für die Herstellung von jeweils fünf Kartenblättern einer Forstkarte im Maßstab 1:50 000 aus unterschiedlichen Fernerkundungsdaten der Region Tocantins im Norden von Goias  
(FORSTREUTER 1987)

Comparison of the costs for the production of five sheets of a forest map 1:50 000 of the region Tocantins (Brazil) based on different remote-sensing data

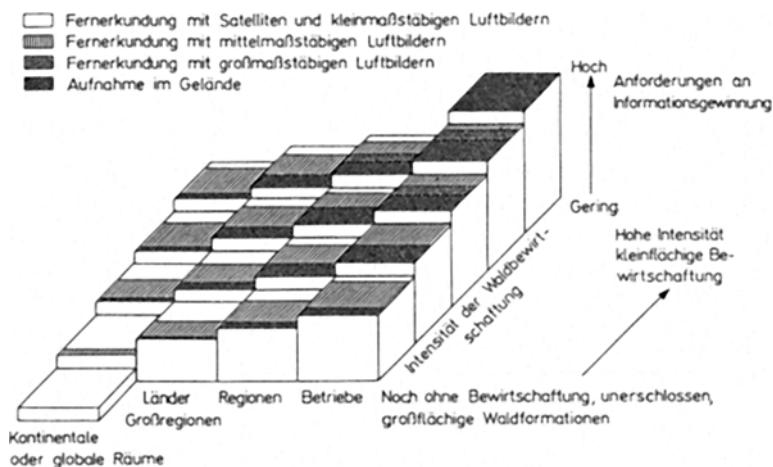
	Luftbilder 1:40 000	Weltraum- luftbilder	Landsat MSS Daten
Beschaffungskosten der FE-Daten	974 DM	5 DM	27 DM
Entzerrung/Herstellung der Basiskarte	—	196 DM	173 DM
Vegetations-Karte/Klassifizierung	2432 DM	456 DM	53 DM
Herstellung des Endproduktes	101 DM	101 DM	75 DM
Erstellen der Flächenstatistik	240 DM	120 DM	5 DM
Summe	3747 DM	878 DM	308 DM

Die in Tabelle 9 mitgeteilten Daten sind nicht ohne weiteres auf andere Fälle zu übertragen, sie beanspruchen auch keine Allgemeingültigkeit. Sie geben aber einen Anhalt zur vergleichenden Beurteilung verschiedener Verfahren. Rein terrestrische Erhebungen kämen für eine Flächeninventur in den weitgehend unerschlossenen Waldgebieten eines Entwicklungslandes nicht in Frage.

### **Abschließende Einschätzung gegenwärtiger und künftiger Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung aus dem Weltraum für forstwirtschaftliche Zwecke**

Wenn im folgenden eine Einschätzung von Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung aus dem Weltraum versucht wird, so sind zur Vermeidung von Mißverständnissen drei Bemerkungen voranzuschicken:

- Fernerkundung aus dem Weltraum stellt eine *Erweiterung der Möglichkeiten* der Fernerkundung dar. Sie macht andere Fernerkundung oder Photogrammetrie, die sich auf von Flugzeugen aufgenommene Bilder bzw. Aufzeichnungen stützt, nicht entbehrlich.
- Fernerkundung – in welcher Form auch immer – wird für forstwirtschaftliche Zwecke fast stets in *Kombination mit Felderhebungen* einzusetzen sein. Das Gewicht der Fernerkundung und speziell der Fernerkundung aus dem Weltraum wird dabei um so größer, je größer der Inventurraum, je extensiver die Bewirtschaftungsform der Wälder und je geringer die Forderungen nach Details und Genauigkeit sind. Abbildung 15 zeigt dies als Modell.



