

Paper-ID: VGI_199201



Das Fernerkundungs-Experiment FEM während des österreichisch-sowjetischen Raumfluges AUSTROMIR

Rainer Kalliany ¹

¹ *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, 1040 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **80** (1), S. 3–19

1992

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Kalliany_VGI_199201,  
Title = {Das Fernerkundungs-Experiment FEM während des österreichisch-  
sowjetischen Raumfluges AUSTROMIR},  
Author = {Kalliany, Rainer},  
Journal = {{Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {3--19},  
Number = {1},  
Year = {1992},  
Volume = {80}  
}
```



Das Fernerkundungs-Experiment FEM während des Österreichisch-Sowjetischen Raumfluges AUSTROMIR

von R. Kalliany, Wien

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes AUSTROMIR — der Flug des ersten österreichischen Kosmonauten an Bord der sowjetischen Raumstation MIR im Oktober 1991 — wurde das Experiment FEM („Fernerkundung auf MIR“) durchgeführt. Auf der Station erfolgten bei mehreren Überflügen von Österreich Aufnahmen mit der Multispektralkamera MKF-6MA, der hochauflösenden Kamera „Priroda-5“ sowie den Spektrometern „Phasa“ und MKS-M2. Gleichzeitig wurden radiometrische Referenzmessungen am Boden, Luftaufnahmen mit einer photogrammetrischen Kamera aus unterschiedlichen Flughöhen und Ballonsondenaufstiege zur Erfassung von meteorologischen Daten durchgeführt. Eine zusätzliche phänologische Bestandsaufnahme im Feld dient als Grundlage für die spätere Interpretation der Daten.

Durch das Experiment FEM ist ein multisensoraler Datensatz entstanden, anhand dessen die Methoden zur radiometrischen und geometrischen Kalibrierung von synergetischen Fernerkundungsdaten überprüft und verbessert werden sollen. In diesem Artikel werden die zur Verfügung stehenden Daten vorgestellt, wobei auch erste Qualitätsangaben erfolgen.

Abstract

Within the framework of the project AUSTROMIR — the flight of the first Austrian cosmonaut on board of the Soviet space-station MIR in October 1991 — the Remote Sensing experiment FEM has been carried out. On the station, during several passes, recordings of Austrian territory have been made, using the multispectral camera MKF-6MA, the high-resolution mapping-camera „Priroda-5“, as well as the spectrometers MKS-M2 and „Phasa“. Simultaneously, radiometric measurements on ground, photographic surveying-flights at different levels, and ascendings of meteorologic balloons have been carried out. An additional terrestrial inventory of the phenologic situation will serve as basis for subsequent interpretation of the data.

From the experiment FEM, a multisensoral dataset has been obtained by which the tasks of radiometric and geometric calibration of synergetic Remote Sensing data are to be examined and improved. In this article, the data available are presented and first statements about their quality are made.

1. Das Projekt AUSTROMIR

Im Jahr 1988 wurde auf zwischenstaatlicher Ebene das Abkommen zur Durchführung des ersten Raumfluges eines Österreichers auf der sowjetischen Raumstation MIR unterzeichnet. Die Leitung des Gesamtprojekts übernahm das BM für Wissenschaft und Forschung (MR. O. Zellhofer); als wissenschaftlicher Leiter wurde Prof. W. Riedler (TU Graz) bestellt und mit dem Management die Forschungsgesellschaft Joanneum in Graz betraut.

In einem intensiven Auswahlverfahren unter 198 Kandidaten wurden der Elektrotechniker DI. Franz Viehböck und der Arzt Dr. Clemens Lothaller ausgewählt und ab Anfang 1990 im „Sternenstädtchen“ bei Moskau zu Kosmonauten ausgebildet. Für den Flug wurde schließlich Viehböck nominiert, der — gemeinsam mit einem russischen und einem kasachischen Kollegen — am 2. Oktober 1991 zur Station MIR flog und am 10. Oktober 1991 zurückkehrte.

Nach einer Ausschreibung wurde, gemeinsam mit der sowjetischen Seite, unter 34 eingereichten wissenschaftlichen Experimenten eine Auswahl getroffen, wobei schließlich 14 Vorschläge angenommen worden sind. Die Finanzierung erfolgte auf Basis von Projektverträgen zwischen dem BM für Wissenschaft und Forschung und den einzelnen Experimentverantwortlichen.

2. Das Experiment FEM

Zum Unterschied von den anderen Experimenten, die medizinischen oder physikalischen Inhalts waren, wurden bei FEM ausschließlich bereits auf der Station vorhandene Fernerkundungssysteme verwendet. Eine eigene Hardwareentwicklung war nicht erforderlich — und wäre auch aufgrund der äußerst komplexen Anforderung an Fernerkundungssensoren im gegebenen zeitlichen und finanziellen Rahmen keinesfalls zu realisieren gewesen.

Grundidee von FEM ist die Gewinnung eines multisensoralen Datensatzes, mit Aufnahmen aus der Raumstation und simultanen Messungen in Österreich. Das Experiment ist — abgesehen vom wissenschaftlichen Wert — auch als eine Bereicherung des gesamten AUSTROMIR-Programmes anzusehen, da es einen unmittelbaren Bezug zu Österreich herstellt; alle anderen Versuche beruhen ausschließlich auf der in einem Raumfahrzeug herrschenden Mikrogravitation.

FEM wurde von einer Gruppe österreichischer Fernerkundler vorgeschlagen, die interdisziplinär zusammengesetzt ist und einen Großteil des einschlägigen heimischen wissenschaftlichen Potentials repräsentiert. Ihre Arbeiten wurden in den letzten Jahren vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) im Rahmen des „Forschungsschwerpunkt Fernerkundung“ unterstützt. Sprecher dieser Gruppe — und somit auch Projektverantwortlicher von FEM — ist Prof. K. Kraus vom Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien. Die weiteren Mitglieder sind:

- Doz. M. Buchroithner (Institut für digitale Bildverarbeitung und Graphik, Joanneum Research, Graz)
- Prof. I. Dirmhirn (Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur, Wien)
- Prof. K. Richter (Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik, Technische Universität Graz)
- Doz. H. Rott (Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck)
- Doz. W. Schneider (Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung, Universität für Bodenkultur, Wien)
- Prof. M. Seger (Institut für Geographie, Universität Klagenfurt)

Die genannten Wissenschaftler sind im unterschiedlichen Ausmaß, entsprechend ihren jeweiligen Spezialgebieten, an Durchführung und Auswertung des Experiments beteiligt.

Unterstützt wurde FEM auch durch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, indem es zu günstigen Konditionen mehrere Bildmeßflüge durchgeführt hat. Weiters erklärten sich die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien und der meteorologische Dienst des österreichischen Bundesheeres bereit, Sondaufstiege durchzuführen.

Auf sowjetischer Seite wurde FEM durch O. Lebedjev von NPO Energija, der für das AUSTROMIR-Projekt verantwortlichen Organisation, betreut. Für eines der MIR-Spektrometer ist K. Eerme vom Institut für Astrophysik und Physik der Atmosphäre der estnischen Akademie der Wissenschaften in Tartu zuständig.

