

## DAS ERDWISSENSCHAFTLICHE FLUGZEUGMESSPROGRAMM (FMP) DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

M. Schroeder, Oberpfaffenhofen

### 1. Einleitung

Die ersten konkreten Überlegungen für ein deutsches Fernerkundungsprogramm gehen auf das Jahr 1972 zurück. Dies war das Jahr, als die NASA den ersten Erkundungssatelliten LANDSAT startete und sich damit eine neue Periode der globalen Überwachung der Erde vom Weltraum aus abzuzeichnen begann. Die deutschen Geowissenschaftler hatten von Anfang an den Wunsch, sich an dieser Entwicklung zu beteiligen. Um aber den Anschluß an den internationalen Stand auf diesem Gebiet zu erreichen, genügte es nicht, sich nachvollziehend an amerikanischen Projekten zu beteiligen; es mußten vielmehr eigene wissenschaftliche Beiträge geliefert werden.

Übertragen auf deutsche Größenordnungen und die finanziellen Möglichkeiten, führten diese Überlegungen damals zum Vorschlag für ein "Erdwissenschaftliches Flugzeugmeßprogramm" (FMP). Diese Bestrebungen einer ganzen Reihe geowissenschaftlicher Institute wurden von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) aufgegriffen und technisch realisiert. Nach zwei Jahren vorbereitender Planungen hat sich der Bundesminister für Forschung und Technologie 1974 entschlossen, dieses Programm mit 11 Mio. DM zu fördern.

Nach weiteren zwei Jahren, die zum Aufbau der technischen Systeme benötigt wurden, begannen die eigentlichen Untersuchungen im Herbst 1975; sie hatten ihren Schwerpunkt im Jahr 1976 und haben mit einigen Nachbefliegungen noch bis zum Sommer dieses Jahres gedauert.

Mit der Auswertung des gewonnenen Untersuchungsmaterials werden die beteiligten Wissenschaftler sicher noch einige weitere Jahre beschäftigt sein.

Vom 29. bis 31. August 1977 hat in Hannover ein Symposium stattgefunden, bei dem erste Ergebnisse aus dem Flugzeugmeßprogramm präsentiert wurden. In über 50 Vorträgen wurde über die verschiedenartigsten Anwendungen referiert. Diese Zahl möge verdeutlichen, daß dieses Programm ein weitgefächertes Nutzungsspektrum umfaßt und daß daher in diesem Übersichtsvortrag unmöglich auf alle Details eingegangen werden kann.

### 2. Zielsetzung

Ziel des Programmes war es, die deutschen Fernerkundungsnutzer auf eine zukünftige Beteiligung an internationalen Satellitenprojekten zur globalen und regionalen Überwachung der Umwelt vorzubereiten. Dazu sollten die folgenden Teilaufgaben durchgeführt werden:

- a) Erprobung multispektraler Aufnahmeverfahren
- b) Entwicklung digitaler Bildverarbeitungsverfahren
- c) Anwendung auf geowissenschaftliche Probleme
- d) Schlußfolgerungen für technologische Entwicklungen
- e) Entwicklung geeigneter Organisationsformen und interdisziplinärer Zusammenarbeit.

Dieser Zielsetzung lag folgende Vorstellung zu Grunde:

- 1) Es wird in Zukunft globale Erdbeobachtungssysteme mittels Satelliten geben, an denen sich aus ökonomischen Gründen auch die BRD beteiligen sollte.
- 2) Auch innerhalb globaler Satelliten-Beobachtungssysteme werden Fernerkundungsverfahren vom Flugzeug aus für regionale Aufgaben ihre Bedeutung behalten.

Um mit diesem Projekt den Anschluß an den internationalen Stand der Fernerkundung herzustellen, galt es also, in möglichst kurzer Zeit die notwendigen Geräte bereitzustellen und eine multidisziplinäre Nutzergemeinschaft zu bilden. Dies ist in zweieinhalbjähriger Vorbereitung bis 1975 erfolgt.

Es war von Anfang an klar, daß dieses Programm eine Kombination von methodischen Untersuchungen und experimenteller Anwendung von Fernerkundungsverfahren sein würde, wobei der Schwerpunkt auf den methodischen Untersuchungen liegen sollte.

### 3. Das Fernerkundungssystem

Abbildung 1 stellt die einzelnen Teile des Fernerkundungssystems dar: die Aufnahmen werden vom Flugzeug und vom Satelliten aus gewonnen. Im Gelände werden stichprobenartige Kontrollmessungen durchgeführt, die mit den Fernaufnahmen korreliert werden. Im Satellit und im Flugzeug werden gleichartige Aufnahmegeräte eingesetzt, nämlich multispektrale Zeilenabtaster, deren Meßdaten auf Magnetband aufgezeichnet werden. Diese Daten werden dann mit Bildverarbeitungsanlagen, die hauptsächlich aus Computern und Bildwiedergabegeräten bestehen, verarbeitet, und als Ergebnis wird ein spezielles Bild, eine thematische Karte oder auch eine Liste herausgegeben.