*Abb. 15. Kombination von Felderhebungen und verschiedenen Fernerkundungsmedien bei forstlichen Inventur- und Beobachtungsaufgaben (aus HILDEBRANDT und RHODY 1984)*

*Fig. 15. Suggested combinations of field work and use of various remote sensing media for inventory and monitoring of forest lands*

- So wie die Luftbildauswertung sich nicht im bloßen Betrachten von Bildern erschöpft, sondern für eine erfolgreiche Auswertung Sachverstand (des Forstmannes), Erfahrung (in den Auswertetechniken) und intensive Arbeit erfordert, so sind diese drei Fakten auch für eine erfolgreiche Fernerkundung aus dem Weltraum eine Voraussetzung. Mehr noch als bei der klassischen Luftbildauswertung, die sich auf ausgereifte Techniken und langjährige Erfahrung stützen kann, muß man sich bei der Fernerkundung aus dem Weltraum mit einer noch sehr rasant voranschreitenden Technologie auseinandersetzen und noch viel Entwicklungsarbeit leisten. Wenn zuvor von den heute gegebenen, schon erstaunlichen Kapazitäten der neuen Fernerkundungsdaten, von erfolgreichen Untersuchungen und auch praktischen Anwendungen berichtet wurde, so bedeutet das nicht, daß alles problemlos ist oder daß alle oder die meisten Fragen methodologischer Art schon optimal gelöst wären. Das Gegenteil ist der Fall: Trotz schon anwendungsreifer Verfahren in einer Reihe von Fällen liegt das größere Feld noch unbekannter Möglichkeiten oder noch nicht beherrschter Technik (in Aufnahme und Auswertung) noch vor uns.

Vor diesem Hintergrund und beim erreichten oder in Bälde zu erwartenden Stand der Dinge sehe ich – als subjektive Einschätzung im Februar 1987 – für forstliche Zwecke sechs Anwendungsfelder für die Fernerkundung aus dem Weltraum:

1. Schon einsetzbar ist, bei wechselnder, an die örtlichen Gegebenheiten und die zu lösende Aufgabe angepaßter Methodologie, die Weltraumfernerkundung für *Ersterkundungsinventuren, nationale Waldinventuren, regionale Preinvestimentinventuren und die fortlaufende Beobachtung der Waldflächenentwicklung in Großräumen vieler Länder der 3. Welt und des borealen Nadelwaldgürtels der nördlichen Hemisphäre*.

Für forstliche Zwecke in Mitteleuropa besteht Aussicht auf Nutzanwendung in näherer Zukunft für

2. die Herstellung von *regionalen Waldkarten*, z. B. 1:100 000 oder 1:200 000, die im Kartenblattschnitt der topographischen Karten und/oder in Kartenblättern natürlicher Wuchsgebiete bzw. geographischer Naturräume hergestellt und zu einem *landesweiten (europaweiten) Bildkartenwerk* zusammenzufassen sind.

Man muß sich vergegenwärtigen, daß es selbst in der forstwirtschaftlich so gut entwickelten und organisierten Bundesrepublik kein thematisches Kartenwerk gibt, das die Gesamtheit der Wälder des Landes und ihre wesentlichen Bestockungsmerkmale zeigt und das durch fortlaufende, kurzperiodische Erneuerung die Veränderungen des Zustandsbildes der Wälder und damit auch eines wichtigen Teils der Waldlandschaftsökologie zu verfolgen erlaubt.

3. Ein solches Kartenwerk wäre zudem auch eine Grundlage und Quelle für eine laufend fortzuführende *forstliche und landschaftsökologische Datenbank*. Es kann in engem Zusammenhang gesehen werden mit einem umfassenden geographischen Informationssystem für unsere Länder, Staaten oder für Völkergemeinschaften.

In einem *geographischen Informationssystem* werden Informationen/Daten verschiedener Informationsebenen/-quellen über Status quo und Entwicklungen in einem Raum lagedefiniert und fortführbar gesammelt, gespeichert und geordnet. Es erlaubt Verknüpfungen verschiedener Informationsebenen bzw. Informationen und ist so aufgebaut, daß umfassende, vielfältige Zustands- bzw. Entwicklungsanalysen und Wirkungsprognosen möglich werden.