3. Problemstellung und Ziel des Experiments

Die Fernerkundung beruht auf den Reflexionseigenschaften von natürlichen und künstlichen Objekten auf der Erdoberfläche. Die meisten Fernerkundungssensoren — Photokameras und Scannersysteme — arbeiten im Bereich vom sichtbaren Licht (Wel-

lenlängen zwischen 400 und 700 nm) bis zum anschließenden kurzwelligen Infrarot (bis etwa 2500 nm). Dabei wird die Intensität der von der Erde reflektierten Sonneneinstrahlung — getrennt nach verschiedenen Spektralbereichen — registriert, wodurch Informationen über Eigenschaften und Zustand der aufgenommenen Objekte gewonnen werden. Mit diesen wellenlängenabhängigen Charakteristiken beschäftigt sich die Radiometrie, die die Grundlagen zur spektralen Auswertung von Fernerkundungsdaten erarbeitet.

Für die Fernerkundung sind die radiometrischen Unterschiede der Aufnahmen von verschiedenen Sensoren oder Zeitpunkten ein grundlegendes Problem. Neben sensor-spezifischen Eigenschaften haben dabei die atmosphärisch bedingten Einflüsse einen entscheidenden Anteil.

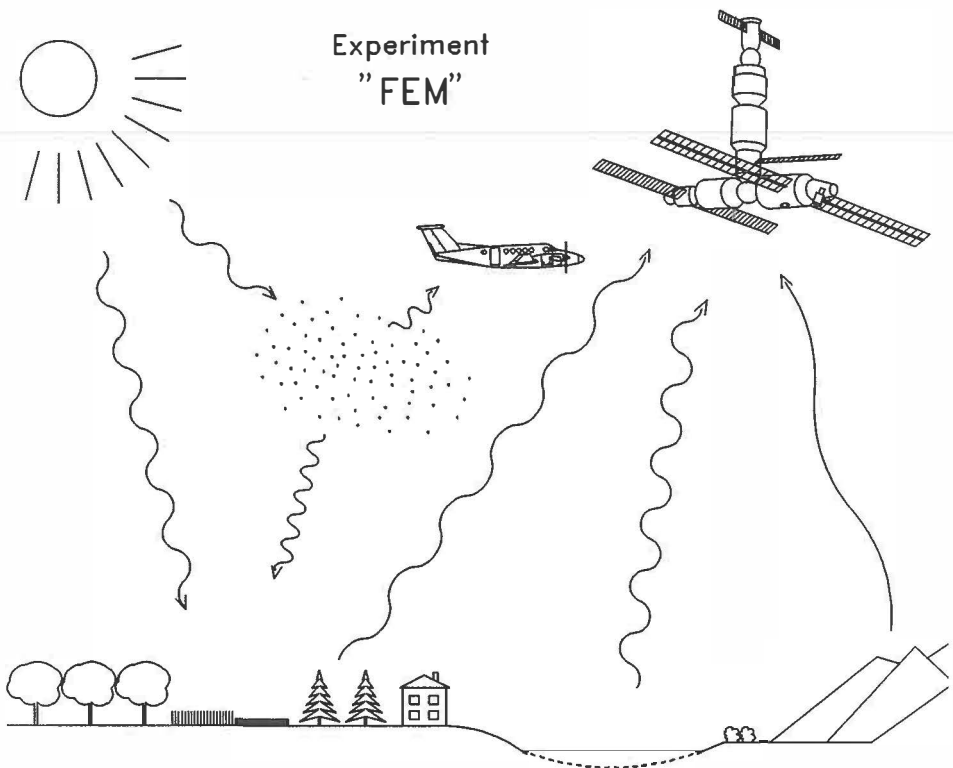


Abb. 1: Strahlungspfade in der Atmosphäre (schematisch)

In Abb. 1 wird — stark vereinfacht — der Weg der verschiedenen Strahlungskomponenten in der Atmosphäre dargestellt: bereits die von der Sonne einfallende Strahlung wird innerhalb der unterschiedlichen Luftschichten durch Wasserdampf und andere Aerosole (Kleinstpartikel natürlichen oder künstlichen Ursprungs) gestreut. Ein Teil dieses Lichts (vor allem die kurzwelligen — „blauen“ — Anteile) beleuchtet als „Himmelsblau“ diffus die Erdoberfläche; der andere wird nach oben abgelenkt und überlagert als „Dunst“ die für den Sensor relevante Information. Am Boden reflektieren die verschiedenen Objekte in den einzelnen Spektralbereichen das einfallende Licht mit

unterschiedlicher Intensität. Auf dem Weg zurück zum Fernerkundungssensor im Flugzeug oder Satelliten wird die reflektierte Strahlung teilweise neuerlich in der Atmosphäre gestreut (hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt), womit der objektrelevante Signalanteil gemindert wird.

All diese Effekte bewirken, daß aus einer Fernerkundungsaufnahme — ohne Berücksichtigung der atmosphärischen Verhältnisse — nicht unmittelbar auf die radiometrische Charakteristik eines Objektes geschlossen werden kann. Zur Simulation der komplexen Vorgänge bei der Ausbreitung von Licht in der Atmosphäre gibt es mathematische Atmosphären-Modelle. Sie enthalten teils physikalische Meßgrößen und teils empirisch bestimmte Parameter. Eines der Hauptziele des Experiments FEM ist die Überprüfung und Verbesserung der bisher verwendeten Atmosphärenmodelle durch Kombination simultaner Messungen aus unterschiedlichen Höhen und von verschiedenen Sensoren.

Ein weiteres Verfahren zur Standardisierung von Fernerkundungsdaten ist die geometrische Entzerrung. Dabei werden die Aufnahmen unter Berücksichtigung von Abbildungsgeometrie und Geländereief in bezug zu einem übergeordneten Koordinatensystem gebracht. Dieser auch als "Geokodierung" bezeichnete Prozeß ist Voraussetzung für die Kombination von Daten unterschiedlicher Termine oder Sensoren. Die diesem Aufgabenkomplex zugeordneten Methoden sollen ebenfalls im Rahmen von FEM auf einen multisensoralen Datensatz angewendet werden.

Die im Zuge von FEM — möglichst für das gesamte Bundesgebiet — gewonnenen Aufnahmen sollten schließlich auch interpretiert und kartographisch präsentiert werden. Zu diesem Zweck war eine terrestrische Kampagne zur phänologischen Inventur verschiedener Landschaftsräume vorgesehen.

4. Eingesetzte Geräte

Im Rahmen des AUSTROMIR-Programms ergab sich für die österreichischen Fernerkundler erstmals die Möglichkeit, Geräte der Station MIR zu verwenden. Durch die Anwesenheit des österreichischen Kosmonauten an Bord sowie eines Vertreters des Experimentes im Flugleitzentrum war während der AUSTROMIR-Mission ein unmittelbarer Einfluß auf Operationsgebiet und Aufnahmezeitpunkt gegeben. Dadurch war es möglich, gleichzeitig mit Messungen von Bord der Raumstation, in Österreich Luftaufnahmen sowie radiometrische Referenzmessungen im Feld zu organisieren.

4.1. Die Raumstation MIR

Der Basisblock der Raumstation MIR (= russ. „Friede“ bzw. „Welt“) wurde 1986 in die Umlaufbahn gebracht. In weiterer Folge wurden axial das Modul Kwant sowie Ende 1989 die beiden Wissenschaftsmodule Kwant-2 und Kristall T-förmig angedockt (Abb.2). Es ist geplant, die Station noch mit zwei weiteren Modulen zu ergänzen, wovon eines mit verschiedenen experimentellen Fernerkundungssensoren ausgestattet sein wird.