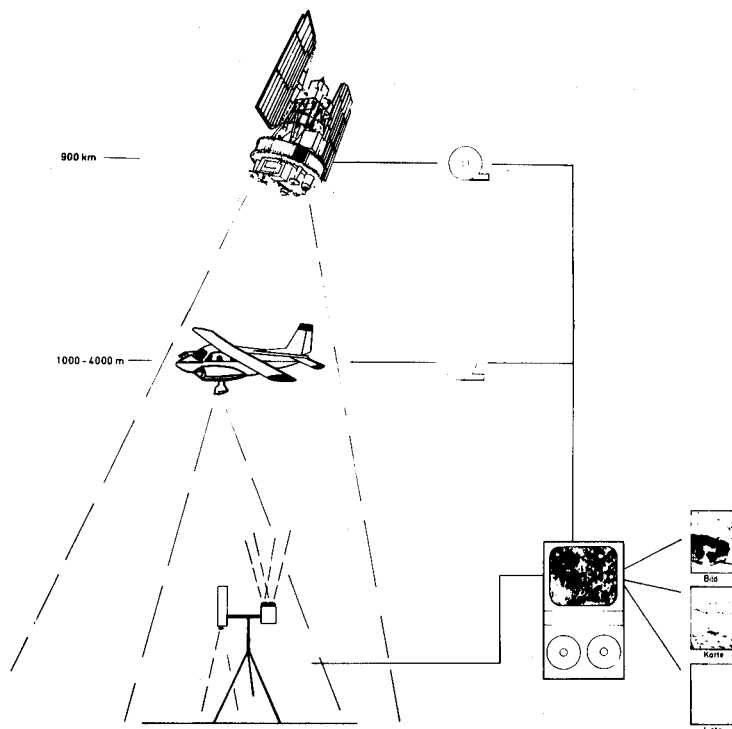


Abb. 1 Das Fernerkundungssystem

#### 4. Meß- und Auswertesysteme

Es wurden bis auf den Satelliten alle anderen Komponenten des Fernerkundungssystems mit Schwergewicht bearbeitet und für die Untersuchungen eingesetzt. Der Satellit konnte deshalb nicht voll genutzt werden, weil die regelmäßige Versorgung mit Daten der LANDSAT-Satelliten nicht sichergestellt war, sondern nur sporadisch per Bestellung in den USA erfolgte.

##### 4.1) Das Meßflugzeug

An zentraler Stelle im FMP standen die Aufnahmeverfahren vom Flugzeug aus. Als Meßflugzeug wurde speziell für dieses Programm eine Skyservant Do-28D2 mit einem integrierten Sensorsystem ausgerüstet. Es enthält als bildaufnehmende Sensoren einen multispektralen Zeilenabtaster, eine Reihenmeßkammer und 6 Hasselblad-Kameras für multispektrale Fotografie, sowie zwei Radiometer [1].

Alle Geräte sitzen auf je einem Driftrahmen, der vom Navigationssensor oder direkt von der Avionik angesteuert werden kann. Die Bedienung und Kontrolle der Geräte erfolgt von einer Konsole aus, die sich vorne, hinter dem Piloten befindet.

Zur Korrelation der Aufnahmen untereinander und zum Vergleich mit anderen Meßdaten werden Zeitsignale, die von einem Zeitcodegenerator kommen, mit Leuchtdioden optisch gewandelt und mit einer Genauigkeit von 1/100 Sekunden auf die Filme aufgeblendet.

Das Hauptgerät der Sensor-Ausrüstung ist ein 11-Kanal-Zeilenabtaster vom Typ M<sup>2</sup>S der Firma Bendix. 7 Kanäle liegen im Sichtbaren, 3 im nahen Infrarot und einer im thermischen Infrarot.

Das momentane Gesichtsfeld hat eine Größe von 2,5 mrad und der effektive Abtastwinkel beträgt 100°, wobei 803 Bildelemente pro Zeile registriert werden. Tatsächlich werden aber jeweils 120° abgetastet, wodurch eine Rollkompensation von 10° in jeder Richtung möglich wird. Bei diesem Abtastertyp ist die Winkelgeschwindigkeit des Abtastspiegels variabel einstellbar zwischen 10 und 100 Umdrehungen pro Sekunde, je nach dem v/h - Verhältnis.

Die vom Abtaster aufgenommenen Meßwerte für die einzelnen Bildpunkte werden registriert und erscheinen am Ausgang des Gerätes in 8-bit-Form. Die Aufzeichnung der Daten erfolgt auf ein 14-Spur-Magnetband, und zwar ist die Geschwindigkeit des Magnetbandes derart mit der Drehgeschwindigkeit des Abtastspiegels gekoppelt, daß die Aufzeichnung immer mit konstanter Dichte von 10-bit/inch und Spur erfolgt. Auf den ersten 11 Spuren des Magnetbandes werden die 11 Spektralbereiche aufgezeichnet, während die restlichen 3 Spuren für Zusatzdaten zur Verfügung stehen.

Als Zusatzdaten werden z.B. für jede Abtastlinie die Fluglagedaten und ein Zeitsignal aufgezeichnet.

In diesem Programm ist der multispektrale Abtaster als neuartige Technologie anzusehen; die Kameras dagegen stellen konventionelle Technologie dar und sind für Sensorvergleichszwecke mit eingesetzt worden. Zu diesem Vergleich ist folgendes zu bemerken:

Die Reihenmeßkammer wird aufgrund ihrer geometrischen Genauigkeit, ihres hohen Auflösungsvermögens und in Verbindung mit dem Farbinfrarot-Film auch zukünftig zur Standardausrüstung von Fernerkundungs-Aufnahmesystemen gehören.

Die Reihenmeßkammer ist vor allen Dingen dort gefragt, wo es um die genaue Geometrie geht, während der multispektrale Zeilenabtaster dort Vorteile besitzt, wo es in Verbindung mit Bildverarbeitung um die thematische Darstellung des Bildinhaltes geht. Beide Geräte können als sich ergänzende Sensoren angesehen werden, die RMK für genauere Geometrie und der Abtaster für höhere spektrale Auflösung.

Dagegen hat sich die multispektrale Fotografie als wenig geeignet für routinemäßige Anwendung erwiesen. Jedenfalls steht ihre Bedeutung in diesem Programm, gemessen an der Nachfrage der beteiligten Wissenschaftler, stark hinter dem multispektralen Abtaster zurück.