4. Die Herstellung von *Forstbetriebs-Übersichtskarten* 1:100 000 bis 1:50 000 – wie sie für staatliche Forstbezirke in der Bundesrepublik Deutschland üblich sind und im Zuge der Forsteinrichtung im 10jährigen Turnus angefertigt werden. Die Übersichtskarten dienen vor allem Forstverwaltungszwecken und den hoheitlichen Aufgaben der staatlichen Forstämter. Sie zeigen, in topographische Karten eingezeichnet, die Waldverteilung im Forstbezirk und die Waldbesitzverhältnisse.

Die Bestockungsverhältnisse oder Unterschiede in der Bestockung sind bisher nicht dargestellt. Mit eingefügten Waldbesitzgrenzen und Ortsbeschriftungen könnten Satellitenbildkarten in Form von Colorkompositen oder von digital klassifizierten thematischen Karten die bisherigen, begrenzt aussagefähigen Betriebsübersichtskarten ersetzen. Sie würden zusätzlich ein Bestockungsbild mit den wesentlichsten Bestockungsunterschieden und Strukturmerkmalen der Wälder (Größe und räumliche Ordnung usw.) vermitteln.

5. Für großräumige (landesweite oder europaweite) permanente Waldinventuren, die das Ziel verfolgen, die forstlichen Ressourcen (Flächen, Holzvorräte, Zuwachspotentiale) zu inventarisieren und ihre Entwicklung durch periodische Wiederholung der Aufnahmen zu verfolgen, können Weltraumfernerkundungsdaten in einem mehrphasigen oder mehrstufigen Inventurverfahren die Informationsquelle für die erste, flächendeckende Phase bzw. Stufe sein. Entsprechende Vorschläge wurden schon früher vorgestellt (HILDEBRANDT 1981, 1983) und haben inzwischen durch die wesentliche Verbesserungen, die durch die Satellitendaten der jetzigen Generation erreicht wurden (Landsat TM, SPOT HRV), an Gewicht und Realitätsbezogenheit gewonnen.

6. Ein Sonderfall großräumiger Waldinventuren ist die Erhebung von Waldschäden. Hier könnten schon bald computergestützte Verfahren der Auswertung multispektraler Satellitendaten zur Verfügung stehen, die eine flächendeckende Darstellung der Schadsituation,

zumindest die Darstellung und Verfolgung der Entwicklung der schwereren und schweren Waldschäden (z. B. Klasse 2 bis 4 der gegenwärtigen Einteilung) anbieten. Sie wären eine interessante Ergänzung zu herkömmlichen Stichprobeerhebungen der Schadsituation.

Am Anfang war die Frage gestellt worden, ob die Fernerkundung aus dem Weltraum für die Forstwirtschaft hierzulande und die Waldwirtschaft auf diesem Planeten insgesamt ein Spiel oder Werkzeug sei. Am Ende dieser Ausführungen kann – unbeschadet noch vieler notwendiger Entwicklungen und Forschungsarbeiten – nur festgestellt werden, daß es sich um ein Werkzeug handelt, welches man zu beherrschen und sinnvoll anzuwenden lernen muß. Dies vor allem auch angesichts der steigenden Bedeutung und immer drängender werdenden Notwendigkeit, die enger werdenden Lebensräume, die zunehmend gefährdete Umwelt und die sich verminderten Ressourcen durch fortlaufende Beobachtung ihrer Entwicklung unter Kontrolle zu nehmen, um überall in der Welt eine verantwortungsbewußte nachhaltige Benutzung der Lebensräume, der Umwelt und der Ressourcen zu ermöglichen und zu sichern.

### Danksagung

Der Beitrag hat bewußt dort, wo es sachlich möglich war, auf Arbeiten früherer und jetziger Mitarbeiter und dabei auch mit deren Zustimmung auf noch Unveröffentlichtes oder im Druck Befindliches zurückgegriffen. Ich danke Herrn Dr. SCHADE, Dr. KADRO, Dr. FORSTREUTER sowie H. J. STIBIG und M. SCHARDT für ihr Entgegenkommen und bei dieser Gelegenheit ebenso Dr. C. M. CARNEIRO und Dr. TZSCHUPKE für die Jahre guter Zusammenarbeit.