Auf MIR können sich für kürzere Zeit bis zu sechs Mann aufhalten; normalerweise besteht die Besatzung allerdings nur aus zwei Kosmonauten. Sie werden in zweimonatigen Intervallen durch ein unbemanntes Transportraumschiff — dessen Rückkehrbehälter zum Transport von Filmmaterial zur Erde verwendet werden kann — versorgt. Im Zuge der halbjährlich erfolgenden Ablösung der Stammbesatzung kann mit der neuen Mannschaft ein Gastkosmonaut zur Station fliegen, dort eine Woche arbeiten und anschließend mit der alten Besatzung zur Erde zurückkehren.

Aus der Flughöhe von 400 km resultiert eine Umlaufzeit von 92,5 Minuten bzw. eine Geschwindigkeit über Grund von 7,25 km/sec. Die Bahnneigung beträgt 51,6 Grad, weshalb die Station in unseren Breiten fast in West-Ost-Richtung fliegt und bei einem einzi-

gen Überflug einen Großteil von Österreich abdecken kann. Die Umlaufbahnen wiederholen sich alle zwei Tage; allerdings verschiebt sich die Überflugszeit in diesem Zeitraum jeweils um etwa 45 Minuten nach vor. Es gibt daher für ein spezielles Gebiet nur alle zwei Monate eine Passage zum selben Zeitpunkt und es folgt weiters, daß sich Perioden mit Tages- bzw. Nachtüberflügen im einmonatigen Rhythmus abwechseln.



Abb. 2: Die Raumstation MIR: Senkrecht das Basismodul mit „Kwant“ und andocktem Raumschiff Sojous-TM; links „Kristall“ und rechts „Kwant-2“.

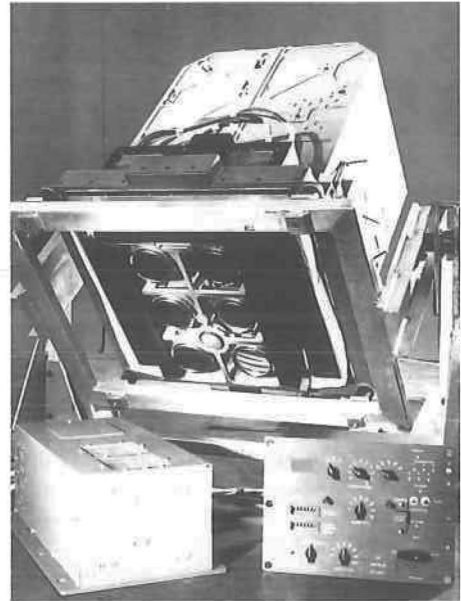


Abb. 3: Die Multispektralkamera MKF-6MA von Zeiss-Jena. Man erkennt deutlich die sechs Kamerablöcke mit den vorgeschalteten Filtern.

4.2. Fernerkundungssensoren auf MIR

4.2.1. Multispektralkamera MKF-6MA

Das für FEM wichtigste Gerät an Bord von MIR ist die von Carl Zeiss Jena entwickelte Multispektralkamera MKF-6MA (Abb. 3), da sie eine große Fläche abdeckt, die alle anderen Aufnahmegebiete enthält. MKF-6MA besteht aus sechs parallel ausgerichteten Kamerablöcken mit Optik $4/125$ mm, die jeweils ein Schwarzweiß-Negativ im Format 55×81 mm belichten. Bei einer Flughöhe von 400 km ergibt sich daraus ein Bildmaßstab von 1:3,2 Millionen und eine abgedeckte Fläche von 260×175 km.

Alle sechs Einheiten werden gleichzeitig ausgelöst und nehmen, durch vorgeschaltete Filter, verschiedene Spektralbereiche (Kanäle) zwischen 480 nm (blau) und 840 nm (Infrarot-)Wellenlänge auf. Durch Kippen der Einheit während der Aufnahme in Richtung der Schmalseite des Bildformats wird die Bildwanderung weitgehend kompensiert. MKF-6MA ist innerhalb des Moduls Kwant-2 installiert und wird für den Einsatz mit der gesamten Station senkrecht auf die Erdoberfläche ausgerichtet. Um eine Ste-reodeckung von 60% zu erreichen, erfolgen die Aufnahmen in 10-Sekunden-Intervallen.

4.2.2. Spektrometer MKS-M2

Das Spektrometer MKS-M2 ist an der Außenseite von Kwant-2 auf der steuerbaren Plattform ASP-G-M montiert. Kontrolliert durch eine parallele Fernsehkamera, kann die Plattform von der Bodenstation aus so programmiert werden, daß das Spektrometer während des gesamten Überfluges auf ein Gebiet ausgerichtet bleibt. Das Gerät registriert die reflektierte Strahlung, bezogen auf eine Fläche von 3 x 3 km (13 Kanäle) bzw. 0,7 x 7 km (6 Kanäle) am Boden. Die 19 Spektralkanäle liegen zwischen 415 und 1030 nm und liefern Meßwerte in Halbsekunden-Abständen. Die Daten werden online über die Telemetrie zur Bodenstation übermittelt.

4.2.3. Spektrometer „Phasa“

Das Spektrometer „Phasa“ wurde vom Institut für Astrophysik und Physik der Atmosphäre der Estnischen Akademie der Wissenschaften entwickelt. Es befindet sich ebenfalls an der Außenseite von „Kwant-2“ und ist im Betrieb zum Nadir ausgerichtet. Dieses Gerät mißt unter der Flugbahn in Abständen von 0,1 Sekunden (entsprechend ca. 750 m) die Rückstrahlung einer 1x1 km großen Fläche. „Phasa“ arbeitet mit acht schmalbandigen Kanälen zwischen 445 und 2190 nm Wellenlänge; dieses Spektrometer dringt somit von allen eingesetzten Sensoren am weitesten in den Infrarotbereich vor. Die Datenaufzeichnung erfolgt, wie bei MKS-M2, am Boden.

4.2.4. Kamerasystem „Priroda-5“

Im Verlauf der Meßkampagne wurde einmal die Kamera „Priroda-5“ (= russ. „Natur“) eingesetzt. Die Verwendung dieses im Modul Kristall installierten Systems war ursprünglich nicht geplant, da ein gleichzeitiger Betrieb mit MKF-6MA nicht möglich ist. „Priroda-5“ ist eine Kombination von zwei KFA-1000-Kameras, die 15 Grad divergent zueinander ausgerichtet sind. KFA-1000 hat ein Bildformat von 30x30 cm bei einer Brennweite von 100 cm und wird mit sehr guten Resultaten auch auf Satelliten (in einer niedrigeren Umlaufbahn) eingesetzt. Durch die spezielle Anordnung der beiden Kameras nimmt „Priroda-5“ — mit geringer Überlappung in der Mitte — zwei 120 km breite stereoskopische Streifen im Maßstab 1: 400.000 beidseits der Flugbahn auf. Normalerweise wird der Spektrozonalfilm SN-10 verwendet; ein Zweischichten-Farb-Negativfilm, der für den sichtbaren Bereich (570—690 nm) und das nahe Infrarot (680—810 nm) sensibilisiert ist.

4.3. Referenzmessungen in Österreich

4.3.1. Luftaufnahmen

Für die Luftaufnahmen stand eine Beechcraft Super King Air 200 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung. Sie ist u. a. mit je einer Reihenmeßkamera Wild RC-20 und RC-10 (Brennweite 210 mm, Format 23x23 cm) ausgerüstet. Durch Verwendung eines Farb-Infrarotfilmes kann der Spektralbereich von etwa 500 bis 800 nm erfaßt werden.