#### 4.2) Messungen im Gelände

Der nächste Teil des Fernerkundungssystems (s. Abb. 1) sind die Geländekontrollmessungen, die den physikalischen Grundlagenteil der Fernerkundung bilden. Hierbei werden gleichzeitig mit den Befliegungen möglichst alle die Fernmessung beeinflussenden Parameter am Boden erfaßt. Gemessen werden z.B. folgende Größen:

- einfallende Strahlung
- Reflexionsgrad des Aufnahmeobjekts
- Transmissionsgrad der Atmosphäre
- atmosphärisches Streulicht

Abbildung 2 zeigt die spektrale Verteilung dieser Meßwerte.

Als Meßgeräte werden vorwiegend Spektralradiometer eingesetzt, die Bestandteil eines mobilen Meßlabors sind. Dieses Meßlabor besteht aus zwei Wagen, von denen einer die Meßgeräte, die Stromversorgung und die Datenaufzeichnung trägt und der andere mit einer ausfahrbaren Hebebühne ausgestattet ist, von der aus Reflexionsmessungen gemacht werden.

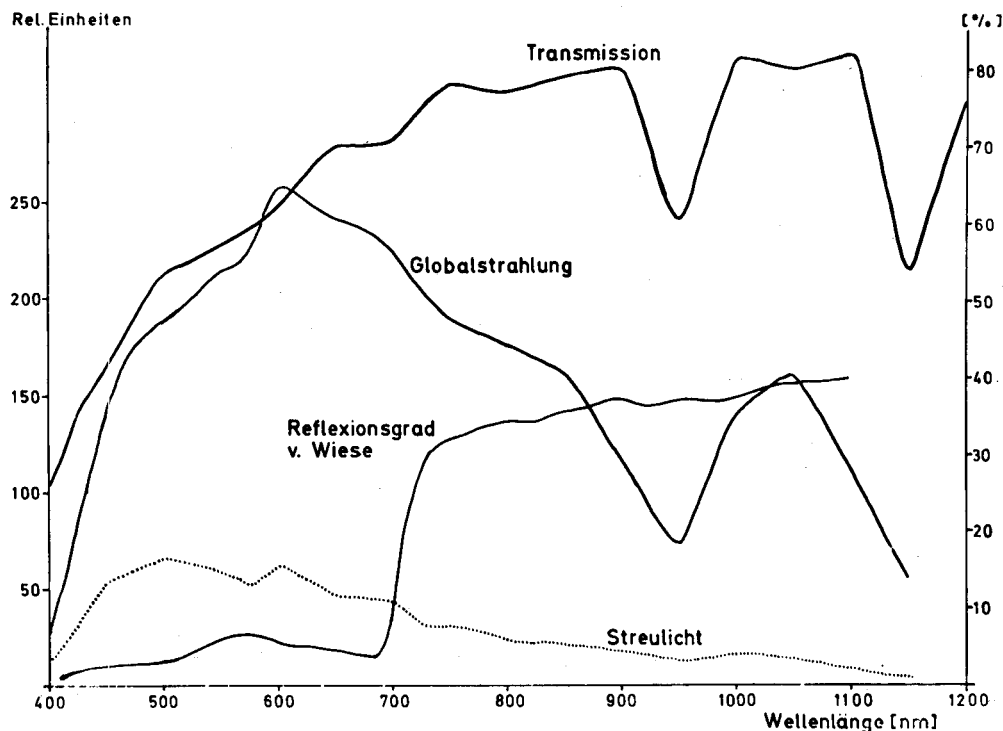


Abb. 2 Radiometrische ground truth-Messungen

Ziel dieser Messungen ist es:

- a) einen Katalog mit dem spektralen Reflexionsvermögen natürlicher Oberflächen zusammenzustellen und
- b) anhand der gemessenen Größen ein Modell zu entwickeln, mit dem Bilder des multispektralen Abtasters radiometrisch so korrigiert werden können, daß das Auswertergebnis weitgehend unabhängig wird von den zufällig vorhandenen Umweltbedingungen, wie z.B. Beleuchtung und Atmosphärenzustand.

Die Auswertung der vorhandenen Messungen wird sicherlich noch über ein Jahr in Anspruch nehmen. Bisher sind die radiometrischen Messungen nur in Einzelfällen, nicht aber routinemäßig zur Auswertung herangezogen worden.

Ihre Bedeutung dürfte in Zukunft in Verbindung mit der Verfeinerung der automatischen Bildklassifizierungsverfahren zunehmen.

#### 4.3) Bildverarbeitung

Der dritte Teil des Fernerkundungssystems (Abb. 1), der in diesem Programm mit Nachdruck vorangetrieben wurde, ist die digitale Bildverarbeitung.

Hierzu jedoch noch eine Vorbemerkung:

Um die großen Mengen an Daten des multispektralen Abtasters einwandfrei auswerten zu können, bedarf es zunächst einmal eines gut funktionierenden Systems zur Datenaufbereitung, d.h. zur Umsetzung der im Flugzeug bzw. Satelliten aufgezeichneten Rohdaten des Abtasters in computer-compatible Magnetbänder (CCT's) und in Bilder, unter Einschluß einfacher Korrekturverfahren. Zu einem solchen System gehört ferner die Archivierung und die Verteilung des Datenmaterials an die Nutzer. Von einem solchen System muß man verlangen, daß es große Mengen Daten in kurzer Zeit mit einwandfreier Qualität aufbereitet. Ein solches System ist für das FMP bei der DFVLR in Oberpfaffenhofen aufgebaut worden und hat schon während dieses Programms operationell gearbeitet.

Die aufbereiteten Abtaster-Aufnahmen wurden den Nutzern in diesem Programm in folgender Form zur Verfügung gestellt: Alle 11-Spektralbereiche werden parallel nebeneinander auf 2 Filmbältern ausgegeben. Die Filmbälter haben eine Originalgröße von 50 x 32 cm<sup>2</sup>, und jeder Streifen ist 7 cm breit und mit einem 32-stufigen Graukeil versehen. Die Ausgabe erfolgt so, daß alle Streifen den gleichen mittleren Grauwert besitzen. Die Aufnahmen sind panoramaentzerrt und enthalten pro Streifen 3200 Zeilen. Weitere Zusatzinformationen sind auf der Kopfleiste der Filmbälter eingeblendet [2].

