

## **PROGRAMME UND PROJEKTE**

### **MEERESFORSCHUNG AUS DEM ALL**

#### **DER DLR-SENSOR MOS**

Die Erforschung des Zustandes von Ozeanen und Küstengewässern sowie ihrer räumlichen und zeitlichen Veränderungen stellt einen Schwerpunkt der angewandten Geowissenschaften dar. Einen wesentlichen Beitrag leistet hierbei die Fernerkundung, da sie als einzige Methode die globale wie auch die kleinräumige Erfassung und Kartierung meeresbiologisch, ökologisch und klimatologisch wichtiger Kenngrößen für die Überwachung von Gewässern gewährleisten kann. Dazu zählen beispielsweise die Früherkennung von außergewöhnlichen Algenblüten, die Erfassung von Transportvorgängen in Auftriebsgebieten sowie der globalen Biomasse und damit verbundener Stoffkreisläufe.

Der Coastal Zone Color Scanner (CZCS) war hierzu von 1978 bis 1986 als erster leistungsfähiger Sensor auf dem NASA-Satelliten Nimbus-7 im Einsatz. Bei der Auswertung der Daten wurde ein Verfahren angewandt, welches Schlußfolgerungen aus den unterschiedlichen Färbungen des Wassers auf dessen biologische Zusammensetzung zuließ. Für die ozeanischen Regionen konnten damit erstmalig Weltkarten der Chlorophyllverteilung in den Ozeanen erstellt werden.

Nach der Abschaltung des CZCS im Jahr 1986 wurde der internationalen Nutzergemeinschaft im März 1996 mit MOS (Modularer Optoelektronischer Scanner) auf dem irdischen Fernerkundungssatelliten IRS-P3 erstmals wieder ein Instrument für die wissenschaftliche Arbeit zur Verfügung gestellt. Mit dem vom Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Berlin entwickelten MOS sendet zudem erstmals ein abbildendes Spektrometer Fernerkundungsdaten für die Wissenschaft.

#### **Die Erforschung des größten Ökosystems**

Die Ozeane bedecken rund 70 Prozent der Erde. Damit bilden sie das größte Ökosystem; sie beeinflussen den biologischen, ökologischen und klimatischen Zustand der Umwelt. Der Gehalt an Phytoplankton im Wasser etwa stellt beispielsweise eine ebenso große Biomasse dar wie die aller Landpflanzen. Bei der Photosynthese wird durch das Phytoplankton in den Ozeanen mehr als die Hälfte des insgesamt umgesetzten Kohlenstoffes gebunden. Gleichzeitig wird dabei eine entsprechende Menge Sauerstoff an die Atmosphäre abgegeben. Das Plankton ist das erste Glied der maritimen Nahrungskette, die sich über Krebs- und Weichtiere und diverse Fischarten fortsetzt. Die Erkundung und Überwachung dieses biotischen Stoffkreislaufs ist sowohl für das Verständnis des Ökosystems Ozean, seine Kopplung über verschiedene Austauschprozesse an die Landmassen und die Atmosphäre, als auch für die Abschätzung seiner Belastbarkeit und Nutzung, so für den Fischfang, von großer Bedeutung.

Neben dieser Rolle in den Stoffkreisläufen sind die Wassermassen der Ozeane Wärmespeicher und eine Quelle für den Wasserdampf in der Atmosphäre. Allgemein bekannt sind die großen Meeresströme, so der Golfstrom, die große Mengen erwärmtes Wasser aus äquatorialen Breiten in die kalten Nordregionen verfrachten und mit diesem Energietransport ausgleichend und dämpfend auf die globale Energiebilanz einwirken. Ebenso wirken auch kalte Meeresströmungen wie der Humboldtstrom längs der pazifischen Küste Südamerikas

auf das Klima ein. Diese Wirkungen sind sowohl mittelfristig, bestimmen aber auch langfristig das klimatische Gleichgewicht der Erde. Störungen dieser Energie- und Transportbilanz können - wie das El Niño-Phänomen im Südpazifik zeigt - zu beträchtlichen regionalen Auswirkungen mit verheerenden Folgen beispielsweise für den Fischfang und die damit verbundenen Volkswirtschaften der betreffenden Küstenländer (z.B. Chile und Peru) führen und haben globale Auswirkungen, die heute noch nicht vollständig bekannt sind.