4.3.2. Spektrometermessungen im Feld

Feldspektrometer sind transportable Geräte, mit denen unmittelbar im Feld die spektralen Reflexionseigenschaften von verschiedenen Boden- und Vegetationsarten gemessen werden. Das Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung der Universität für Bodenkultur hat ein derartiges Gerät entwickelt, das elf Kanäle zwischen 400 und 900 nm im Abstand von 50 nm (bei einer Bandbreite von jeweils 10 nm) registriert.

Zusätzlich wurde von der Firma Analytical Spectral Devices (ASD) in Boulder/Colorado ein modernes Personal Spectrometer II (PS-II) geleast. Dieses Gerät registriert lückenlos das gesamte Spektrum zwischen 350 und 1050 nm mit 512 Messungen (Bandbreite jeweils 4 nm) im Abstand von 1,4 nm.

4.3.3. Ballonsonden

Zur Erfassung der aktuellen vertikalen Struktur der Atmosphäre war der Einsatz von Ballonsonden in Wien, Linz und Graz vorgesehen. Diese Sonden übermitteln per Funk bis zu einer Höhe von über 15 km Temperatur, Druck und Feuchte; durch Verfolgung der Flugbahn mittels Radar können auch die Windverhältnisse erfaßt werden.

5. Geplanter Ablauf des Experimentes

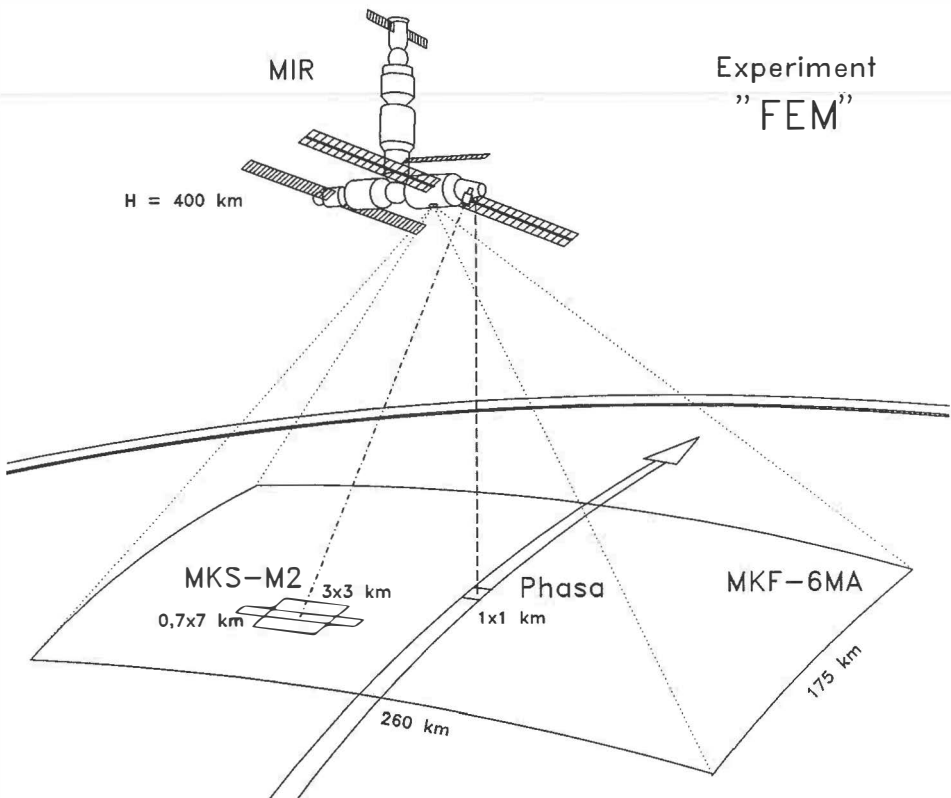


Abb. 4: Aufnahmeanordnung vom MKF-6MA, „Phasa“ und MKS-M2 für FEM

Bei jedem Überflug von Österreich sollten — weitgehende Bewölkungsfreiheit vorausgesetzt — die Kamera MKF-6MA und das Spektrometer „Phasa“ eingeschaltet werden. Die Kamera kann — wie jedes photographische System — als flächenhaft registrierendes Radiometer angesehen werden, da die Schwärzung auf dem Film proportional zur Strahlungsintensität des abgebildeten Bodenpunktes im jeweiligen Spektralkanal ist. Daher sind auch die Meßwerte des Nadir-Spektrometers „Phasa“ entlang der Flugachse mit dem Bildinhalt von MKF-6MA korreliert, wobei die verschiedenen Spek-

tralkanäle einander ergänzen. Unter Berücksichtigung der meteorologischen Situation sollte ein Gebiet für die Vergleichsmessungen am Boden gewählt werden, das von der Station aus mit dem Spektrometer MKS-M2 während des gesamten Überfluges beobachtet wird. (Abb.4)

Mit den Feldspektrometern werden simultan im „Zielgebiet“ über hinreichend großen Flächen verschiedener Boden- und Vegetationsart die reflektierte sichtbare und infrarote Strahlung gemessen. Durch Registrierung der einfallende Sonnen- und Himmelsstrahlung sollten zusätzlich Parameter über die Transparenz der Atmosphäre gewonnen werden.

Die Luftaufnahmen über dem Referenzgebiet haben, möglichst zeitgleich mit dem Überflug der Station, in verschiedenen Höhen zu erfolgen. Die dabei entstehenden Infrarotbilder dienen mehreren Zwecken: Einerseits bilden sie die mit den Feldspektrometern gemessenen Probeflächen in unterschiedlicher Größe ab, womit die Luftbilder ein Bindeglied zwischen den Messungen am Boden und den Aufnahmen aus der Raumstation sind, andererseits ist die radiometrische Qualität der Photos (in Form von Kontrast und Farbsättigung) atmosphärisch bedingt. Durch Gegenüberstellung von Aufnahmen aus verschiedenen Höhen kann somit auch auf die vertikale Verteilung von Aerosolen in der Atmosphäre geschlossen werden.

Für diejenigen Startplätze, die im Aufnahmebereich von MKF-6MA lagen, wurden meteorologische Sondaufstiege geplant. Sie sollten Meßdaten über höhenabhängige Schichtungen in der Atmosphäre liefern.