Doch zurück zur Bildverarbeitung !

Ziel der digitalen Bildverarbeitung in diesem Programm war es, unter Ausnutzung des unterschiedlichen Spektralverhaltens verschiedener Objekte Verfahren zu entwickeln, die einen Großteil der Auswerteschritte automatisieren, und so dem interpretierenden Fachmann das Extrahieren der semantischen Information aus den Bildern erleichtert. Hierzu mußten Algorithmen zur Bildmanipulation (image enhancement) und zur Klassifizierung entwickelt werden.

Aus Erfahrungen, die aus den USA vorlagen, wußte man, daß Versuche zur vollautomatischen Auswertung nicht den gewünschten Erfolg gebracht hatten. Man hat sich deshalb in diesem Programm für einen halbautomatischen, besser: für ein interaktives System entschieden. Bei diesem System kann man die einzelnen Verarbeitungsschritte am Bildschirm verfolgen und bei Bedarf über den Bildschirm in den Bearbeitungsprozess eingreifen. Für experimentelle Zwecke ist ein solches interaktives Bildverarbeitungssystem unter dem Namen DIBIAS (Digitales Bildauswertesystem) bei der DFVLR in Oberpfaffenhofen installiert worden [3].

Das Bildverarbeitungs-Programmpaket des Systems umfaßt bis jetzt über 100 Programme, die sich grob in Bildmanipulationsprogramme und in Programme zur Klassifizierung einteilen lassen. Zur ersten Kategorie zählen z.B. Änderung

der Grauwertverteilung, Kontrastanhebung, Äquidensiten, Quotientenbilder und ähnliche Filteroperationen, die inzwischen zum Standard der Bildverarbeitung gehören.

Zur Klassifizierung sind die bekannten Programme nach der Maximumlikelihood- und der Minimum-Distance - Methode implementiert worden, die kontrolliert (supervised) und unkontrolliert (unsupervised) angewandt werden können. In der Mehrzahl der Fälle wird jedoch "supervised" gearbeitet. Hierbei werden auf dem Bildschirm vom Auswerter sogenannte "Trainingsflächen" mit einem Lichtgriffel (lightpencil) markiert. Die in einer Trainingsfläche enthaltenen spektralen und texturalen Merkmale definieren dann eine Klasse, und der Rechner hat dann die Aufgabe, alle Bildpunkte, die diese Merkmale besitzen, dieser Klasse zuzuordnen. Auf diese Weise ist es möglich, ein Bild in bis zu 15 Klassen zu unterteilen.

Die Auswahl der "Trainingsflächen" erfolgt häufig aufgrund von Vorkenntnissen des Auswerters über die zu untersuchende Region und die Eignung der "Trainingsfläche" hängt vielfach von der Erfahrung des Auswerters ab. Das Klassifizierungsergebnis ist deshalb von Auswerter zu Auswerter verschieden. Aber auch bei ausreichender Erfahrung des Interpreten wird das Klassifizierungsergebnis selten 100%ig genau sein. Der Grund liegt darin, daß unterschiedliche Objekttypen ähnliche spektrale und texturale Merkmale aufweisen, die vom Rechner nicht unterschieden werden können und somit Fehlklassifizierungen hervorrufen [4].

Diese Schwierigkeiten bei der Klassifizierung versucht man z.Z. interaktiv zu überwinden. Häufig hat man den Fall, daß in flächengrößere Klassen andere flächenmäßig kleinere Klassen eingestreut sind, die man leicht aufgrund von Vorkenntnissen als Fehlklassifizierung deuten kann. Z.B. können Fehlklassifizierungen in einem Getreidefeld daher rühren, daß an einigen Stellen der Bewuchs nicht gleichmäßig dicht ist; an diesen Stellen schimmert also mehr Boden durch, der dann Mischmerkmale entstehen läßt, die die Fehlklassifizierungen hervorrufen.

Hat man z.B. mitten in einem Getreidefeld eine Klasse "Kartoffeln" eingestreut, so kann man sie mit großer Wahrscheinlichkeit als Fehlklassifizierung deuten, da kein Landwirt in dieser Weise seine Felder bebaut. Mit dieser Vorkenntnis kann man nun nachträglich eine Korrektur vornehmen, indem man das fehlklassifizierte Gebiet auf dem Bildschirm mit einem Lichtpunkt umfährt und den Rechner das umschriebene Gebiet der Klasse seiner nächsten Nachbarn zuordnen läßt. Mit dem gleichen Programm ist es auch möglich, Informationen, die aus anderen Quellen, wie z.B. aus Karten oder statistischen Erhebungen vorliegen, in ein Bild einzufügen. Z.B. wäre es möglich, innerhalb einer als Siedlungs- oder Stadtgebiet erkannten Abbildung nachträglich Lärmschutzzonen zu kennzeichnen [5].

Die digitale Bildverarbeitung hat während des FMP einen Stand erreicht, in dem Klassifizierungsverfahren für verschiedene Anwendungen eingesetzt und dabei weiter verbessert werden. Die Bildverarbeitung befindet sich zwar noch im Forschungsstadium, aber trotzdem sind in dem Programm gerade auf diesem Gebiet methodisch die größten Fortschritte gemacht worden. Man muß dies vor dem Hintergrund sehen, daß zu Beginn der Untersuchungen die Bildverarbeitung nur "Eingeweihten" bekannt war, inzwischen aber nahezu alle beteiligten Wissenschaftler bei der Auswertung Bildverarbeitungsmethoden benutzt haben.