Viele Fakten und Verknüpfungen bei den Austausch- und Transportvorgängen der Stoff- und Energiekreisläufe sind heute noch nicht vollständig erforscht. Quantitative Veränderungen sowie deren genaue Ursachen sind kaum bekannt. Für entsprechende mathematische Modelle fehlen die genauen Kenntnisse der Zusammenhänge. Auch innerhalb des Ozeans gibt es große regionale Wirkungsunterschiede. So sind die Schelf- und Küstengewässer biologisch wesentlich produktiver als die großen offenen Ozeane. Die häufig in Küstengebieten auftretenden (z.T. giftigen) Algenblüten sind ein Beispiel dafür. Der Mensch trägt hierzu erheblich bei. Die zunehmende Industrialisierung in den Küstenregionen, die von Industrie und Landwirtschaft erzeugt und durch die Flüsse in die Küstengewässer transportierten Belastungen (Düngemittel, Schwermetalle), die direkte industrielle Nutzung der Schelfgebiete durch die Erdöl- und Erdgasförderung oder der Abbau von Bodenschätzen haben eine völlig neue Qualität und Quantität von maritimen Umweltproblemen erzeugt. Extreme Algenblüten, verbunden mit Fischsterben und Verschmutzungen der Badestrände (wie schon mehrmals an der italienischen Adria), sind eine Folge dieser Störungen des natürlichen Gleichgewichtes.

### **Abbildende Spektrometrie: MOS auf PRIRODA und IRS-P3**

Aufbauend auf den Erfahrungen mit verschiedenen kosmischen, nicht abbildenden Spektrometern im sichtbaren und nahen Infrarotbereich, die auf verschiedenen Satellitenmissionen zwischen 1978 und 1990 im INTERKOSMOS-Programm, auf der Raumstation SALYUT-7 und MIR geflogen sind, hat das DLR-Institut für Weltraumsensorik zwei Varianten eines abbildenden Spektrometers entwickelt und gebaut. Sie sind die ersten abbildenden Spektrometer, die für die Fernerkundung der Erde aus dem Kosmos zum Einsatz kommen. Das MOS-Instrument wurde speziell für die Fernerkundung von Ozeanen und Küstengewässern, insbesondere auf die Ableitung von Wasserinhaltsstoffen und Atmosphärenparametern entwickelt.

Die Instrumente wurden im Jahr 1996 auf zwei erdnahen Missionen gestartet: auf dem indischen Fernerkundungssatelliten IRS-P3, der von der indischen Raumfahrtorganisation ISRO (Indian Space Research Organisation) gebaut und in eine polare Umlaufbahn gebracht wurde, und auf dem PRIRODA-Fernerkundungsmodul der russischen Raumstation MIR. Aufgrund von Problemen auf der MIR-Station konnte das vorgesehene Forschungsprogramm bisher allerdings noch nicht realisiert werden. Die Geräte MOS auf IRS und MOS auf PRIRODA sind im Prinzip identisch und arbeiten als abbildende Spektrometer im sichtbaren und nahen infraroten Wellenlängenbereich (400 nm bis 1015 nm). Auf dem IRS-P3-Satelliten arbeitet MOS mit dem Indian Scanner WiFS (Wide Field-of-view-sensor) zusammen.

### **Die IRS-P3 Mission**

Der indische Fernerkundungssatellit IRS-P3 wurde mit der Rakete PSLV-D3 (Indian Polar Satellite Launch Vehicle) im März 1996 in eine Erdumlaufbahn gebracht. Die Mission ist als experimentelle Mission geplant und dient hauptsächlich Erdfernerkundungszwecken und als Technologiedemonstration. Der Träger und der Satellit sind von der indischen Raumfahrtorganisation ISRO zur Verfügung gestellt worden. Vom DLR wurde der deutsche