Ein besonderer Dank gilt Dr. MARKWITZ, Dr. WINTER und Herrn KEIL von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen dafür, daß sie aus unserer Zusammenarbeit bei der DFVLR entstandenes Bildmaterial (Abb. 9–11) zur Verfügung stellten und den Farbdruck finanziell ermöglichten. Vielmals danke ich auch Dr. HAYDN, Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung (GAF) in München, für die zusätzlich für meinen Vortrag zur Verfügung gestellten Diapositive.

### Zusammenfassung

Es wird berichtet, welche Fernerkundungsaufzeichnungen aus dem Weltraum zur Zeit zur Verfügung stehen und was realistisch bis zum Ende des Jahrhunderts an Entwicklungen zu erwarten ist. Für die gegenwärtig aus forstlicher Sicht wichtigsten zivilen operationellen Aufnahmesysteme, den Landsat TM und den SPOT HRV, wird der Informationsgehalt der Aufzeichnungen diskutiert. Dabei werden einige Grundinformationen über die Art der Aufzeichnungen und deren Verbesserungsmöglichkeiten gegeben.

Die Kapazität der rechnergestützten Auswertungen dieser TM und SPOT-HRV-Daten wird anhand neuester Ergebnisse vorgeführt. Beispiele praktischer Anwendung von Fernerkundung aus dem Weltraum für großräumige Waldinventuren und Beobachtungen der Waldentwicklung in der Sowjetunion, in Canada, Brasilien und auf den Philippinen werden vorgestellt.

Eine abschließende Einschätzung gegenwärtiger und künftiger Einsatzmöglichkeiten führt zu dem Ergebnis, daß Fernerkundung aus dem Weltraum heute schon in extensiv bewirtschafteten Großräumen der Erde ein wichtiges Werkzeug für Inventur- und Beobachtungsaufgaben ist. Für die Forstwirtschaft in Mitteleuropa werden fünf Anwendungsgebiete genannt, für die in näherer Zukunft Aussichten auf sinnvolle Nutzung der aus dem Weltraum aufgenommenen Fernerkundungsdaten bestehen.

### Summary

#### *Remote sensing from space – Toy or tool for forestry?*

This is a report on civilian remote sensing systems which are actually in operation from space, and on what may realistically be expected in the next decade. The content of information in the

data from Landsat TM and SPOT HRV, which are most important systems today, is discussed together with some basic information on type of records and possible improvements.

The capacity of computer-aided evaluation of TM- and SPOT HRV-data is shown with latest classification results. Examples for practically applied remote sensing from space for large-area inventories and monitoring of forest land in the Sowjet Union, in Canada, Brazil, and in the Philippines are presented.

A concluding assessment of actually possible and of future applications lead the conclusion that already today remote sensing from space is an important inventorying and monitoring tool for extensively managed large forest regions. Finally, five fields of future useful application of remote sensing from space for central European forestry are defined.