Das DIBIAS-System ist in seiner Leistungsfähigkeit inzwischen durchaus mit führenden Systemen in den USA vergleichbar. Es sei der Vollständigkeit halber erwähnt, daß auch das Forschungsinstitut für Mustererkennung (FIM), Karlsruhe, wesentlich mit digitalen Bildauswerteverfahren am FMP beteiligt ist.

An dieser Stelle soll noch ein geometrisches Problem erwähnt werden, das sich bei Abtasterbildern stellt und während dieses Programms weitgehend gelöst wurde. Bedingt durch die Vergrößerung des Abtastelements mit dem Abtastwinkel erhält man bei unkorrigierten Abtasterbildern eine randliche Stauchung, auch Panoramaverzerrung genannt. Diese durch das Aufnahmesystem

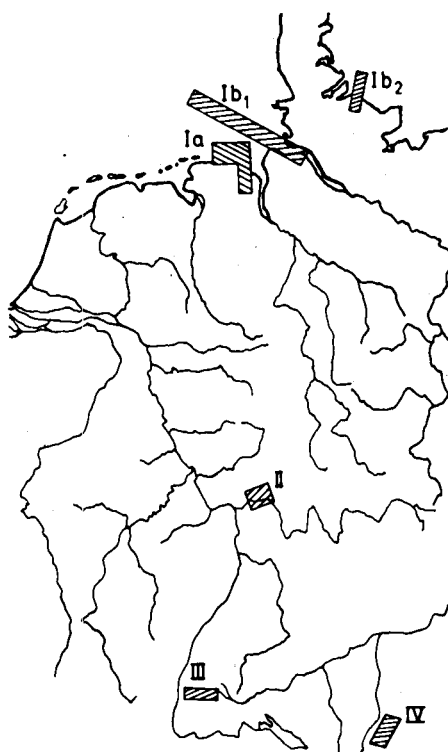
bedingte Verzerrung kann man bei Kenntnis der Systemparameter relativ leicht korrigieren, und dies wird routinemäßig auch bei der Bildausgabe schon gemacht. Das gleiche gilt für affine Verzerrungen, wie sie z.B. durch Over- oder Underscanning auftreten.

Es zeigt sich, daß diese einfachen Korrekturen für die meisten Anwendungen nicht genau genug sind und daß man um strenge geometrische Korrekturen mit Hilfe von Paßpunkten und Kollinearitätsgleichungen nicht herum kommt. Wie Schuhr und Bähr [6], [7] vom Institut für Photogrammetrie in Hannover zeigten, lassen sich damit für Flugzeug-Abtaster-Aufnahmen mittlere Fehler von etwa  $\pm 3$  Bildelementen erreichen.

### 5. Durchführung des Programms

Neben der Erprobung neuer Technologie wurde natürlich auch versucht, die Technologie zur Untersuchung aktueller Umweltfragen zu nutzen. Dazu wurden fünf Testgebiete ausgesucht, die für Fernerkundungsanwendungen besonders geeignet erschienen; diese Gebiete wurden mehrmals befliegen und dabei mit den erwähnten Geräten aufgenommen. Daneben standen vereinzelt auch LANDSAT-Bilder der Testgebiete zur Verfügung.

Abbildung 3 und Tabelle 1 geben einen Überblick über die Lage der Testgebiete und die in diesen Gebieten untersuchten Aufgaben.



#### Testgebiete und Schwerpunktaufgaben

Ia	Ostfriesisches Wattengebiet/Jade	WECHSELBEZIEHUNG KÜSTE/MEER
Ib	Deutsche Bucht/ Kieler Bucht	OZEANOGRAPHIE
II	Untermain/Taunus/ Wetterau	BIOSPHERE EINES BALLUNGS- GEBIETES
III	Oberrheintal / Schwarzwald	VEGETATION UND LAND- NUTZUNGSFORMEN
IV	Alpenrandgebiet	ÖKOLOGIE EINES HOCH- GEBIRGS- RANDGEBIETES

Abb. 3 Testgebiete und Aufgaben des FMP

Testgebiet	Aufgaben	Institute
Jade/Ostfriesisches Wattengebiet	Wechselbeziehung Küste/Meer Tidenhub, Strömung, Versandung, Sedimenttransport Verschmutzung Wattkartierung Eisverhältnisse	<u>Institut für Photogrammetrie und Inge-</u> <u>nieurvermessung, TH Hannover (feder-</u> <u>führend),</u> Wasser- und Schiffsamt, Wilhelmshaven BGR, Hannover Senckenberg Institut, Wilhelmshaven DHI, Hamburg u.a.
Deutsche Bucht Kieler Bucht	Ozeanographie White Cap-Beobachtungen Seegangsmessungen Oberflächentemperatur Chlorophyllverteilung	Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg (federführend) Institut für Meereskunde, Kiel Institut für Hydrobiologie, Uni Hamburg u.a.
Untermain/Taunus/ Wetterau Frankfurt	Biosphäre eines Ballungsgebietes Kaltluftströme Landnutzung Gewässerverschmutzung	Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt (federführend) Senckenberg Institut, Frankfurt Deutscher Wetterdienst, Offenbach Hess. Landeskulturamt, Wiesbaden u.a.
Schwarzwald/ Oberrheintal	Vegetation und Landnutzungsformen Zustand von Wald- und Feldvegetation Identifikation von Pflanzengesell- schaften Klimatologische Untersuchungen	Institut für Forsteinrichtung und forst- liche Betriebswirtschaft, Uni Freiburg (federführend) 3 weitere Institute der Uni Freiburg, Institut für physikalische Weltraumfor- schung, Freiburg, u.a.
Voralpengebiet	Ökologie eines Hochgebirgsrandge- bietes Geologische/hydrologische Langzeit- beobachtungen Multispektralverhalten von Karbonge- stein Klassifizierung von natürlichen Oberflächen Untersuchung zur Datenreduktion	Zentralstelle für Geophotogrammetrie und Fernerkundung, München (federführend) Geographisches Institut, Uni München Institut für Photogrammetrie und Topogra- phie, TH Karlsruhe Institut für Angewandte Geologie, FU Berlin u.a.