6. Durchgeführte Messungen

Um den Erfolg des Experiments im Falle von Schlechtwetter während des Aufenthalts des österreichischen Kosmonauten auf der Station nicht zu gefährden, wurde die Meßkampagne bereits eine Woche früher begonnen. Dank überdurchschnittlich guter

Umlauf	Datum	Zeit	Dist	Ri	Pri-5	MKF	Phasa	MKS	Bod	Flug	Met
082 ↑	25. 09.	12:30	50 km	NW	2		●	(○)	II	II	W, L
128 ↑	28. 09.	11:24	80 km	NW		10	(○)	(○)	III	III	W, L
235 ↑	05. 10.	8:16	80 km	SO		12	●	●	I	I	G
268 ↓	07. 10.	11:17	10 km	SW		6		(○)	II		W, L
28. 09.—14. 10. 91: Bundesweite Erhebung von Landnutzung und Vegetationszustand											

Umlauf: Umlauf-Nummer, mit ↑ für aufsteigende bzw. ↓ für absteigende Bahn

Datum, Zeit: Tag, Monat und Uhrzeit (UT) des Überfluges

Distanz, Richtung: Abstand und Quadrant beim Vorbeiflug an Wien

Priroda-5: (Modell KFA-1000): Anzahl der übergebenen Aufnahmen

MKF-6MA, (Multispektralkamera, 6 Kanäle): Anzahl der Aufnahmen

Phasa, (Nadir-Spektrometer, 8 Kanäle): Messungstreifen unter der Flugbahn

MKS-M2, (Spektrometer, 19 Kanäle): Messung eines Zieles am Boden

Bodenmessungen in: I — Wr. Neustadt, II — Marchfeld oder III — Leiser Berge

Flugzeugaufnahmen (Maßstab 1:8000, 1:16.000, 1:32.000) im Gebiet I, II oder III

Meteorologische Sondaufstiege in: W — Wien, L — Linz oder G — Graz

Daten in Klammer () sind nur eingeschränkt verwendbar

Tab. 1: Bilanz der FEM-Messungen im Rahmen der AUSTROMIR-Mission '91

Wetterbedingungen vor und während der AUSTROMIR-Mission konnte eine Fülle von Daten und Filmmaterial gewonnen werden, das von Viehböck zur Erde zurückgebracht wurde. Das Experiment FEM ist somit insgesamt sehr erfolgreich verlaufen. Tab. 1 zeigt überblicksmäßig das bei vier Überflügen gewonnene Datenmaterial; anschließend wird auf die von den verschiedenen Sensoren durchgeführten Messungen näher eingegangen.

Wie aus Abb. 5 zu ersehen, konnte durch MKF-6MA mit drei Überflügen ganz Österreich abgedeckt werden. Die Aufnahmen vom 28. 9. waren allerdings durch Wolken beeinträchtigt, weshalb einerseits teilweise Westösterreich fehlt und andererseits das damals beobachtete Zielgebiet „Leiser Berge“ verdeckt war. Am 5. 10. wurde mit 80% Überdeckung gearbeitet; bis auf einzelne Tal- und Beckenlagen mit Nebefeldern ist der Streifen wolkenfrei. Der Überflug vom 7. 10. erfolgte bei sehr guten Bedingungen und deckt den Norden und Osten des Bundesgebietes in ausgezeichneter Qualität ab.

6.1. Multispektralkamera MKF-6MA

Trotz des relativ kleinen Bildmaßstabes ist die effektive Bodenauflösung des Materials bemerkenswert. Die Detailwiedergabe entspricht einem Pixeläquivalent von ca. 40 m; somit kommt MKF-6MA nahe an die geometrische Qualität von Landsat-TM heran, deckt aber mit einer einzigen Aufnahme die Fläche von mehr als fünf Viertelszenen ab. Ein weiterer Vorteil des photographischen Systems ist die Stereoskopie, die bei MKF-6MA allerdings mit einem Basis/Höhen-Verhältnis von 0,17 nicht sehr stark ausgeprägt ist. Was die radiometrische Qualität betrifft, sind — wie zu erwarten — die Aufnahmen aus dem sichtbaren Spektralbereich stark korreliert, wobei der „rote“ Kanal 4 (660 nm) den besten Kontrastumfang zeigt. Die beiden Infrarotkanäle 5 (720 nm) und 6 (840 nm) unterscheiden sich klar von den anderen, weisen aber auch untereinander deutliche Differenzierungen auf.

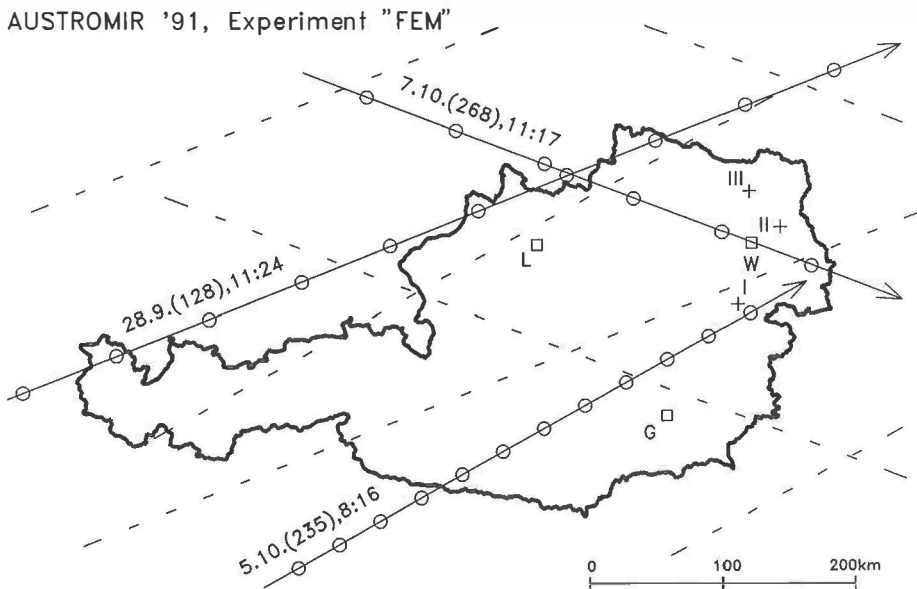


Abb. 5: Übersicht der Aufnahmen mit MKF-6MA.

Entlang der Flugachsen sind die Bildmittelpunkte gekennzeichnet; der seitliche Deckungsbereich ist angerissen. Weiters wurden die Zielgebiete I—III der Bodenmessungen, sowie Wien, Linz und Graz — wo die Sondaufstiege erfolgt sind — eingetragen.

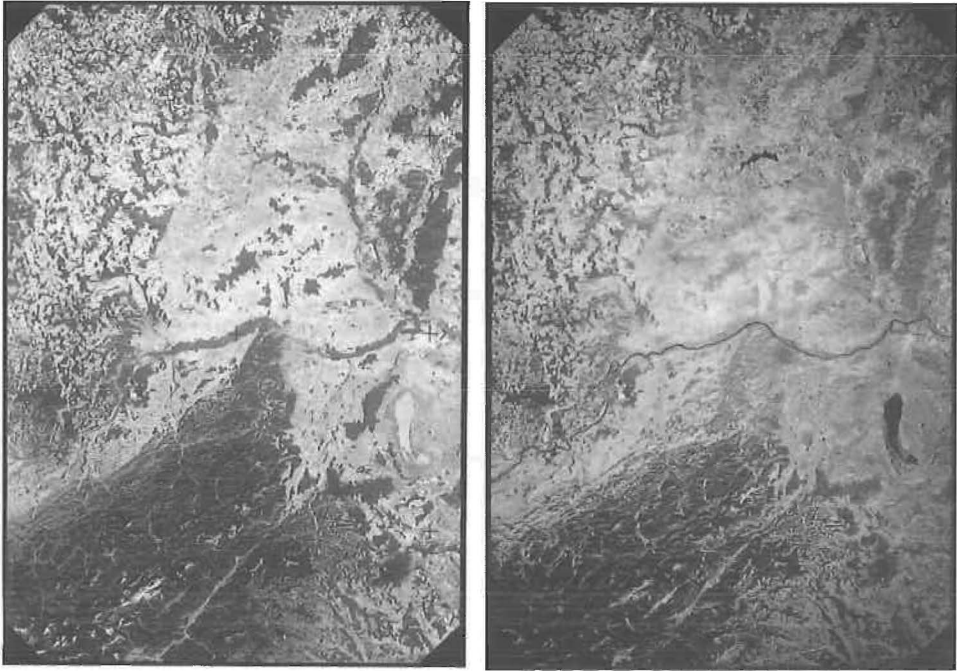


Abb. 6: Zwei Kanäle (als Positiv) einer MKF-6MA-Aufnahme vom 7. 10.: Links Kanal 4 (rot), rechts Kanal 5 (infrarot).