Beitrag im Rahmen des indisch-deutschen Abkommens über wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit realisiert. Außer dem abbildenden Spektrometer MOS betreibt Deutschland noch die Empfangsstation Neustrelitz des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums des DLR und gibt Unterstützung beim Missionsbetrieb durch das Deutsche Raumfahrt-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen, ebenfalls des DLR. Seit September 1997 werden die Signale des MOS auch von der ESA-Bodenstation in Maspalomas auf Gran Canaria empfangen, seit Februar 1999 betreibt die NASA eine MOS-Empfangsstation auf Wallops Island. Der wissenschaftliche Teil der Mission enthält mehrere Aspekte, von denen wesentliche Ergebnisse erwartet werden:

Ozeanographische Anwendungen: Hauptziel von MOS zur Kartierung von Algen und Plankton im offenen Ozean und in Küstengewässern

Landanwendungen: Erfassung von Vegetationszustand und Schädigungen, der Landnutzung und Versteppung

Atmosphärenanwendungen: Korrekturmethode für den Atmosphäreneinfluß auf Fernerkundungsdaten, Bestimmung der Parameter troposphärischer Aerosole und hochliegender Aero-solschichten, Erforschung von Wolkenparametern

Umweltüberwachung.

Weil MOS speziell für die Fernerkundung des Ozeans und der Küstengewässer entwickelt wurde, ist dies auch eine der Hauptrichtungen der wissenschaftlichen Arbeit und Datennutzung der IRS-P3 Mission. Das Programm ist, komplementär zu den globalen Missionen der NASA, ESA u.a., auf die regionale Kartierung verschiedener Wasserinhaltsstoffe orientiert. Somit umfassen die Hauptaktivitäten die Entwicklung und Validierung von regionalen Algorithmen zur Ableitung physikalischer Parameter in den höherbelasteten und trüberen Küstengewässern unter Nutzung der hohen spektralen Auflösung der MOS-Daten. Diese Algorithmenentwicklung soll neue Konzepte ermöglichen für:

die saisonale Kartierung von Chlorophyll im offenen Ozean und den weit produktiveren Küstengewässern

regionale und saisonale Kartierung der Wasserinhaltsstoffe in Küstengewässern (Chlorophyll, Gelbstoff, Sedimente)

Ableitung der anthropogenen Verschmutzung, speziell in Küstenzonen

Wechselwirkungen Land-Wasser in Küstengewässern

Anwendungsaspekte für die Ozeanographie, das Fischereiwesen und andere Bereiche.

Die Mission läuft erfolgreich seit 1996 und soll bis 2002 fortgesetzt werden. In diesem Zeitraum gibt es Überdeckungen mit anderen operationellen Satelliten für die Messung der Ozeanfarbe, wodurch sich einzigartige Möglichkeiten für vergleichende Experimente ergeben: seit August 1977 arbeitet SeaWiFS auf dem amerikanischen SeaStar-Satelliten, ab Mai 1999 wird der Ocean Colour Monitor OCM auf dem indischen Satelliten IRS-P4 Daten liefern und ab Ende 2000 stehen Daten vom abbildenden Spektrometer MERIS auf dem ESA-Umweltsatelliten ENVISAT zur Verfügung.

Die Hauptforschungsziele für die Landanwendungen sind die Kalibrierung der WiFS-Kamera, die Validierung landbezogener Algorithmen und der Vergleich der Quicklook-Methoden für die Landklassifizierung mit MOS- und WiFS-Daten. Da auf Grund der Satellitenbahn und der Instrumentencharakteristika keine globalen Datenprodukte erstellt werden können, muß die IRS-P3 Mission als technologisches Demonstrationsprojekt angesehen werden. Die hohe

Wiederholrate für WiFS-Daten (fünf Tage) erlaubt es, dynamische Prozesse der Landnutzung, bei Hochwasser, bei Bränden und der Versteppung zu beobachten.

Die IRS-P3 Mission bietet aufgrund ihrer Geräteausrüstung und Missionsgestaltung auch Möglichkeiten für ökologische Forschungen und die Umweltüberwachung. Folgende Möglichkeiten sind gegeben:

- regionale Kartierung von Waldschäden
- Brände und Dynamik des tropischen Regenwaldes
- Dynamik der Landnutzung und Urbanisierung
- Dynamik und Transport stratosphärischer Aerosole.