Tabelle 1 Testgebiete mit Aufgaben und beteiligten Instituten



In den Testgebieten Ia und Ib war es für viele Aufgaben wichtig, die Oberflächentemperatur des Wassers zu kennen, auf deren Bestimmung sich deshalb ein Teil der Untersuchungen konzentrierte. Es wurden Korrekturverfahren entwickelt, mit denen atmosphärische Einflüsse und Abhängigkeiten vom Scanwinkel weitgehend korrigiert werden konnten. Nach den ersten Auswertungen scheinen absolute Genauigkeiten von  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  bei Flügen aus 3000 m Höhe erreichbar zu sein |8|.

Thermal-Abtaster-Aufnahmen wurden im Gebiet der Jade auch dazu benutzt, die Ausbreitungsvorgänge von Kühlwassereinleitungen eines Kraftwerkes zu verfolgen. Diese Ausbreitungsvorgänge sind über mehrere Tidephasen hinweg beobachtet worden mit dem Ergebnis, daß die vorhergesagte starke horizontale Durchmischung nicht bestätigt werden konnte, sondern eine Ausbreitung der Kühlwasserfahne entlang des Ufers erfolgte.

Zur Untersuchung von Strömungsvorgängen wurden Abtaster-Aufnahmen im Sichtbaren herangezogen, und zwar vornehmlich im roten Spektralbereich, in dem die Kontraste von verschiedenen stark getrübttem Wasser besonders stark hervortreten. Als Indikator für Strömung können dabei Wasserkörper mit verschiedenen starker Trübstoff-Konzentration dienen, die sich längs der Strömung ausbilden. Bei der Bildauswertung wurden über der Wasseroberfläche Äquidensiten zweiter Ordnung, die zu einer linienhaften Darstellung führen, erzeugt und das Bild über Paßpunkte entzerrt. Durch Vergleich mit Strömungs-Schwimmermessungen und durch Beobachtung über mehrere Tidephasen wurde gezeigt, daß die im Bild entstandenen Linien mit guter Genauigkeit als Strömungslinien gedeutet werden können |9|.

Weitere Untersuchungen im Küstengebiet erstreckten sich auf die Klassifizierung und Kartierung von Watt-Typen aus Abtaster- und RMK-Aufnahmen. Diese Untersuchungen sind Bestandteil einer Langzeitbeobachtung der Ökologie des Wattengebietes und laufen daher noch weiter. Bis jetzt wurde der Nachweis erbracht, daß die Klassifizierung des Wattgebietes mit Mitteln der Bildverarbeitung aus multispektralen Aufnahmen möglich ist.

Das Testgebiet II im Frankfurter Raum wurde ausgesucht, um die Möglichkeiten der Fernerkundung für die Regionalplanung in einem industriellen Ballungsgebiet zu testen. Insbesondere geht es darum, die Informationen über die Landnutzung in diesem Raum für Planungszwecke immer auf dem neuesten Stand zu halten. Hierzu werden Klassifizierungsverfahren auf Satelliten- und Flugzeug-Abtasteraufnahmen angewandt. Ein Ausschnitt einer LANDSAT-Aufnahme des Frankfurter Raums vom 9.8.1975 wurde z.B. in sieben Landnutzungsarten klassifiziert. Diesen Klassen wurden 98 % aller Bildpunkte zugeordnet. Das Ergebnis wurde überprüft, und die erzielte Genauigkeit der einzelnen Klassen geht von ca. 60 % bei Wiesen bis zu ca. 90 % bei bebauten Flächen. Aus Flugzeug-Abtasteraufnahmen wurden Klassifizierungen in bis zu 10 Landnutzungsarten durchgeführt, die derzeit auf ihre Genauigkeit hin untersucht und mit den Satellitenbild-Auswertungen verglichen werden.

Als weitere Anwendung wurde in Frankfurt die Erwärmung des Mains durch Kühlwassereinleitungen ermittelt. Nachdem der Main im Bereich des Kraftwerkes Staudinger mehrfach zu verschiedenen Nachtzeiten und bei unterschiedlichen Wasserdurchflußmessungen überflogen wurde, war es möglich, eine Art von Flußwärmekarte herzustellen, die exakte Aussagen über die Verteilung von Oberflächen-Temperaturen in diesem Teil des Flusses erlauben. Es stellte sich heraus, daß bei geringem Wasserdurchfluß (ca.  $50 \text{ m}^3/\text{Sek.}$ ) die Warmwasserfahne sehr schnell vom Auslaßkanal über den ganzen Fluß auf das gegenüberliegende Ufer driftet und sich relativ schnell mit dem übrigen Flußwasser vermischt. Im Winter, bei hohem Wasserdurchfluß (ca.  $300 \text{ m}^3/\text{Sek.}$ ) wird die Warmwasserfahne dagegen an einem Ufer durch die Strömung festgehalten und bleibt lange erhalten |10|.

Das Testgebiet III erstreckt sich vom Hochschwarzwald bis in die Oberrheinebene mit der Stadt Freiburg und dem vorgelagerten Kaiserstuhl. Die in diesem Testgebiet tätige Experimentatorengruppe hat besonders Fragen der Forst- und Landwirtschaft, sowie der Klimatologie untersucht. Als Anwendungsbeispiel soll eine Untersuchung im Weinbaugebiet des Kaiserstuhls dienen. In diesem Gebiet wurden im Zuge der Flurbereinigung kleinterrassierte

Rebhänge zu betriebswirtschaftlich günstigen Großterrassen umgestaltet. Mit der Untersuchung sollte überprüft werden, ob durch derart weitgehende Umlegungsmaßnahmen eine Veränderung der klimatischen Einflußfaktoren für Erntequalität und Ertragsrisiko im Weinbau zu erwarten sei. Dazu wurden in wind-schwachen und wolkenlosen Nächten Thermal-Abtasteraufnahmen und durch synchrone Bodenkontrollmessungen Lufttemperaturen gewonnen. Die Auswertung ergab, daß die Lufttemperaturen auf den Großterrassen um einige Grade unter denen der Kleinterrassen liegen und damit zu einer größeren Frostgefährdung im Frühjahr und Herbst führen. Es konnte somit mit Fernerkundungsmethoden eine eindeutige Verschlechterung des Geländeklimas nachgewiesen werden |11|.