6.2. Kamerasystem „Priroda-5“

Aus operationellen Gründen wurde bei der erstmaligen Durchführung des Experimentes am 25. 9. „Priroda-5“ anstelle der für FEM vorgesehenen Multispektralkamera MKF-6-MA eingesetzt. Für die radiometrischen Aufgaben des Experimentes ist diese Kamera weniger gut geeignet als MKF-6MA. Andererseits weisen die beiden bisher gelieferten Aufnahmen des Raumes Wien eine ausgezeichnete geometrische Qualität auf. Die Detailauflösung ist mit den 10 m-Pixeln des panchromatischen SPOT-Kanals vergleichbar, wobei aber die Farbe des Spektrozonalfilms und die Stereoskopie innerhalb des Aufnahmestreifens eine wesentlich bessere Detailtrennung ermöglicht. Abb.7 zeigt eine Ausschnittsvergrößerung von Wien; leider kann hier in Schwarzweiß die deutliche Differenzierung zwischen Vegetation und bebauten Gebieten nicht wiedergegeben werden.

Die Aufnahmen von „Priroda-5“ sind vor allem in geometrischer und thematischer Hinsicht äußerst interessant. Der südliche Streifen der am 25. 9. über Österreich aufgenommenen „Priroda-5“-Serie deckt 2/3 des Bundesgebietes stereoskopisch ab (Abb. 8) und wäre daher als Grundlage für ein großräumiges Umwelt-Monitoring sehr interessant.

6.3. Spektrometer „Phasa“

Beim ersten Einsatz von „Phasa“ am 25. 9. — gemeinsam mit „Priroda-5“ — funktionierte das System wie geplant. Am 28. 9. war die Telemetrie teilweise unterbrochen, sodaß von Ostösterreich keine Messungen vorliegen; allerdings war dieser Überflug



Abb. 7: Ausschnittsvergrößerung von „Priroda-5“

AUSTROMIR '91, Experiment "FEM"

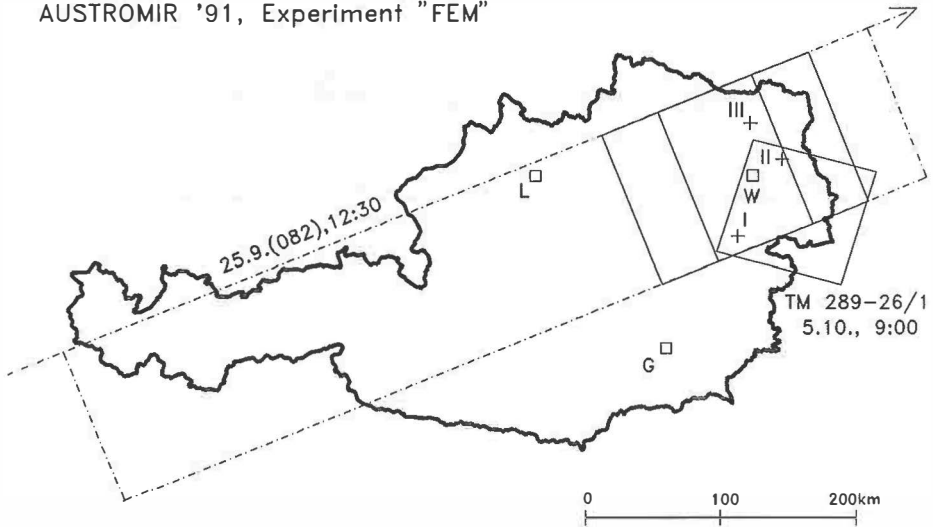


Abb. 8: Aufnahmestreifen von „Priroda-5“. Das Stereopaar des Raumes Wien ist gesondert eingezeichnet; ebenso die nachträglich beschaffte Landsat-TM-Viertelszene.

ohnedies durch Wolken beeinträchtigt. Am 7. 10. gab es leider einen Totalausfall der Datenübertragung. Die Daten vom 5. 10. sind, von einzelnen Übertragungsfehlern abgesehen, in Ordnung. Diese Messungen können gut mit dem simultanen Aufnahmestreifen von MKF-6MA korreliert werden, da die Nebelfelder in einzelnen Gebirgstälern eindeutig im spektralen Profil zu lokalisieren sind.

6.4. Spektrometer MKS-M2

Dieses Spektrometer sollte mit der Plattform ASP-G-M während des gesamten Überfluges auf ein Zielgebiet ausgerichtet werden und kontinuierlich Messungen unter verschiedenen Blickwinkeln liefern. Es sind zwar bei insgesamt 7 Umläufen Aufnahmen versucht worden, aber — wie die Überprüfung der Orientierungsdaten der Plattform und der Videoaufzeichnungen ergab — wurden Ziele in Österreich nur am 29. 9. (allerdings durch Wolken stark beeinträchtigt) und am 5. 10. gemessen. Zu den anderen Terminen konnte die Plattform leider nicht stabilisiert werden.

Die Messungen vom 5. 10. zeigen deutlich eine wellenlängenabhängige Korrelation des vom Boden reflektierten Signals mit der Änderung der Aufnahmerichtung während des Überfluges. Dieser Datensatz verspricht somit interessante Aufschlüsse betreffend das gerichtete Reflexionsverhalten bzw. die Transparenz der Atmosphäre unter verschiedenen Blickwinkeln.

6.5. Bodenmessungen mit Feldspektrometern

Die Messungen am Boden wurden unter Leitung von Doz. Schneider vom Institut für Vermessungswesen und Fernerkundung der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Bei vier Überflügen wurde jeweils in einem der drei Testgebiete über einen Zeitraum von mehreren Stunden gearbeitet. Das institutseigene Gerät erwies sich dabei als erfreulich zuverlässig, während die Vorteile des PS-II in seiner Handlichkeit und der Möglichkeit zur unmittelbaren Kontrolle des gemessenen Spektrums am LCD-Display lie-



Abb. 9: Dr. Franz Viehböck,
wenige Stunden nach der Landung



Abb. 10: Dr. Schneider mit
Spektrometer PS-II im Feldeinsatz

gen. Wie geplant, wurden die Reflexionen von verschiedenen Vegetations- und Bodenarten (Abb. 10), sowie zusätzlich die direkte Sonnen- und Himmelsstrahlung gemessen. Alle Daten liegen komplett vor und können als radiometrische Referenz für die Auswertung der anderen FEM-Daten herangezogen werden.

Abb.11 zeigt ein Beispiel für unterschiedliche Spektren der von einem Rapsfeld, einem Rübenacker, sowie einem gepflügten Acker reflektierten Strahlung: Während der Boden bei zunehmender Wellenlänge einen linearen Anstieg der Reflexion zeigt, weisen die Vegetationsflächen im Infrarot — jenseits von 700 nm — ein deutliches Maximum auf. Im sichtbaren Bereich liegt das Maximum von Vegetationsflächen — mit unterschiedlicher Intensität — bei etwa 550 nm, womit sich der „natürliche“ (mehr oder minder) grüne Farbeindruck erklärt. Derartige „spektrale Signaturen“ sind die Grundlage für Klassifikation und Vitalitätsbestimmung von Vegetation.