### **Datenprodukte: Prozessieren und Archivieren**

Obwohl beide MOS-Missionen wissenschaftliche Experimente sind, werden die empfangenen Daten routinemäßig anwendergerecht prozessiert. Das Prozessieren schließt alle notwendigen systematischen Korrekturen und Kalibrationen unter Berücksichtigung der Geräteeigenschaften ein.

Die Datenprodukte werden mit Hilfe des Intelligenten Satelliten-Informationen-Systems (ISIS) beim Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR archiviert. Nutzer können die Quick-Look-Bilder über Internet einsehen und Datenanforderungen über das ISIS absetzen.

### **Datennutzung IRS-P3**

Die MOS-IRS-Daten sind für die wissenschaftliche Nutzung unter Berücksichtigung folgender Punkte verfügbar:

MOS-IRS-Daten stehen nur für wissenschaftliche Forschungszwecke zur Verfügung und sind kostenlos. Eine kommerzielle Nutzung dieser Daten ist nicht erlaubt. Das primäre Interesse des DLR-Instituts für Weltraumsensorik besteht darin, das Nutzungspotential von spektral hochaufgelösten Daten für die Ozeanfernerkundung in Fallstudien zu demonstrieren. Als Rückfluß für den Datenzugriff werden Daten von Bodenmeßkampagnen in Testgebieten (biochemische und biooptische Analysen) erwartet und allgemein Arbeiten zur Kalibrierung und Validierung vorgesehen. Vorschläge für gemeinsame Arbeiten können jederzeit an das MOS-Team herangetragen werden.

Das Hauptziel des wissenschaftlichen Programms ist die Entwicklung und Validierung regionaler Algorithmen zur Kartierung verschiedener Wasser-inhaltsstoffe, speziell in Küstengewässern.

### **Datennutzung PRIRODA**

Das PRIRODA-Programm ist ein offenes, internationales Forschungsprogramm mit Teilnehmern aus verschiedenen GUS-Staaten, Europa und USA. Das Gesamtprogramm wird vom Institut für Radioelektronik und der Russischen Raumfahrtagentur in Moskau geleitet.

Das deutsche Wissenschaftsprogramm und das gesamte auf MOS bezogene Programm liegt in der Verantwortung des Instituts für Weltraumsensorik und Planetenerkundung DLR.

Seitdem die Daten verbreitet werden, nutzen weltweit rund 40 Institutionen dieses Angebot. Einer der Hauptpartner ist das Institut für Ostseeforschung in Rostock, mit dem gemeinsam eine Modellentwicklung für die Ostsee erfolgt. Die mit MOS-Daten erreichten wissenschaftlichen Ergebnisse des DLR und der internationalen Nutzergemeinschaft wurden auf bisher drei hochbeachteten internationalen Workshops am Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung vorgestellt und diskutiert.

Abb.Titel: Überflug über der Straße von Gibraltar. Das linke Bild zeigt die aus MOS-Daten abgeleitete Chlorophyll-Konzentration. Im mittleren Bild ist die Verteilung von Schwebstoffen im Wasser dargestellt, rechts die Größe der atmosphärischen Trübung (Aerosolgehalt), die aus den Meßdaten von MOS abgeleitet wurden. Die Farbskala beginnt bei dunkelblau für kleine Werte und geht über hellblau, grün und gelb zu rot für hohe Werte.

Abb. oben: Schematische Darstellung des MOS-Komplexes mit den Spektrometern und Kalibrierbaugruppen.

Abb.: Die Aufnahme zeigt den nordöstlichen Atlantik mit den Kanarischen Inseln. In diesem Gebiet sind Sahara-Staubfahnen in der Atmosphäre keine Seltenheit. Sie breiten sich über hunderte von Kilometern aus und transportieren Tonnen feiner Sandpartikel über den Ozean. In den Bildern ist ein Beispiel für die Ausbreitung einer solchen Staubfahne dargestellt. Es werden extrem hohe Trübungswerte in der Atmosphäre erreicht (rote Bereiche im rechten Bild).