Das Testgebiet IV in der Voralpenregion war für geologische und hydrologische Beobachtungen ausgewählt worden. Neben der Untersuchung des Einflusses des Geländereiefs auf die spektralen Signaturen der Objekte wurde versucht, einen Zusammenhang zwischen Bodentemperatur und -feuchte herzustellen. Es ergab sich, daß eindeutige Korrelationen nur innerhalb homogener Bodenarten vorliegen |12|.

Alle genannten Testgebiete sind während der letzten zwei Jahre mehrmals befliegen und dabei aus unterschiedlichen Höhen aufgenommen worden. Es wurde dabei versucht, jedes Gebiet mindestens einmal zu jeder Jahreszeit zu überfliegen, um auch jahreszeitabhängige Phänomene zu untersuchen. Aus Witterungsgründen war dies nicht immer einfach und konnte auch nicht in jedem Fall exakt eingehalten werden. Andererseits muß aber erwähnt werden, daß insbesondere die langen Hochdruckwetterlagen im Jahr 1976 dem Programm sehr dienlich waren.

Insgesamt haben alle im Programm eingesetzten Gerätesysteme voll funktioniert; jedenfalls war ein größerer Ausfall nicht zu verzeichnen. Dies gilt insbesondere auch für das Meßflugzeug, das direkt nach der Fertigstellung des Aufnahmesystems, praktisch ohne Probetrieb, sofort mit den Meßflügen begonnen hat. Das Flugzeug war bei Schönwetterperioden nahezu ununterbrochen im Einsatz, und wenn man es von der Wartung und Kalibrierung der Aufnahmegeräte her betrachtet, nahezu an der Grenze der Auslastung.

Die Zahlen in Tabelle 2 sollen die in diesem Programm geleisteten Arbeiten veranschaulichen.

### FMP-Leistungen

Meß-Flugstunden:	290 h
Einsatz Bodenmeßwagen:	106 Tage
Datenaufbereitung:	1500 Magnetbänder (CCT's)
Experimentatoren am DIBIAS :	320 Tage (á 8h)

Tabelle 2 FMP - Leistungen

An der Auswertung des Datenmaterials beteiligen sich in jedem Testgebiet jeweils 10 - 15 Experimentatoren unter der Leitung eines wissenschaftlichen Koordinators. Insgesamt sind ca. 70 Wissenschaftler beteiligt, die verschiedenen Fachrichtungen angehören und nach Möglichkeit interdisziplinär zusammenarbeiten sollen. Wieweit diese Zusammenarbeit wirklich zustande gekommen ist, läßt sich noch nicht abschließend beurteilen, sie wird sich erst im Laufe der weiteren Auswertung daran messen lassen, wieviele gemeinsame Veröffentlichungen von den Experimentatoren herausgebracht werden.

#### 6. Schlußbemerkung

Es soll zum Schluß noch einmal auf die anfangs erwähnte Zielsetzung eingegangen werden, nämlich die "Vorbereitung auf zukünftige Beteiligung an internationalen Satellitenprojekten". Welches sind nun diese zukünftigen Satellitenaufgaben ?

Tabelle 3 zeigt die zukünftigen Erdbeobachtungs-Satellitenmissionen, für die eine Beteiligung deutscher Nutzer bereits fest vereinbart oder mit Sicherheit zu erwarten ist.

#### Zukünftige Erdbeobachtungsmissionen aus dem Weltraum

LANDSAT 2	US	1975
LANDSAT C	US	1977
METEOSAT	ESA	1978
HCMM	US	1978
SEASAT	US	1978
NIMBUS-G	US	1978
Metrische Kamera in SPACELAB	ESA	1980
Europäischer Erkundungssatellit	ESA	Mitte der 80er Jahre

Tabelle 3 Zukünftige Erdbeobachtungs-Missionen

Es sollen nur drei kurz hervorgehoben werden:

N I M B U S - G enthält einen multispektralen Abtaster, der speziell für ozeanographische Aufgaben konzipiert ist. Die NASA hat verbindlich zugesagt, hiermit europäische Meere, wie z.B. Nord- und Ostsee regelmäßig aufzunehmen. An einem internationalen Flugzeugvorprogramm (Eurasep) hat sich bereits eine Reihe deutscher Institute aktiv beteiligt.

Die Metrische Kamera (Reihenmeßkammer) ist ein Experiment, das von deutscher Seite zur Erprobung im Spacelab vorgeschlagen und von der europäischen Welt- raumbehörde (ESA) auch akzeptiert wurde. Da diese Weltraumbilder auch mit photogrammetrischen Auswertegeräten analysiert werden können, soll 1980 zum ersten Mal exakt nachgewiesen werden, welchen Beitrag Weltraumbilder zur Lösung weltweiter kartographischer Probleme im mittleren und kleinen Maß- stabsbereich leisten können.

Der europäische Erkundungssatellit ist zwar noch keine beschlossene Sache, aber bereits jetzt sind die ersten Planungsarbeiten der ESA angelaufen, in die in besonderem Maße die Erfahrungen aus dem FMP einfließen sollten und mit Sicherheit auch werden. Erste Vorschläge von deutscher Seite liegen hier- zu auch bereits vor.