### Literatur

- ALLEN, P. T. E., 1975: The use of side looking airborne RADAR imagery for tropical forest surveys. FAO paper Fo: MISC. 75/10, 1975.
- BAHR, H. P. (Hrsg.), 1985: Digitale Bildverarbeitung. H. Wichmann Verl. Karlsruhe 1985.
- BALTAXE, R., 1980: The application of Landsat data to tropical forest surveys. FAO Publ. FOR: IF/INT/333 (WE) 1980.
- CARNEIRO, C. M., 1981: The National Forest Cover Monitoring Programme of Brazil. Proc. XVII IUFRO-World Congress 1981, Part: Forest Resources Inventory ... 1981.
- ESA-Land Applications Working Group 1986 a: Remote Sensing for advanced land applications. ESA Publication SP-1075 Juli 1986.
- ESA POPE-Report 1986: Earth observation requirements for the Polar Orbiting Platform elements of the international space station. Paris 1986.
- FÖRSTREUTER, W., 1986: Untersuchungen zum Einsatz von Weltraumluftbildern (Spacelab RMK-Aufnahmen) für großräumige Inventuren extensiv bewirtschafteter Wälder. Diss. Freiburg 1986.
- HERDA, K., 1978: Applications of multispectral photography using MFK-6 and MSP-4. Proc. Int. Symp. on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment. Freiburg 1978. Vol. I, S. 155–160.
- HILDEBRANDT, G., 1973: Zum Einsatz von Erderkundungssatelliten für supranationale Inventuren der Wälder und landwirtschaftlichen Nutzflächen. Raumfahrtforschung 17, 1973, S. 164–168.
- HILDEBRANDT, G., 1981: Proposal for a permanent European forest inventory system. Proc. XVII. IUFRO-World Congress 1981. Part: Forest Resources Inventory.
- HILDEBRANDT, G., 1983: Consideration on a permanent inventory and monitoring system for European forests. Proc. EARSeL/ESA Symp. on Remote Sensing Applications für Environmental Studies, ESA-SP-188, 1983, S. 13–18.
- HILDEBRANDT, G., 1984: Kap. 5.5: Auswertung nichtphotographischer Aufzeichnungen. In: HUSS (Hrsg.) Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. H. Wichmann Verl. Karlsruhe 1984.
- HILDEBRANDT, G.; RHODY, B., 1984: Kap. 7.3: Anwendung der Fernerkundung bei forstlichen Großrauminventuren. In: HUSS (Hrsg.) Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. H. Wichmann Verl. Karlsruhe 1984.
- HILDEBRANDT, G.; KADRO, A.; KUNTZ, S.; KIM, C., 1987: Entwicklung eines Verfahrens zur Waldschadensinventur durch multispektrale Fernerkundung. Forschungsbericht KFK-PEF 1987.
- HORNE, A. I. D.; HILDEBRANDT, G.; KESSLER, R., 1984: Use of SAR 508 data in the forestry discipline. Discipline leader report of the SAR 508 project. Farnham, Surrey and Freiburg 1984.
- KESSLER, R., 1985: Radarbildinterpretation für forstliche Anwendung und Landnutzungsinventur. Diss. Freiburg 1985.
- KIRCHHOF, W.; MAUSER, W.; STIBIG, H. J., 1985: Untersuchung des Informationsgehaltes von Landsat TM und SPOT-Multiband-Bilddaten mit simulierten multispektralen Bilddaten des Gebietes Freiburg. DFVLR-FB 85–49 Forschungsbericht 1985.
- LABAU, V. J.; SCHREUDER, H. T., 1983: A multiphase, multiresource inventory procedure for assessing renewable resources and monitoring change. Proc. Int. Conf. on Renewable Resources Inventories for Monitoring Change and Trends. Corvallis 1983, S. 456–459.
- LANGLEY, P. G., 1975: Multistage variable probability sampling: Theory and use in estimating timber resources from space and aerial photography. Ph. D. thesis. Ann Arbor 1975.
- LANGLEY, P. G.; ALDRICH, R. C.; HELLER, R. C., 1969: Multistage sampling of forest resources by using space photography. Proc. 2<sup>nd</sup> Ann. Earth Resources Aircraft Program Review. NASA, MSC Houston 1969.
- LILLESEND, F. M.; KIEFER, R. W., 1979: Remote Sensing and Image Interpretation. New York, Chichester, Brisbane, Toronto 1979.
- MBB 1986: Advanced optoelectronic instruments for earth observations. Präsentationspapier 1986.
- SCHADE, J., 1980: Ein mehrphasiges Stichprobensystem für forstliche Großrauminventuren, gestützt auf Landsat-MSS-Daten, Luftbilder 1:50 000 und ergänzende terrestrische Messungen. Diss. Freiburg 1980.