6.6. Flugaufnahmen

Gleichzeitig mit dem Überflug der Raumstation, wurde das Gebiet in dem die Radiometermessungen stattfanden mit einer Reihenmeßkamera auf Farb-Infrarotfilm Kodak Aerochrome 2443 aufgenommen. Aus 1700, 3400 und 6700 m Höhe über Grund entstanden (bei 60% Überdeckung) drei Streifen mit identen Flugachsen und jeweils 14—15 Bildern in den Maßstäben 1:8000, 1:16.000 bzw. 1:32.000.

Am 25. 9. im Marchfeld (Zielgebiet II) waren die Bedingungen ausgezeichnet. Dementsprechend gut sind die entstandenen Aufnahmen, wobei der kleinmaßstäbliche Flugstreifen bis in das Stadtgebiet von Wien reicht und eventuell Aufschlüsse über emissionsbedingte atmosphärische Unterschiede geben kann. Drei Tage später, am 28. 9., zog über den Leiser Bergen (Zielgebiet III) leider knapp vor dem Überflug der Station

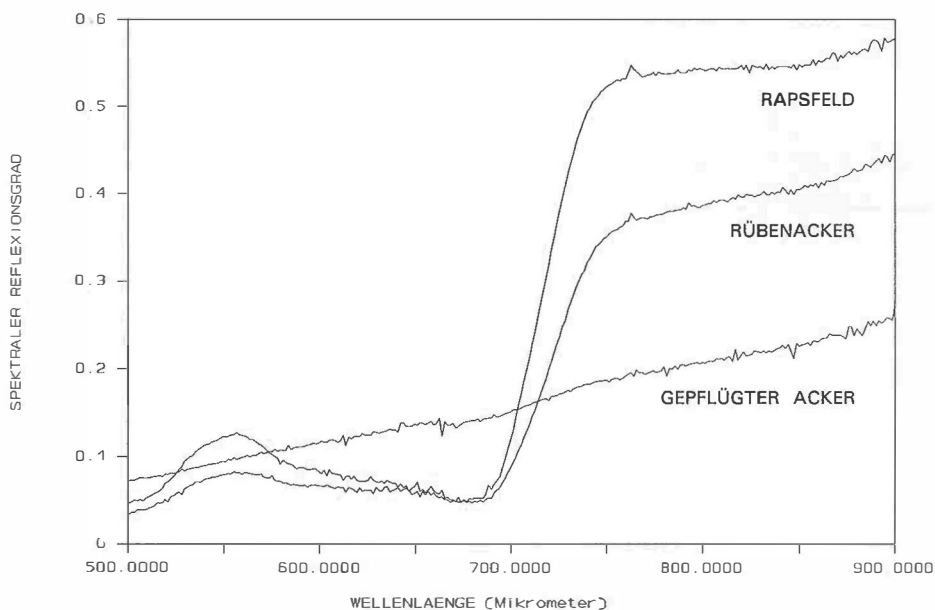


Abb. 11: Mit PS-II gemessene Reflexionsspektren verschiedener Ackerflächen

Bewölkung auf. Ein Teil der Aufnahmen ist daher teilweise beschattet, aber durch eine entsprechend vorgenommene Belichtungskorrektur trotzdem von guter Qualität.

Ursprünglich waren nur zwei Einsätze vorgesehen; um aber die in weiterer Folge sehr guten Wetterbedingungen auszunützen, konnte zusätzlich eine dritte Befliegung organisiert werden. Diese erfolgte am 5. Oktober im Gebiet I, südlich von Wiener Neustadt. Während der Aufnahmen aufziehender dünner Hochnebel bewirkte unterschiedliche Farbwiedergaben in den verschiedenen Maßstäben. Die Auswirkung einer derartigen — in der Praxis sehr häufigen — Wettersituation auf den Bildinhalt wird man anhand der vorliegenden radiometrischen Vergleichsmessungen genauer untersuchen können.

Da das für AUSTROMIR aufgenommene Luftbildmaterial verschiedene Maßstäbe aufweist und generell von sehr guter Qualität ist, wird es — außerhalb von FEM — auch für verschiedene Interpretationsaufgaben äußerst wertvoll sein.

6.7. Ballonsondenaufstiege

Wie Tab.1 zu entnehmen, wurden mehrmals simultan mit dem Überflug von MIR von der Hohen Warte in Wien und den Flugwetterdiensten des Bundesheeres in Linz-Hörsching und Graz-Thalerhof Sondenaufstiege durchgeführt. Diese Daten komplettieren das Gesamtbild der jeweiligen meteorologischen Situation.

6.8. Terrestrische phänologische Inventur

Unter Leitung von Prof. Seger (Universität Klagenfurt) sind während der AUSTROMIR-Mission verschiedene Gebiete in Österreich befahren worden. Dabei wurde insbesondere der jahreszeitlich bedingte Zustand der Vegetation in unterschiedlichen Landschaftsräumen erfaßt und dokumentiert. Die Beobachtungen dienen als Grundlage für die Interpretation der Aufnahmen und zur kartographischen Umsetzung des Materials.

6.9. Satellitendaten

Da ein Ziel von FEM die gemeinsame Bearbeitung eines möglichst umfassenden multisensoralen Datensatzes ist, sollen alle verfügbaren Fernerkundungsdaten aus der Periode der AUSTROMIR-Kampagne einbezogen werden. Es wurde daher die Landsat-TM-Viertelszene 189-27/1 vom 5. 10., die nur 45 Minuten nach dem Überflug von MIR aufgenommen worden ist, angeschafft (Abb. 7). Von SPOT gibt es leider keine geeignete Aufnahme während des Zeitraumes der AUSTROMIR-Kampagne.

Es ist auch geplant, eine Radar-Szene des 1991 gestarteten europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 zu beschaffen, der aufgrund seiner Allwettertauglichkeit ein zukunftssträchtiges Sensorsystem ist. Der Satellit befand sich während der AUSTROMIR-Mission noch in der Testphase, auf einer Umlaufbahn von der aus Aufnahmen von Österreich möglich waren. Obwohl zwischen radiometrischen Messungen im sichtbaren bzw. im Infrarotbereich und Mikrowellenaufnahmen kein unmittelbarer Zusammenhang besteht, sollen die Daten im Sinne eines multisensorelen Ansatzes ebenfalls im Rahmen von FEM bearbeitet werden. Besonders interessant erscheint ein Vergleich der verschiedenen Systeme im Hochgebirge, wo — insbesondere für Radar — die geometrische Entzerrung eine unabdingbare Voraussetzung ist.

7. Geplante Auswertungen

Begünstigt durch gute Wetterverhältnisse während der Meßkampagne ist es FEM gelungen, innerhalb weniger Tage ganz Österreich mit Fernerkundungsdaten abzudecken. Dadurch wurde — im Gegensatz zu Satellitenbildmosaiken, die nur selten aus zeitgleichen Daten bestehen — erstmals das ganze Land innerhalb einer geschlossenen Vegetationsperiode erfaßt. Zwar konnte das Experiment im vollen Umfang — also unter Einsatz aller verfügbaren Systeme — nur am 5. 10. durchgeführt werden; gerade die Problematik der von verschiedenen Terminen stammenden Aufnahmen entspricht aber der Aufgabenstellung von FEM: Durch eine auf den Referenzmessungen beruhende Kalibrierung sollen alle Daten zu einem homogenen Modell vereinigt werden.