Diese Beispiele zeigen, daß gute Aussichten bestehen, die gesetzten Ziele auch zu erreichen. Aufbauend auf den Erfahrungen des FMP ist bei den deutschen Geowissenschaftlern ganz allgemein das Bestreben vorhanden, sich mit eigenen Beiträgen an internationalen Projekten zur Überwachung der Umwelt zu be- teiligen.

Zum Schluß kann folgendes Resümee gezogen werden:

Mit dem FMP ist in Deutschland der Schritt von der experimentellen Ferner- kundung hin zur gezielten Anwendung getan worden.

## 7. Literatur

- [1] Schroeder, M., Wahl, M.: Erdwissenschaftliches Flugzeugmeßprogramm - ein Beitrag zur Förderung der Fernerkundung, Zeitschrift Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 2, 45. Jahrgang, 1. März 1977
- [2] FMP - Nutzerhandbuch, Beschreibung der GSOC - Anlagen und Daten- formate für Routine-Bildverarbeitung, DFVLR - 1976
- [3] Fernandez, S. u.a.: DIBIAS-Handbuch, DFVLR 1976
- [4] Triendl, E.: Was bringt die multispektrale Klassifizierung ? FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [5] Kritikós, G.: Interaktive Korrektur klassifizierter Bilder, FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [6] Schuhr, W.: Geometrische Entzerrung multispektraler Abtaster- aufnahmen, FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [7] Bähr, H.P.: Vom Satellitenbild zur Reihenmeßkammer-Aufnahme: das Jadegebiet im Vergleich unterschiedlicher Sensoren, FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [8] Becker, G., Huber, K.: Numerische Behandlung der IR-Thermal-Daten aus dem Testgebiet Deutsche Bucht, FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [9] Kolouch, D.: Strömungsmessungen mit Hilfe von multispektralen Scanner-Aufnahmen im Küstengebiet, FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [10] Burwitz, P.: Erkennen von Kühlwassereinleitungen in den Untermain, FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [11] Endlicher, W.: Thermalbilder und die Veränderung des Geländeklimas in flurbereinigten Weinbergen, FMP - Symposiums-Berichte, in Vorbereitung
- [12] Nithack, J.: Ermittlung des Wassergehaltes von Böden mit Hilfe radiometrischer Messungen und IR-Scanner-Daten, FMP - Symposiums- Berichte, in Vorbereitung

### Zusammenfassung

Von 1975 bis 1977 wird in der Bundesrepublik Deutschland ein Fernerkundungsprogramm mit einem speziell dafür ausgerüsteten Flugzeug durchgeführt.

Vier Testgebiete sind für die folgenden Aufgaben ausgesucht worden:

Wechselwirkung Küste/Meer und Ozeanographie  
Regionalplanung und Landnutzung  
Land- und Forstwirtschaft  
Geologie und Hydrologie

Zur Datengewinnung ist ein zweimotoriges Flugzeug mit einem 11-Kanal-Scanner, multispektralen Kameras, einer photogrammetrischen Kammer und weiteren radiometrischen Instrumenten ausgerüstet worden. Für die Dateninterpretation ist ein hochwertiges interaktives digitales Bildverarbeitungssystem aufgebaut worden. An dem gesamten Programm sind ca. 30 Institute beteiligt.

Dieser Vortrag gibt einen Überblick über die Ziele und Versuchseinrichtungen sowie die Testgebiete dieses Programms und stellt die ersten Ergebnisse aus den Untersuchungen vor.

### Abstract

From 1975 to 1977 an aircraft remote sensing programme has been carried out in the Federal Republic of Germany.

Four test sites have been selected for the following disciplines:

Coastal processes and oceanography  
Regional planning and land use  
Agriculture and forestry  
Geology and hydrology

For the data acquisition a two engine aircraft has been equipped with a 11-channel scanner, multispectral cameras, a photogrammetric camera and radiometric instruments. For the data interpretation a sophisticated interactive digital image processing system has been integrated. In the whole programme about 30 institutes are involved.

The paper gives a general view of the objects, the facilities and test sites and presents the first results of the investigations.

### Résumé

Pendant la période 1975 jusqu'à 1977 un programme télédétection de la terre sera réalisé dans la République fédérale d'Allemagne utilisant un avion équipé spécialement.

Quatre zones de test ont été choisies pour les tâches suivantes:

Interaction côte/mer et problèmes océaniques  
Planning régional et utilisation du sol  
Agriculture et sylviculture  
Géologie et hydrologie

Pour la récupération des données un avion bimoteur était équipé avec un scanner à onze canaux, des caméras multispectrales, une caméra photogrammétrique et d'autres instruments radiométriques. Pour l'interprétation des données un système sophistiqué pour le traitement digital des images a été construit. 30 organismes participent au programme.

L'exposé donne une vue d'ensemble sur les équipements de mesure, les zones tests et le but de ce programme et présente les premiers résultats.

## Resumen

Desde 1975 hasta 1977 se está llevando a cabo en la República Federal de Alemania un programa de exploración remota, con ayuda de un avión especialmente equipado para esta finalidad.

Se han elegido regiones adecuadas de ensayos para estudiar los siguientes problemas:

La acción recíproca costa/mar y oceanografía  
Planificación regional y aprovechamiento de las tierras  
Agricultura y silvicultura  
Geología e hidrología

Para obtener los datos respectivos, se ha equipado un avión bimotor con un sistema explorador de 11 canales, cámaras multiespectrales, una cámara aerofotogramétrica y otros instrumentos radiométricos adicionales. Para interpretar los datos, se ha elaborado un sistema digital de procesamiento de las imágenes, interactivo y de alta calidad. Este programa cuenta con la intervención de unos 30 institutos.

La presente conferencia ofrece una idea general de las finalidades, instalaciones experimentales así como de las regiones de ensayos de este programa a la vez que presenta los primeros resultados de estos estudios.

M. Schroeder,  
Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt  
für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
8031 Oberpfaffenhofen