- SCHÄDE, J., 1987: Mehrstufige Stichprobeverfahren in den Tropen – Erfahrungen der Philippinischen Nationalwaldinventur. Vortragmanuskript Freiburg 1987.
- SCHÄDE, J.; DALANGIN, 1985: The Philippine National Inventory. Monitoring Forest Resources by Remote Sensing. Proc. IUFRO 4.02/6.05 Conference Inventorying and Monitoring Endangered Forests. Zürich 1985, S. 105–108.
- SCHWILL, U., 1980: Über die Anwendung von Luftbildern in der Praxis der deutschen Forsteinrichtung. Dipl. Arb. Forstwiss. Fakultät Freiburg 1980.
- STIBIG, H. J., 1987: Untersuchung zum Anwendungspotential von SPOT- und TM-Daten für die digitale land- und forstwirtschaftliche Landnutzungsklassifikation anhand von Simulations- und Originaldaten. Noch nicht veröffentlichtes Manuskript. Freiburg 1987.
- SUKHikh, V. I., 1980: Forest remote sensing system. Int. Arch. of Photogrammetry, Vol. XXIII B.8, S. 894–899, Hamburg 1985.
- SUKHikh, V. I.; LJAKHOV, V. A.; POPOV, L. I., 1984: Experimental operations on piloted spaceships and long term orbital stations for forestry interests. UN Int. Training Workshop on Earth Remote Sensing Data, Practical Applications for Forestry. Moskau 1984.
- TZSCHUPKE, W., 1987: Forstliche, rechnergestützte Bildauswertung – aktuelle Möglichkeiten, Probleme und Perspektiven. Vortragmanuskript. Freiburg 1987.
- ULABY, E. T.; MOORE, R. K.; FUNG, A. K., 1981: Microwave remote Sensing; active and passive. Vol. 1 Microwave remote sensing fundamentals and radiometry. Addison-Wesley Publ. Comp. Reading/Mass. 1981.
- ZSILINSKI, V. G.; PALA, S.; JANO, A. P., 1981: Remote sensing research serves forest management. Proc.: IUFRO-World Congress. Part. Forest Resources Inventory ... 1981.

## Modelle der betriebsweisen Inventur

Von D. R. PELZ

### 1 Einleitung

Die Forsteinrichtung kann in Mitteleuropa auf eine sehr lange Tradition verweisen, Verfahren für Planung und Kontrolle konnten immer weiter verfeinert werden. Wesentliches Merkmal dieser Verfahren ist, daß Einzelplanungen für Behandlungseinheiten, Teilflächen oder Bestände durchgeführt werden, zusätzlich zur Gesamtplanung. Diese Informationen werden für diese Einheiten durch Aufnahme oder Schätzungen gewonnen, für den gesamten Forstbetrieb werden die Daten aufaddiert.

Der Aufwand für die Zustandserfassung ist sehr hoch, die Qualität der Daten oftmals unzureichend. Wie ZÖHRER (1980) schreibt: „Die herkömmlichen bestandesweise durchgeführten Inventuren im Zuge der Forsteinrichtung erfüllen nicht die neuzeitlichen Forderungen nach Objektivität und Flexibilität der bereitgestellten Informationen und nach größtmöglicher Effizienz der Erhebung.“

Seit mehreren Jahren werden deshalb Alternativen der Zustandserfassung diskutiert, die sich unter zwei Hauptthemen zusammenfassen lassen: 1. bestandesweise Inventur, 2. betriebsweise Inventur.

### 2 Bestandesinventur

Bei der bestandesweisen Zustandserfassung, wie sie heute weitgehend üblich ist, wird für den Einzelbestand (Teilfläche) neben Holzbodenfläche, Bestandestyp, Alter, Baumartenmischung und Ertragsklasse auch der Vorrat angegeben. Dieser Vorrat wird für junge und mittelalte Bestände geschätzt, okular oder mit Ertragstafeln, fortgeschrieben aus früheren Aufnahmen, in geringem Umfang mit Stichproben ermittelt, oder, in Altbeständen, durch Vollaufnahmen.