Voraussetzung für die umfassende Auswertung des photographischen Materials ist seine Digitalisierung, wobei allerdings sehr große Datenmengen anfallen. Diese Vorgangsweise ermöglicht dafür — neben der visuellen Aufbereitung mittels digitaler Bildverarbeitung — die geometrische und radiometrische Rektifizierung. Unter Berücksichtigung aller meßtechnischen (Kennlinien der Detektoren des Scanners), chemischen (Empfindlichkeit und Kontrastverhalten des Filmes) und physikalischen (Transmission der Atmosphäre und des optischen Systems) Einflußgrößen, kann für jeden digitalisierten Bildpunkt die Intensität der vom entsprechenden Bodenpunkt reflektierten Strahlung angegeben werden. Mittels digitalen Geländemodells kann weiters sowohl die geometrische Lage korrigiert als auch die Auswirkung der Hangexposition auf das Reflexionsverhalten bei der radiometrischen Korrektur berücksichtigt werden.

In der Folge sollen auch die Messungen der Spektrometer „Phasa“ und MKS-M2 mit den digitalisierten und rektifizierten Bilddaten korreliert werden. Dabei ist eine Verfeinerung der radiometrischen Aussagen möglich, da diese Geräte eine bessere spektrale Auflösung als das MKF-6MA-Material haben.

Die bei diesen Arbeiten zu entwickelnden Verfahren sollen künftigen Anwendungen der Fernerkundung zugute kommen: Durch die Überprüfung bzw. Verbesserung der derzeit verwendeten Atmosphärenmodelle können Fernerkundungsdaten auf tatsächliche Strahlungswerte korrigiert werden. Wichtig ist dieses Verfahren vor allem beim Vergleich von zu verschiedenen Jahreszeiten erfolgten Aufnahmen, die für Vegetationsstudien und zur Umweltüberwachung sehr aufschlußreich sind. Mit den vorliegenden

Daten und erarbeiteten Methoden soll daher exemplarisch eine geometrisch und radiometrisch normierte Weltraumbildkarte hergestellt werden.

Die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse werden auch in anderen Sparten der Fernerkundung angewendet werden. So dienen sie der Objektivierung der Aussagekraft von Luftbildern, die wegen ihrer hohen Detailauflösung insbesondere für die Erfassung des Waldzustandes verwendet werden: Die Farben des digitalisierten Bildes werden entsprechend den errechneten Werten über die bei der Aufnahme herrschenden atmosphärischen Bedingungen korrigiert. Ein weiteres für die Praxis sehr nützliches Verfahren wäre die Ableitung der Atmosphärenparameter aus einem Satellitenbild zur radiometrischen Korrektur von gleichzeitig aufgenommenen Luftbildern. Mit den Erfahrungen von FEM sollen diesbezügliche Lösungsansätze erprobt werden. Weiters erlauben auch die atmosphärischen Verhältnisse für sich alleine Aufschlüsse über Schadstoffimmissionen in Abhängigkeit von verschiedenen Wetterlagen. Dies wäre ebenfalls ein Aufgabengebiet, für das die Fernerkundung Daten liefern kann.

Nach der ersten Analyse der vorliegenden Daten kann mit Sicherheit gesagt werden, daß FEM in beträchtlichem Umfang hochwertiges Material erbracht hat, das auch für viele nicht unmittelbar zur Aufgabenstellung des Experiment gehörende Fernerkundungsaufgaben wertvoll ist.

8. Ausblick

Für die standardisierte Verarbeitung von Fernerkundungsdaten ist die Anwendung der Verfahren zur geometrischen Rektifizierung, sowie die genaue Kenntnis der radiometrischen Eigenschaften der Erdoberfläche und der Atmosphäre eine Voraussetzung. Das Experiment FEM soll einen wesentlichen Beitrag liefern, um diese Methoden zu verbessern und praxisingerechte Verfahren zu entwickeln. Die im Zuge der AUSTROMIR-Mission gewonnenen Daten werden auch nach Abschluß des Projektes für weitere Untersuchungen, sowie als Referenz für spätere Vergleichsstudien zur Verfügung stehen. Diese Arbeit ist somit für den immer aktueller werdenden Bedarf nach einer raschen und möglichst eindeutigen Erfassung von Umweltparametern von großer Bedeutung.

Literatur

- Albertz, J.:* Cartographic Applications of Satellite Image Data. Proceedings of the 11th EARSeL Symposium, S.393—405. Graz, July 1991.
- Buchroithner, M., Strobl, D., Raggam, J.:* Geocoding and Geometric Quality Control of Spaceborn SAR Data as a Basis for Cartographic and Geoscientific Mapping. 42nd Congress of the International Astronautical Federation, October 1991, Montreal/Canada.
- Eaton, F. D., Dirmhirn, I.:* Reflected irradiance indicatrices of naturalsurfaces and their effect on albedo. Applied Optics, Vol.18/7, April 1979.
- Ecker, R., Gsandtner, M., Jansa, J.:* Geocoding Using Hybrid Bundle Adjustment and a Sophisticated DTM. Proceedings of the 11th EARSeL Symposium, S.445—455. Graz, July 1991.
- Kalliany, R.:* Locating Ground Control Features with Subpixel Accuracy. Proceedings of the 11th EARSeL Symposium, S.418—427. Graz, July 1991.
- Kalliany, R.:* FEM — Fernerkundung auf MIR. AUSTROMIR-Handbuch, S.163—169, BMWF, August 1991.
- Kraus, K./Schneider, W.:* Fernerkundung, Band 1, Dümmler, Bonn 1988.
- Kraus, K.:* Fernerkundung, Band 2, Dümmler, Bonn 1990.
- Maslowska, A.:* Rückstreuung der elektromagnetischen Wellen durch große und weiche Teilchen in der Atmosphäre. 6. Konferenz Fernerkundung für die Umweltüberwachung, S. 92—396. Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Potsdam, 1991.

- Piskulin, V. A.*: Economic relations of the all-union trade association Sojuzkarta and the geodetic and cartographic services of the U.S.S.R to foreign countries. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, Vol. 10, No. 2, 319—332.
- Seger, M.*: Physische Geographie und Landschaftsökologie. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft*, 131.Jg., S. 5—26, Wien 1989.
- Schneider, W.*: Photographic quality of CIR aerial photos as a function of atmospheric parameters. *Proc. ISPRS Symposium Progress in Imaging Sensors*, p. 505—509, Stuttgart, September 1986, ESA SP-252.
- Schneider, W.*: Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. Sonderheft zur Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 1989.
- Szangolies, K.*: The Production of Photographs of the Earth's Surface Taken from Satellites and their Application in Map Production and Map Revision. *Proc. ISPRS Symposium Progress in Imaging Sensors*, p.411—413, Stuttgart September 1986, ESA SP-252.
- Weber, J.*: Untersuchungen zur Eignung des Sensors Kosmos KFA-1000 für die Erfassung von Vegetation und Versiegelung in besiedelten Gebieten. 6. Konferenz Fernerkundung für die Umweltüberwachung, S. 311—323. Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Potsdam 1991.
- Zimmermann, G., Badaev, W. W., Malkevich, M. S., Piesik, B.*: The MKS-M Remote-Sensing Experiment for Determination of Ocean and Atmospheric Parameters from Salyut-7. *Acta Astronautica*, Vol. 12, No. 7/8, pp. 475—483, 1985.

Adresse des Autors:

Kalliany, R., Univ.-Ass. Dipl.-Ing: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27—29, 1040 Wien.